



# Technisch-wissenschaftliche Analyse zur Energieeffizienz unterschiedlicher Trinkwasser-Erwärmungssysteme im Vergleich

---

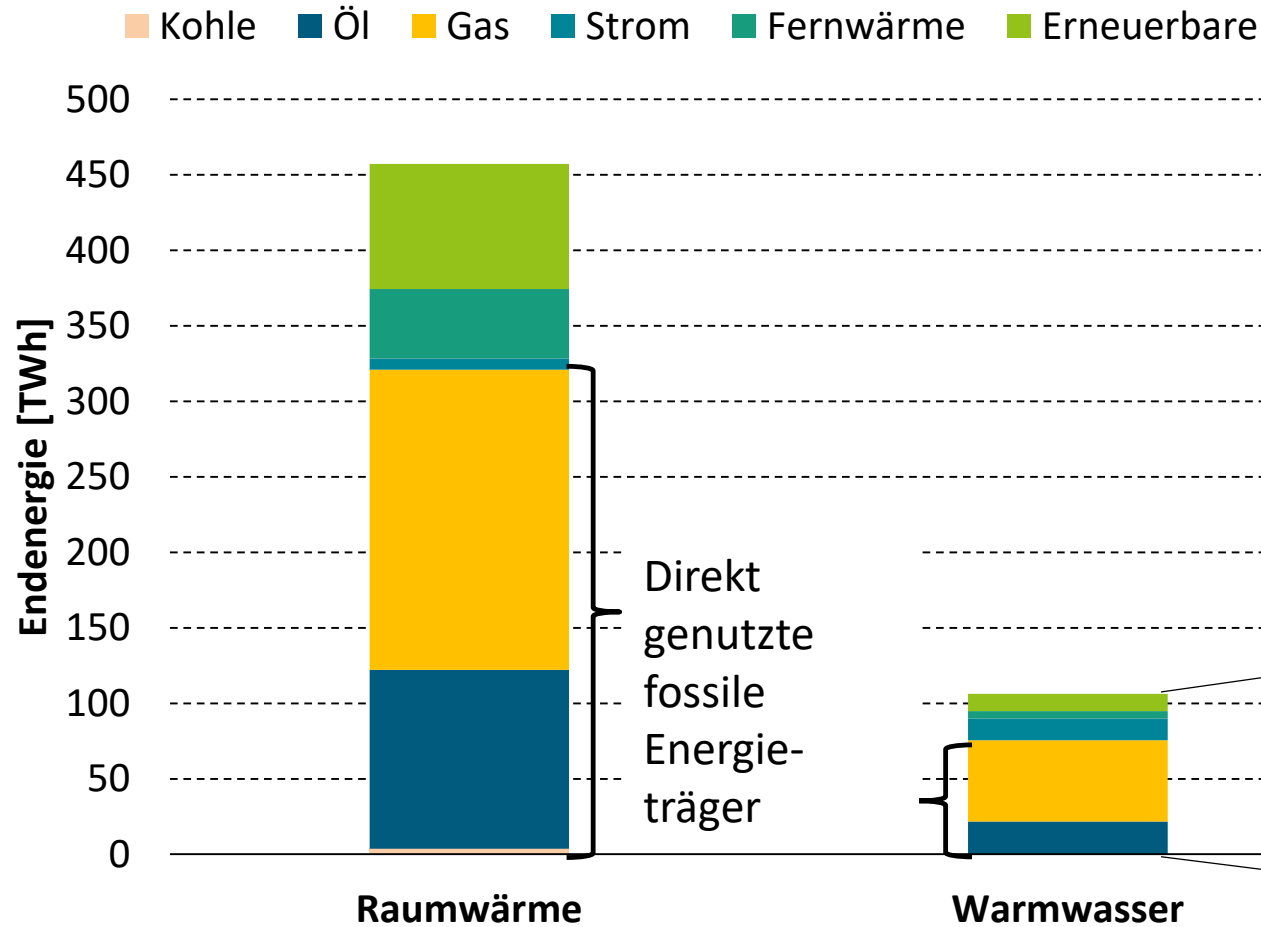
Studie im Auftrag der Viega GmbH & Co. KG  
Michael Kropp, Dr. Manuel Lämmle  
Freiburg, 08.05.2023  
[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

# Technisch-wissenschaftliche Analyse zur Energieeffizienz unterschiedlicher Trinkwasser-Erwärmungssysteme im Vergleich

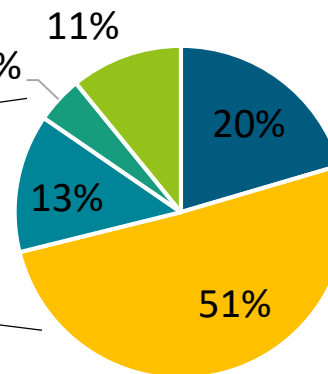
1. Motivation / Ziel / Fragestellung
2. Simulativer Vergleich der Trinkwasser-Erwärmungssysteme
  - Rahmenbedingungen der Systemsimulationen
  - Bewertungskriterien
  - Untersuchte Systemvarianten
  - Simulationsergebnisse
3. Zusammenfassung und Fazit
4. Anhang

# Nachhaltige Gebäude

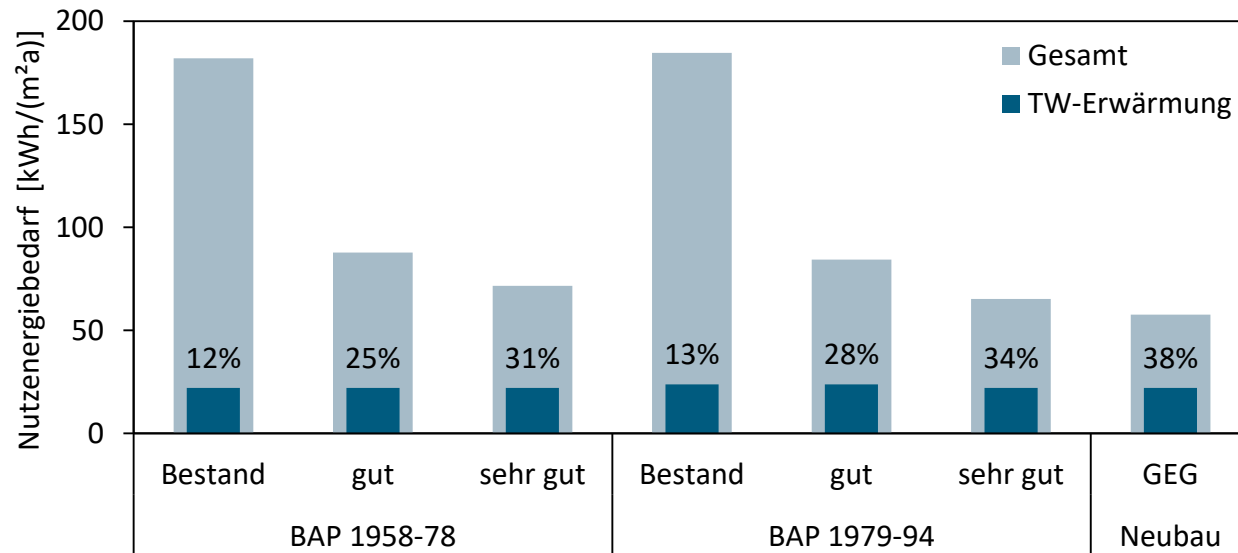
## Endenergieverbrauch im Gebäudesektor in Deutschland (2020): Raumwärme und Warmwasser



- Raumwärme und Warmwasser Endenergieverbrauch / Anteil
  - Alle Sektoren: 773.0 TWh / **33.4 %**
  - Gebäudesektor: 563.5 TWh / **84.1 %**
- Anteil direkt genutzte fossile Energieträger: **70 %**
- Durch Einsatz von WP lässt sich der Anteil an erneuerbaren Energien erhöhen



# Trinkwassererwärmung im Mehrfamilienhaus



vgl: Vollmer, R., et al. (2021): Projekt LowEx-Bestand  
Analyse – Bericht zu AP 3.1: LowEx-Bestand  
Referenzgebäude: Geometrie, Bauphysik, Last-Zeitreihen  
und Sanierungsszenarien

BAP: Baualtersperiode

- Anteil des TWW am Gesamtbedarf steigt durch Hüll-Sanierung (s. Diagramm)
- Bedarf an Trinkwarmwasser durch Verbraucher vorgegeben und bietet somit wenig Einsparpotential
- Das durch die a.a.R.d.T vorgegebene hohe Temperaturniveau hemmt den Einsatz von WP
- Ziel: Anteil der erneuerbaren Energien durch den Einsatz von WP zu erhöhen
- Durch Optimierung der TW-Erwärmung: Energieeinsparungspotential durch effizienteren Einsatz einer WP

# Ziel und Fragestellung

---

## Ziel

Technisch-wissenschaftliche Analyse zur Energieeffizienz unterschiedlicher Trinkwasser-Erwärmungssysteme im Vergleich

## Fragestellung

- Aufbau und Parametrierung des Simulationsmodells
- Integration von Lastreihen nach Norm
- Detaillierte Abbildung aller untersuchten Systeme
- Einordnung des Energie-Einsparpotentials durch Warmwassertemperaturreduktion mit Viega AVS Trinkwasser-Management-System
- Durchführung und Auswertung der Simulationen
- Sensitivitätsstudie zur maximalen Vorlauftemperatur der Wärmepumpe

## Vorbemerkung

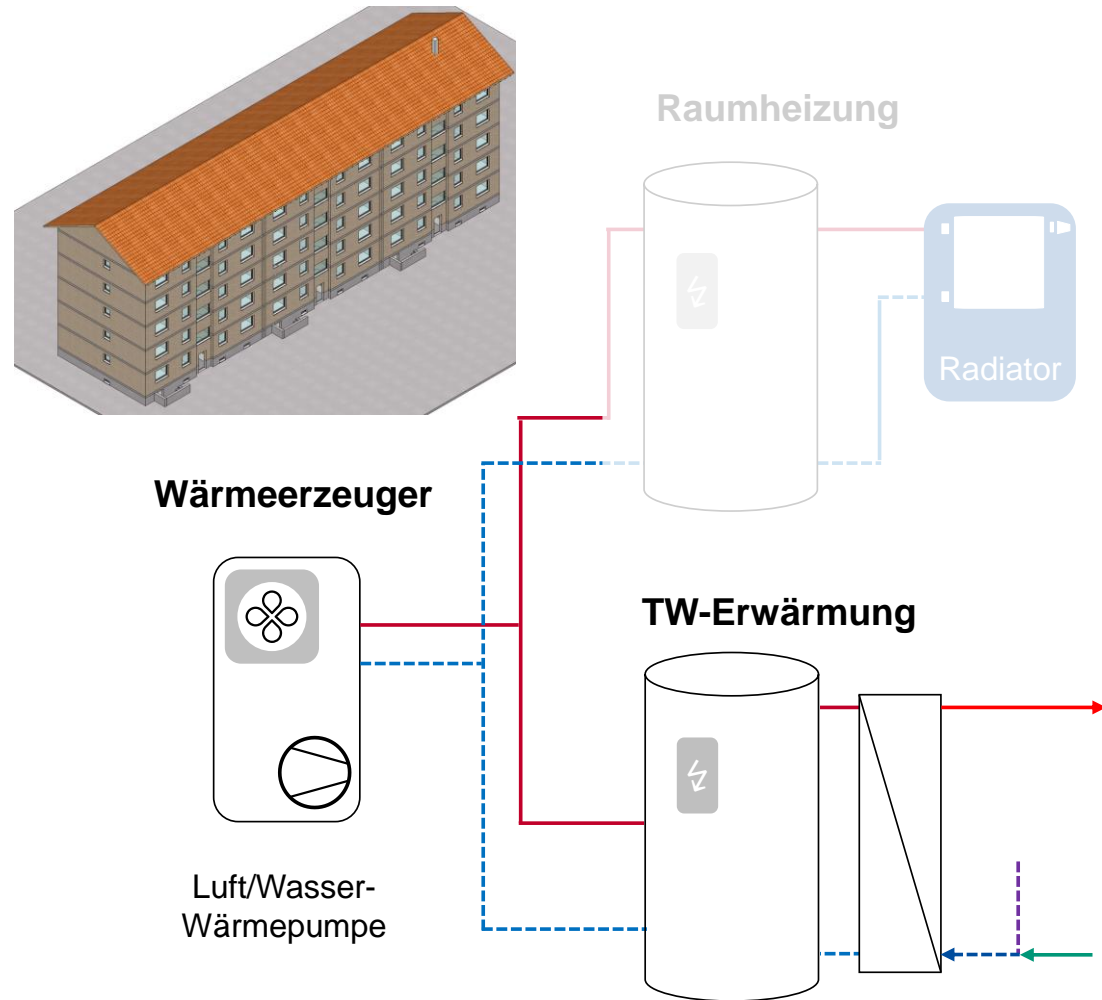
Im Rahmen des Verbundprojekts „EnOB: EnergieDigital“ (FKZ: 03ET1611A-C) hat das Fraunhofer ISE bereits erste Untersuchungen der Trinkwassereffizienz u.a. für den Neubau des Konferenz-Zentrums Viega World durchgeführt. Die darin entwickelten Modelle dienen als Grundlage für die hier dargestellten weiterführenden Simulationsarbeiten.

# Technisch-wissenschaftliche Analyse zur Energieeffizienz unterschiedlicher Trinkwasser-Erwärmungssysteme im Vergleich

1. Motivation / Ziel / Fragestellung
2. Simulativer Vergleich der Trinkwasser-Erwärmungssysteme
  - Rahmenbedingungen der Systemsimulationen
  - Bewertungskriterien
  - Untersuchte Systemvarianten
  - Simulationsergebnisse
3. Zusammenfassung und Fazit
4. Anhang

# Simulationsstudie Trinkwassererwärmungsanlagen

## Mehrfamilienhaus in Deutschland (Potsdam)



- Großes MFH mit 30 WE, Neubau nach GEG (2270 m<sup>2</sup>)
- Monoenergetisches WP-System:
  - Auslegung WP:
    - Bivalenzpunkt\*: -5°C
    - benötigte Heizleistung: 77 kW (A2/W35)
- Raumheizung:
  - Auslegung: 45 °C / 38 °C / 20 °C bei -12,6 °C
  - Heizlast: 76,8 kW; 119 MWh/a; 52,4 kWh/(m<sup>2</sup>a)
- Trinkwasser-Erwärmung:
  - synthetisch generierte Profile mit synPro
  - Energiebedarf Zapfung: 22,5 MWh/a; 9,9 kWh/(m<sup>2</sup>a)
  - Zirkulationsverluste: 32,6 MWh/a; 14,4 kWh/(m<sup>2</sup>a)

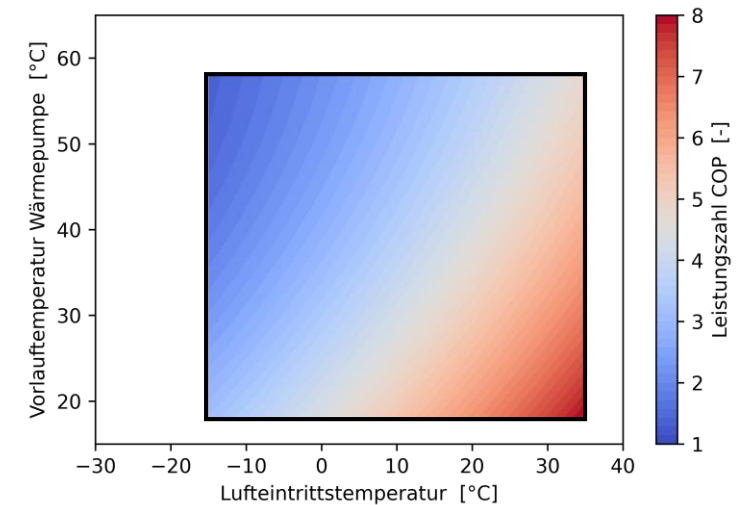
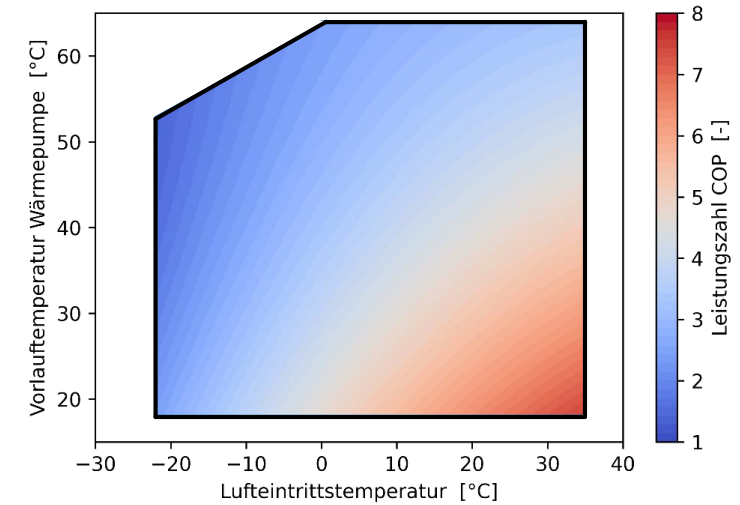
# Verwendete Wärmepumpen-Modelle

## „Hochtemperatur“-Wärmepumpe (HT-Wärmepumpe)

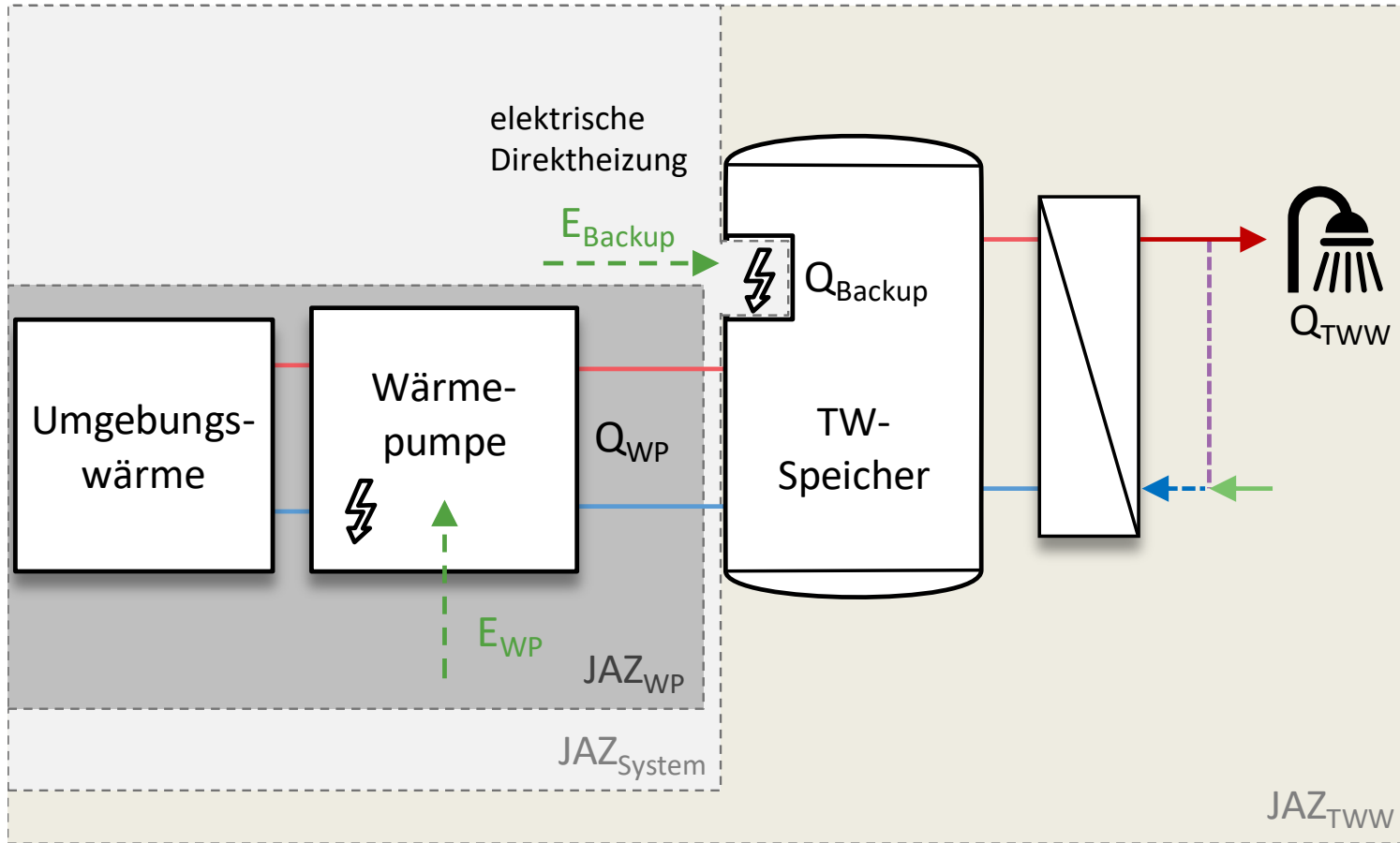
- 2x Viessmann Vitocal 300-A 302.B60
- Leistungsdaten Heizen (A2/W35):
  - Nennwärmeleistung: 2x 47,2 kW
  - COP: 3,6
- max. Vorlauftemperatur: 64 °C

## „Standard“-Wärmepumpe (NT-Wärmepumpe)

- Waterkotte EcoTouch Air Kaskade 5090.5
- Leistungsdaten Heizen (A2/W35):
  - Nennwärmeleistung: 80,4 kW
  - COP: 3,0
- max. Vorlauftemperatur: 58 °C



# Bewertung der Energieeffizienz der Wärmepumpen-Anlage Trinkwasser-Erwärmung



**JAZ = Jahresarbeitszahl**

Bilanzgrenze Wärmepumpe

$$JAZ_{WP} = \frac{Q_{WP}}{E_{WP}}$$

Bilanzgrenze System  
(WP + Backup)

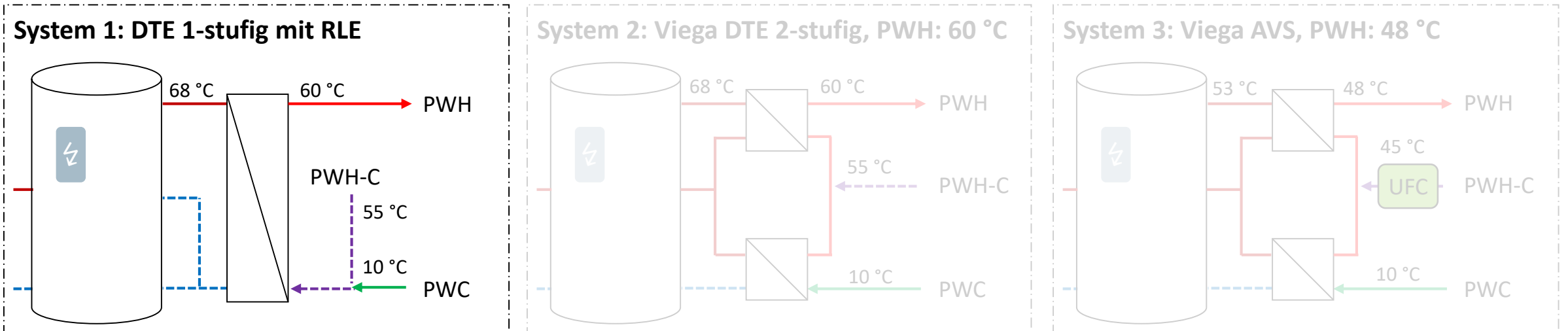
$$JAZ_{Sys} = \frac{Q_{WP} + Q_{Backup}}{E_{WP} + E_{Backup}}$$

Bilanzgrenze TWW

$$JAZ_{TWW} = \frac{Q_{TWW}}{E_{WP} + E_{Backup}}$$

# Untersuchte Systemvarianten – zentrale Trinkwassererwärmung

## Referenzsystem 1: Durchfluss-Trinkwassererwärmer (1-stufig) mit Rücklaufeinschichtung



→ PWC: Trinkwasser kalt

→ PWH: Trinkwasser warm

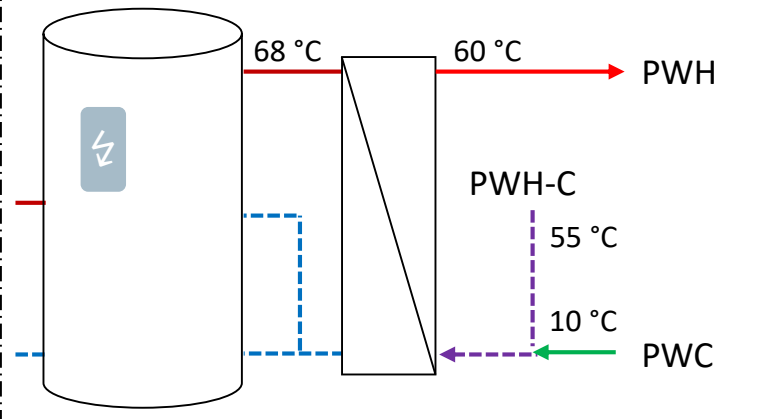
--- PWH-C: Zirkulation

DTE: Durchfluss-Trinkwassererwärmer  
 RLE: Rücklaufeinschichtung  
 AVS: AquaVIP Solutions  
 UFC: Ultrafiltrationsmodul

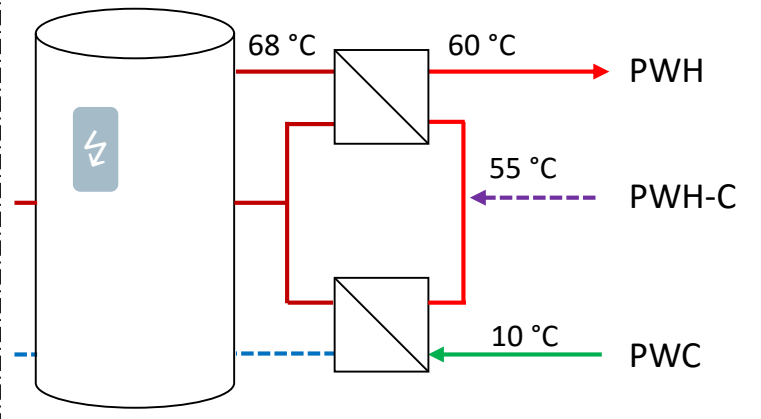
# Untersuchte Systemvarianten – zentrale Trinkwassererwärmung

## System 2: Viega Durchfluss-Trinkwassererwärmer (2-stufig)

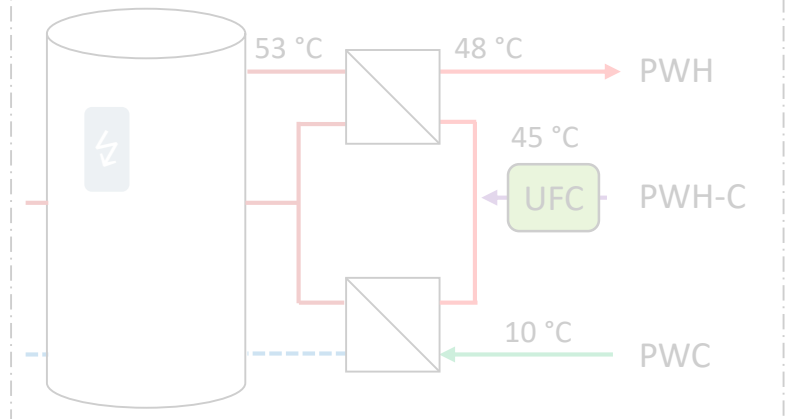
System 1: DTE 1-stufig mit RLE



System 2: Viega DTE 2-stufig, PWH: 60 °C



System 3: Viega AVS, PWH: 48 °C



→ PWC: Trinkwasser kalt

→ PWH: Trinkwasser warm

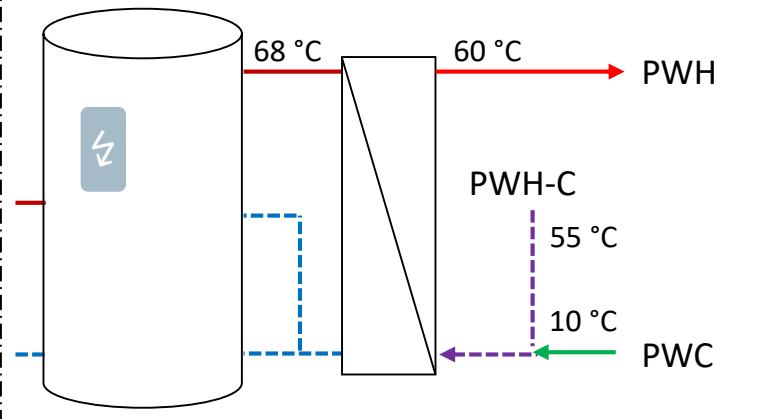
--- PWH-C: Zirkulation

DTE: Durchfluss-Trinkwassererwärmer  
 RLE: Rücklaufeinschichtung  
 AVS: AquaVIP Solutions  
 UFC: Ultrafiltrationsmodul

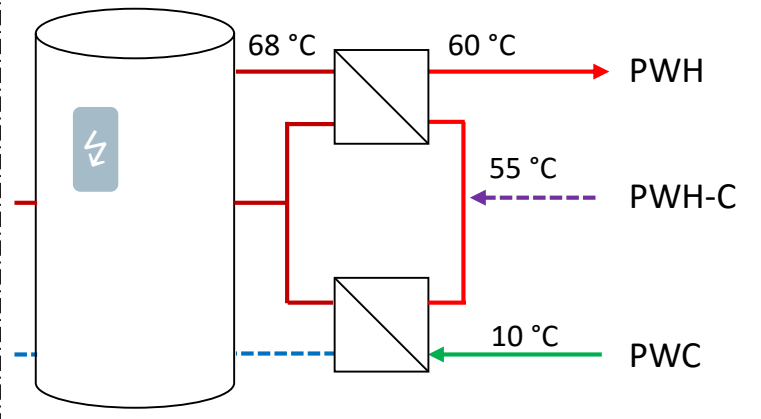
# Untersuchte Systemvarianten – zentrale Trinkwassererwärmung

## System 3: Viega AVS Trinkwasser-Management-System mit DTE (2-stufig) und Ultrafiltrationsmodul

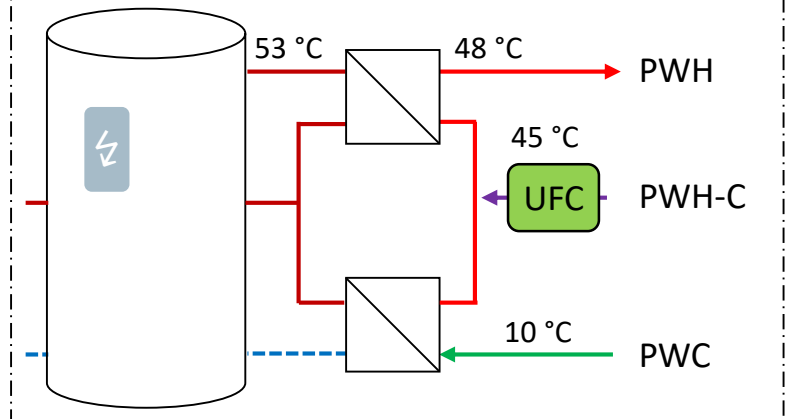
System 1: DTE 1-stufig mit RLE



System 2: Viega DTE 2-stufig, PWH: 60 °C



System 3: Viega AVS, PWH: 48 °C



→ PWC: Trinkwasser kalt

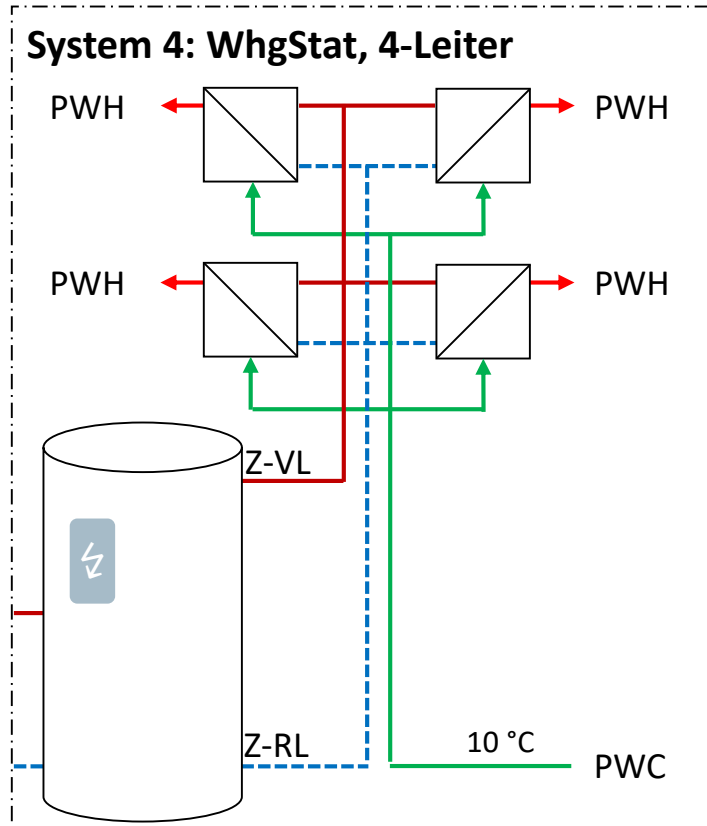
→ PWH: Trinkwasser warm

--- PWH-C: Zirkulation

DTE: Durchfluss-Trinkwassererwärmer  
 RLE: Rücklaufeinschichtung  
 AVS: AquaVIP Solutions  
 UFC: Ultrafiltrationsmodul

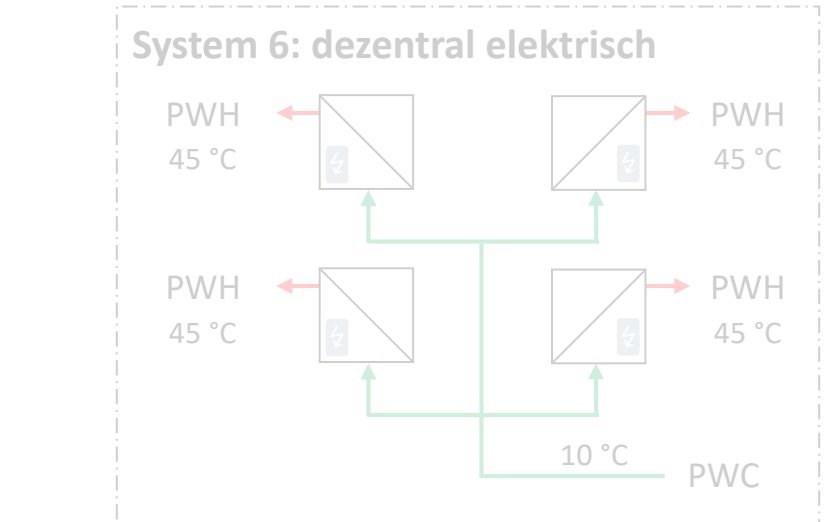
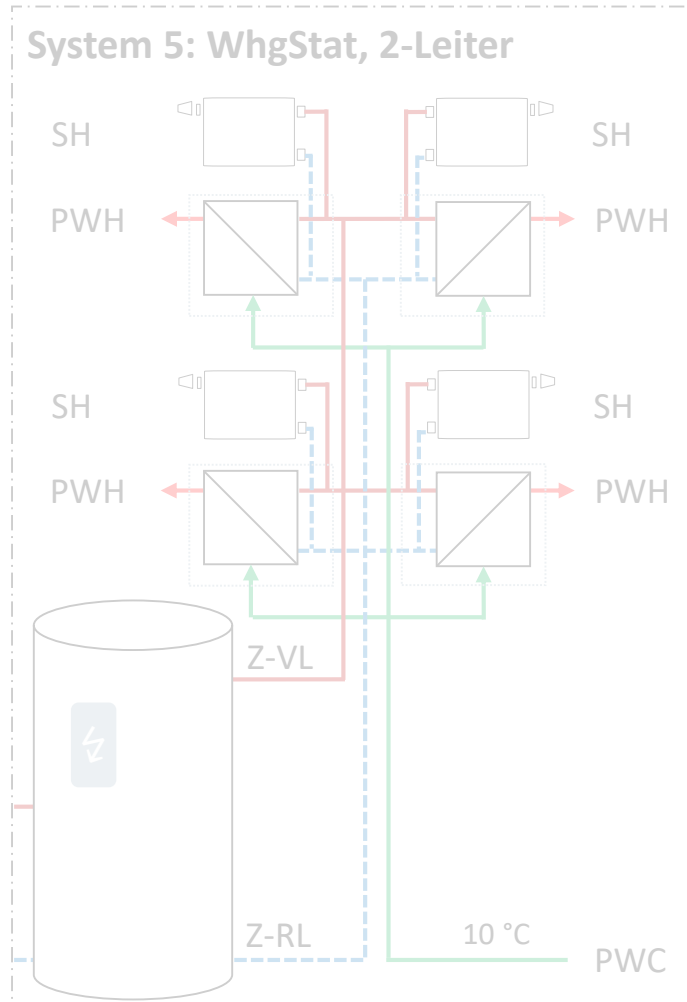
# Untersuchte Systemvarianten – **dezentrale** Trinkwassererwärmung

## System 4: Wohnungsstation, 4-Leiter-System



System 4a: Z-VL 60 °C / PWH 50 °C

System 4b: Z-VL 55 °C / PWH 45 °C



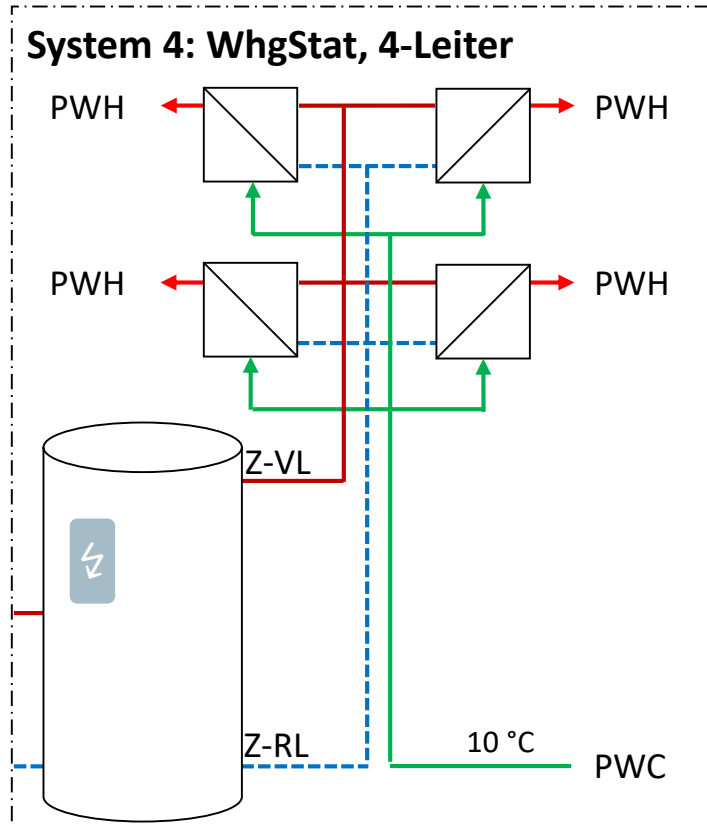
- PWC: Trinkwasser kalt
- PWH: Trinkwasser warm
- Z-VL: Vorlauf Zirkulation (Heizungswasser)
- Z-RL: Rücklauf Zirkulation (Heizungswasser)

System 5a: Z-VL 60 °C / PWH 50 °C

System 5b: Z-VL 55 °C / PWH 45 °C

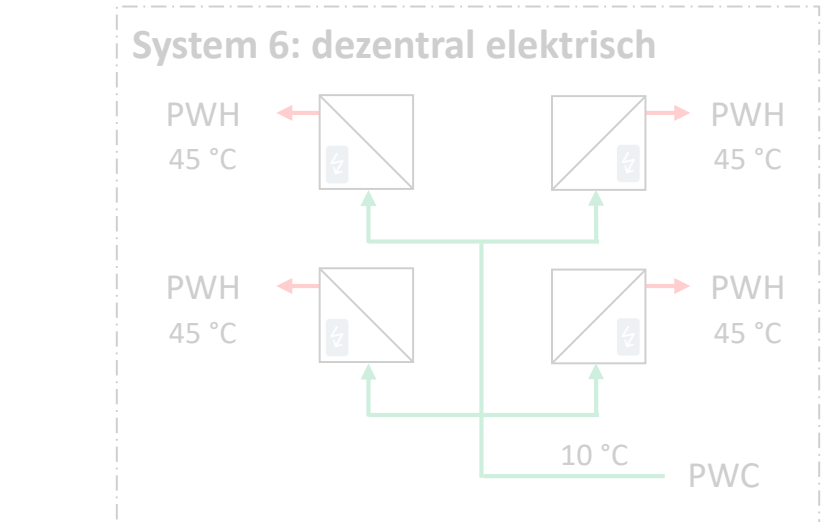
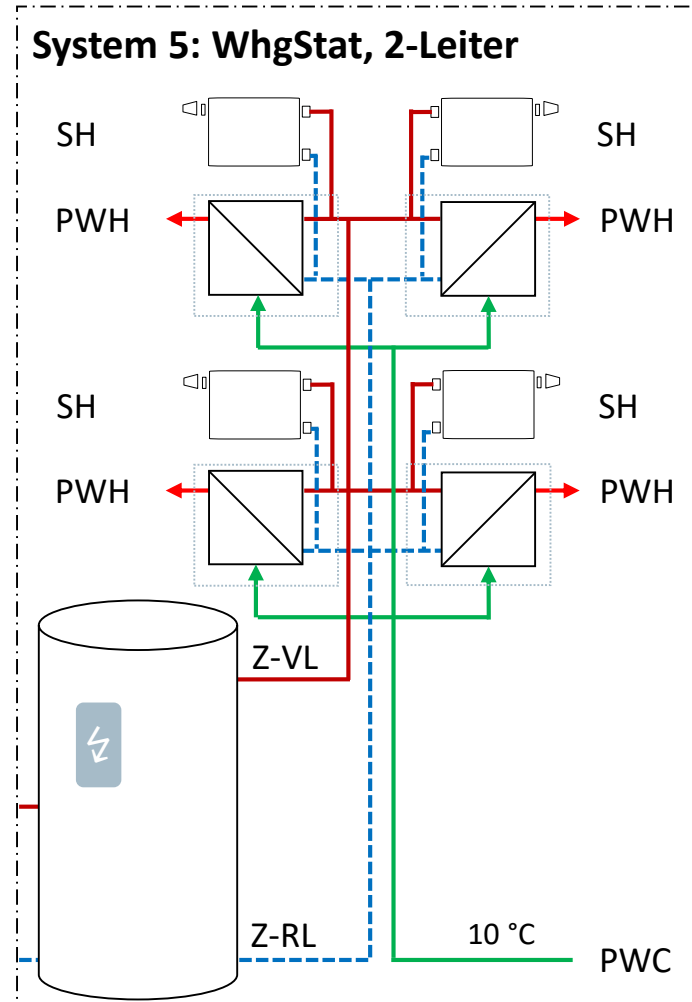
# Untersuchte Systemvarianten – **dezentrale** Trinkwassererwärmung

## System 5: Wohnungsstation, 2-Leiter-System



System 4a: Z-VL 60 °C / PWH 50 °C

System 4b: Z-VL 55 °C / PWH 45 °C



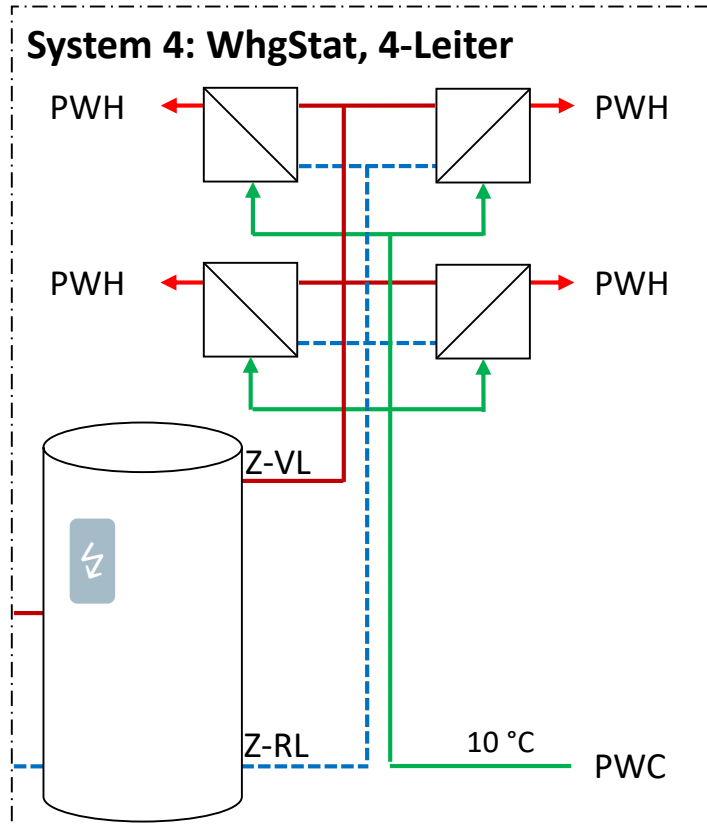
- PWC: Trinkwasser kalt
- PWH: Trinkwasser warm
- Z-VL: Vorlauf Zirkulation (Heizungswasser)
- Z-RL: Rücklauf Zirkulation (Heizungswasser)

System 5a: Z-VL 60 °C / PWH 50 °C

System 5b: Z-VL 55 °C / PWH 45 °C

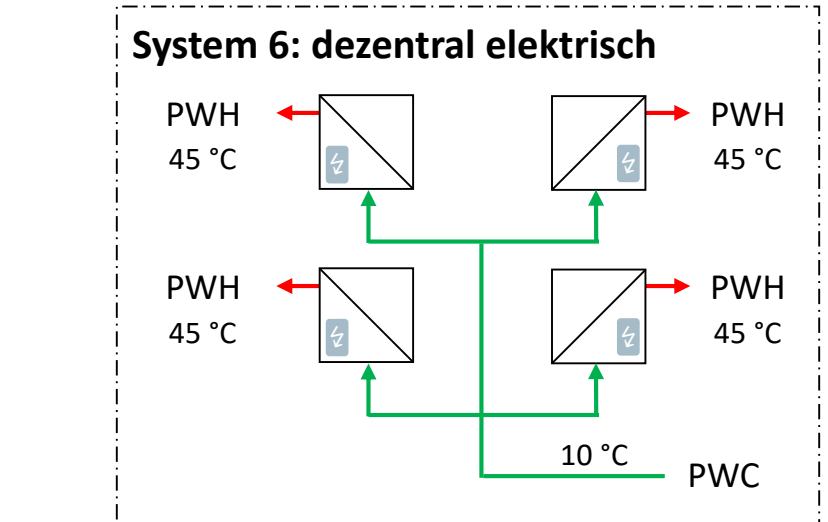
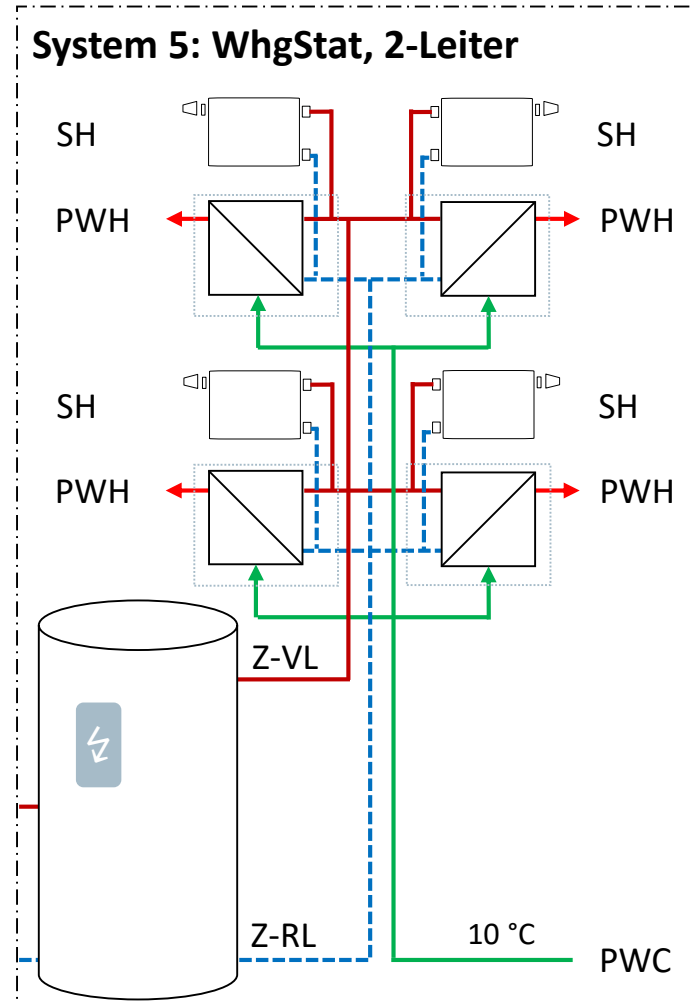
# Untersuchte Systemvarianten – **dezentrale** Trinkwassererwärmung

## System 6: Elektrischer Durchlauferhitzer



System 4a: Z-VL 60 °C / PWH 50 °C

System 4b: Z-VL 55 °C / PWH 45 °C



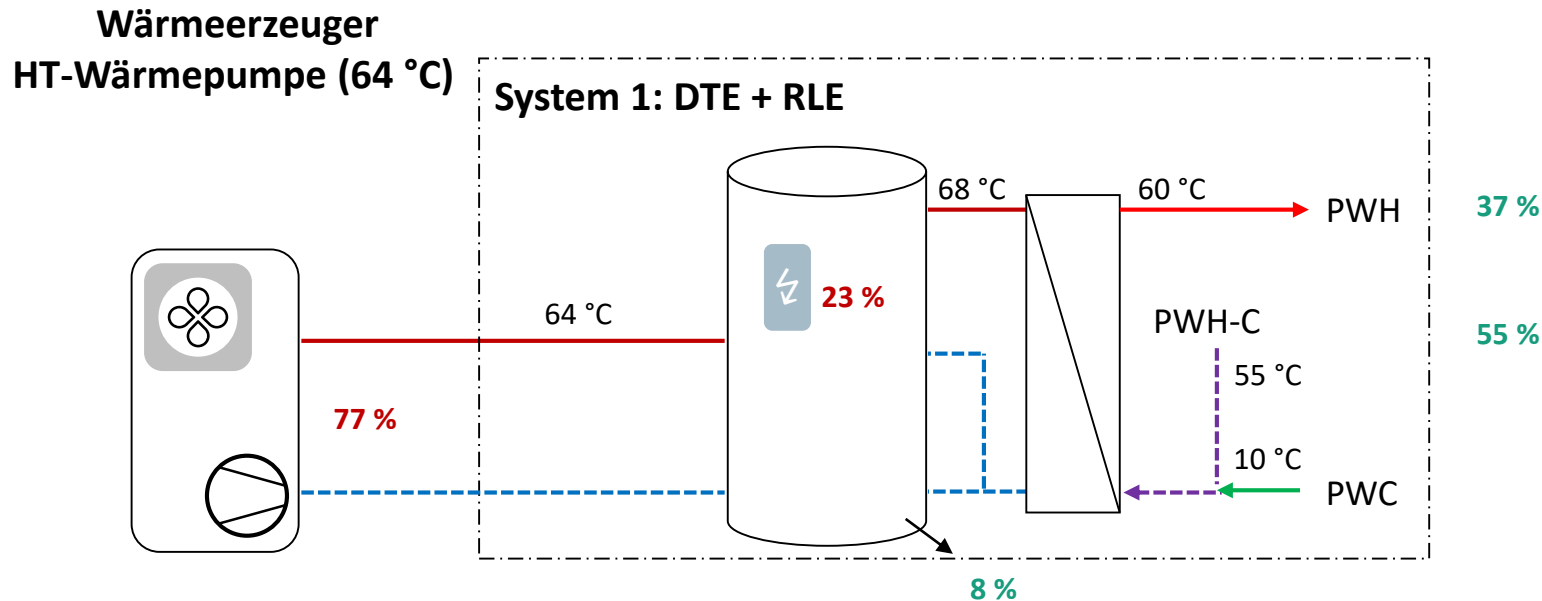
- PWC: Trinkwasser kalt
- PWH: Trinkwasser warm
- Z-VL: Vorlauf Zirkulation (Heizungswasser)
- - - Z-RL: Rücklauf Zirkulation (Heizungswasser)

System 5a: Z-VL 60 °C / PWH 50 °C

System 5b: Z-VL 55 °C / PWH 45 °C

# Simulationsergebnisse Referenzsystem 1

## Durchfluss-Trinkwassererwärmer (1-stufig) mit Rücklaufeinschichtung



### Gesamt (Heizung + TWW)

JAZ (WP): 3,0

JAZ (System): 2,5

JAZ (TWW+Heizung): 2,0

### TWW

JAZ (WP): 2,2

JAZ (System): 1,7

JAZ (TWW): 0,6

### Endenergie (TWW)

Verbrauch: 35,5 MWh/a

Einsparung\*: - MWh/a

### CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen (TWW)

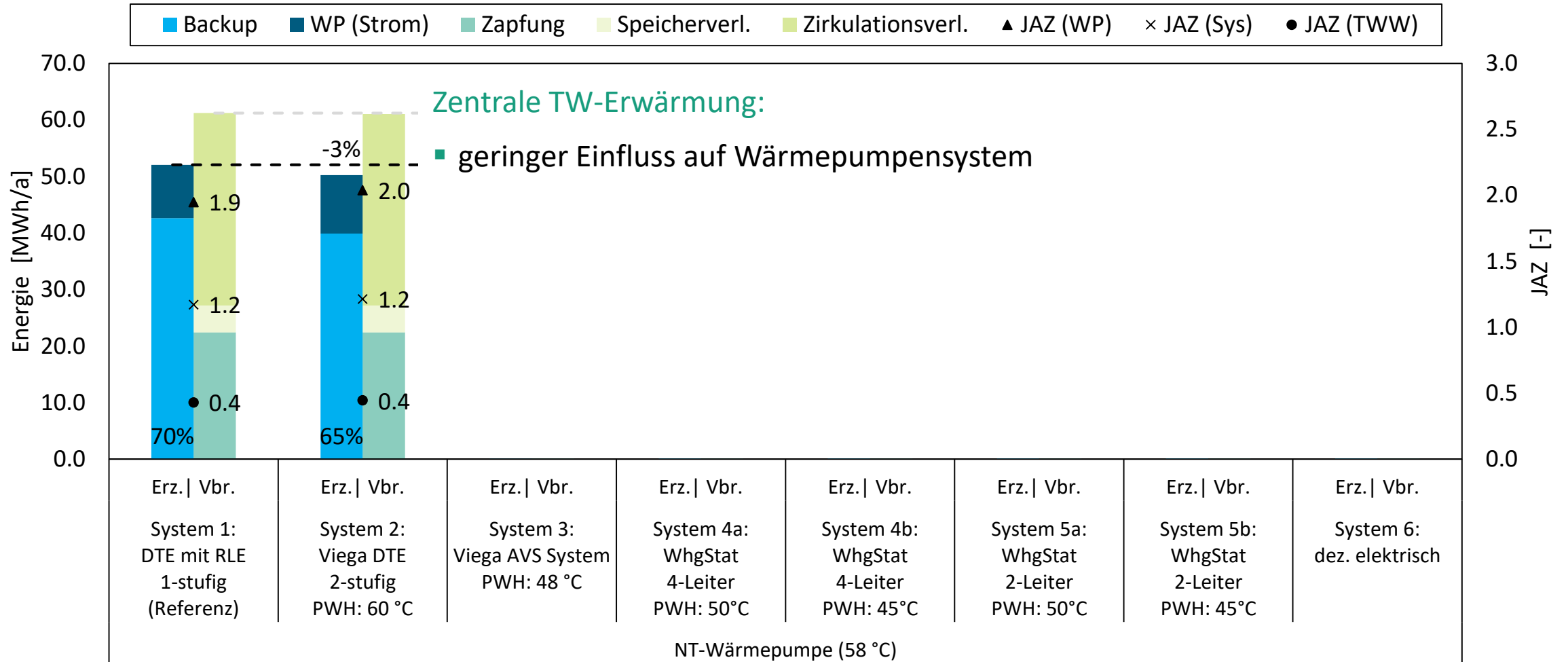
Verbrauch: 14,9 t/a

Einsparung\*: - t/a

\*ggü. Referenzsystem 1

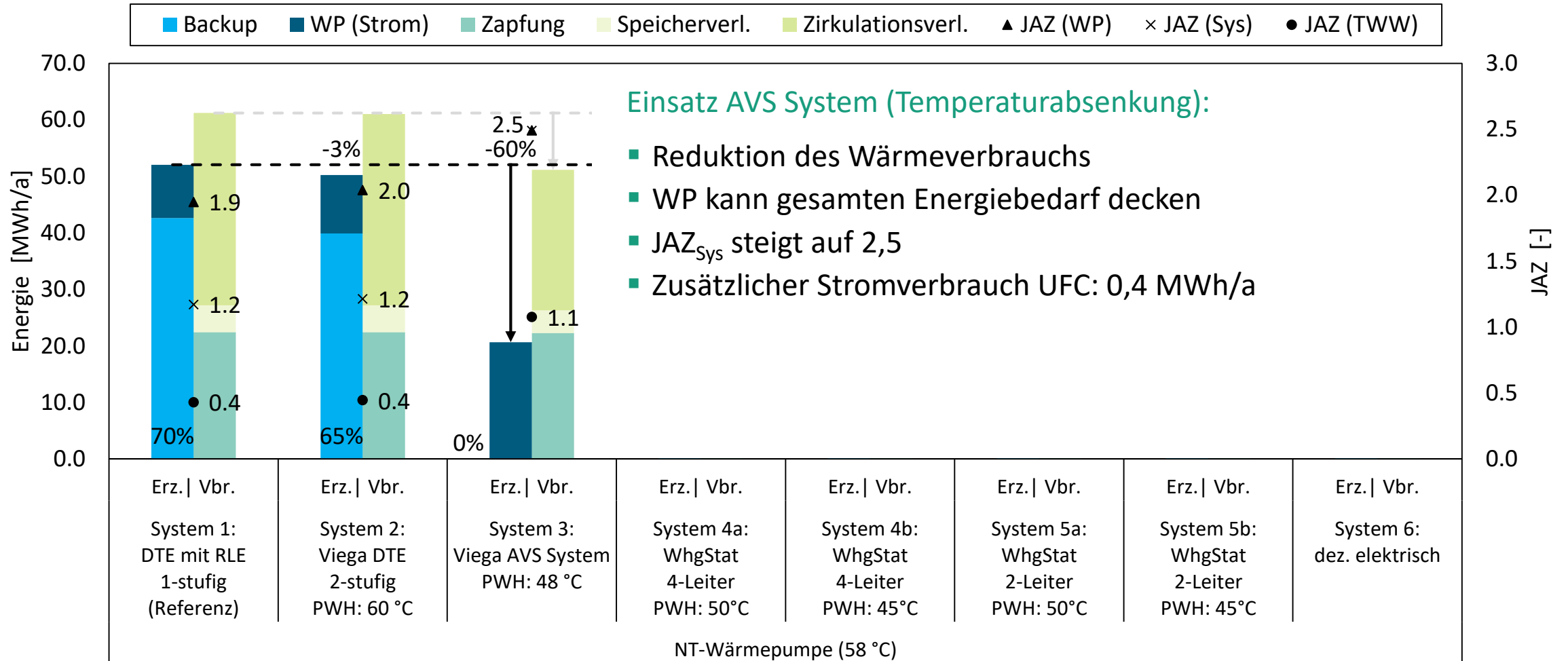
# Simulationsergebnisse im Vergleich zum Referenzsystem

## Zentrale TW-Erwärmung



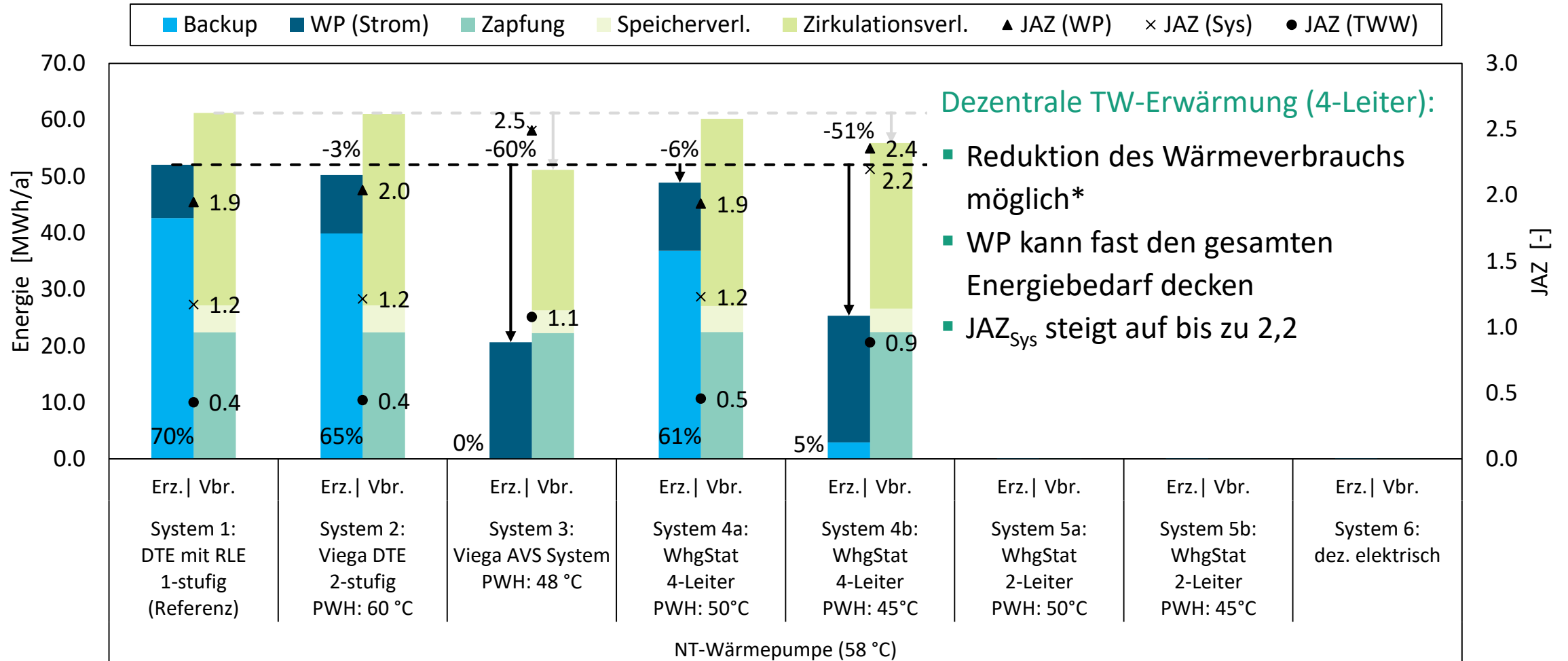
# Simulationsergebnisse im Vergleich zum Referenzsystem

## Zentrale TW-Erwärmung + AVS System



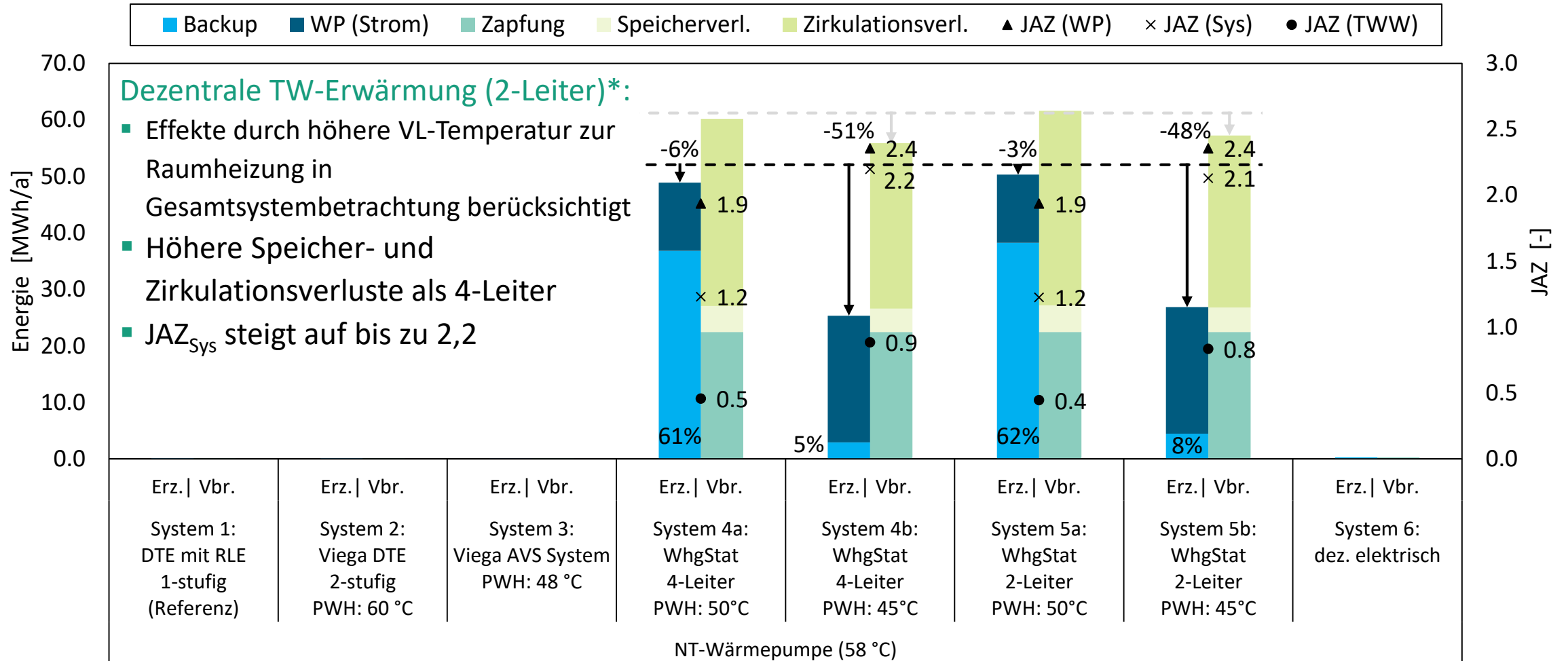
# Simulationsergebnisse im Vergleich zum Referenzsystem

## Dezentrale TW-Erwärmung, Wohnungsstationen im 4-Leiter-System



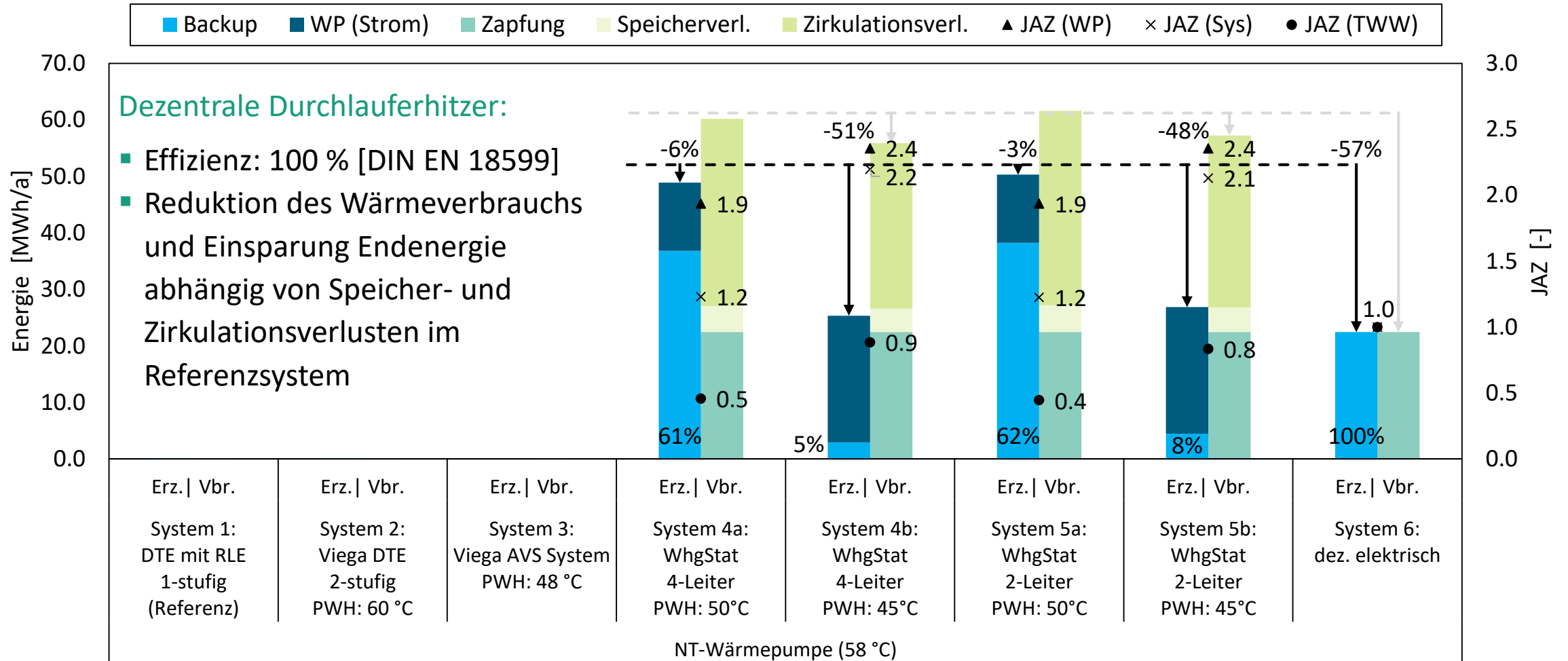
# Simulationsergebnisse im Vergleich zum Referenzsystem

## Dezentrale TW-Erwärmung, Wohnungsstationen im 2-Leiter-System



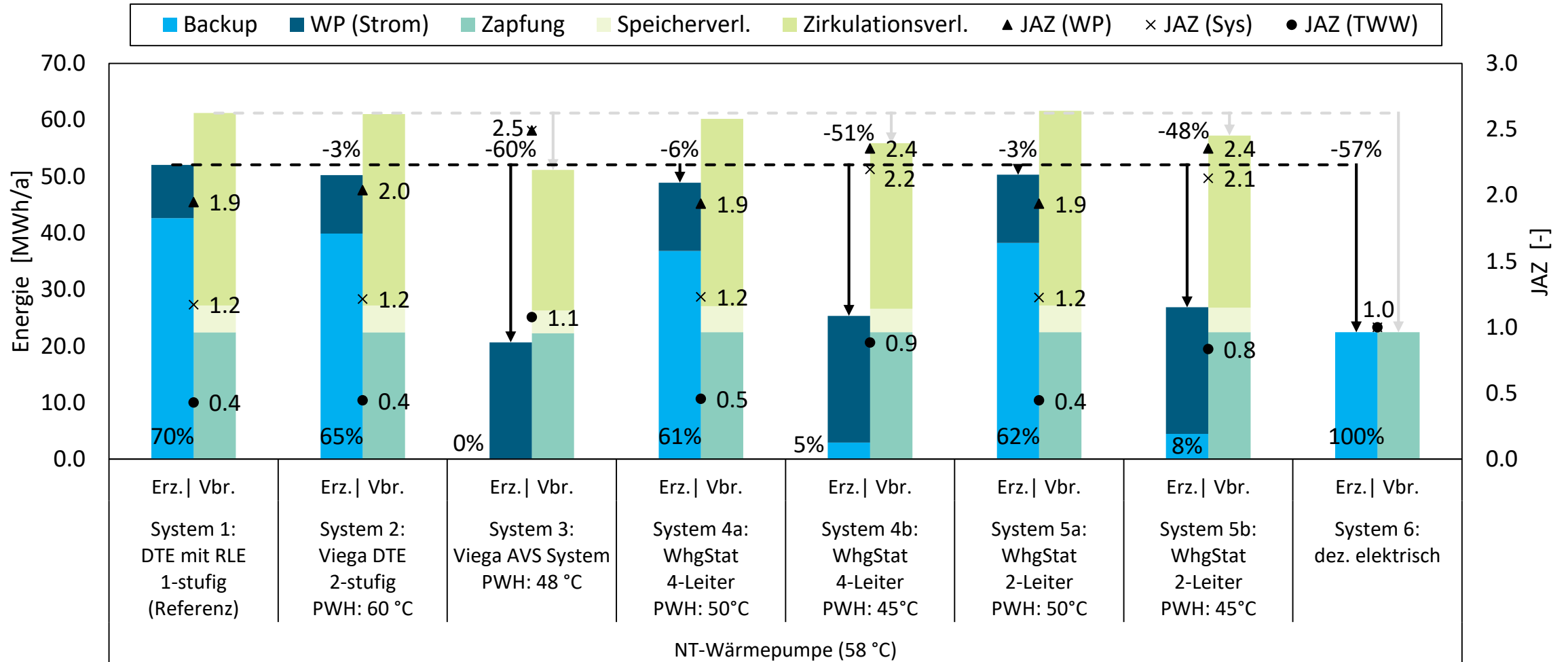
# Simulationsergebnisse im Vergleich zum Referenzsystem

## Dezentrale TW-Erwärmung, elektrische Durchlauferhitzer



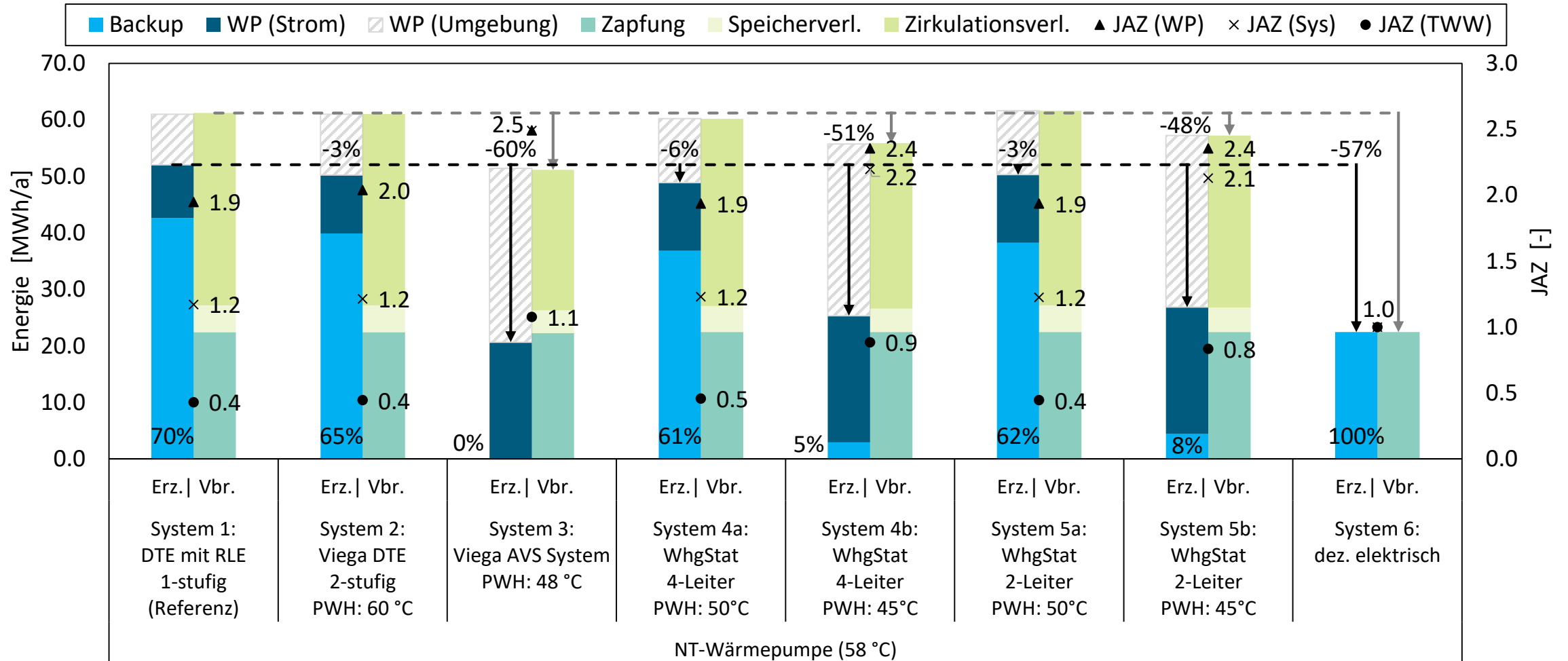
# Simulationsergebnisse im Vergleich zum Referenzsystem

## TW-Erwärmung (Niedertemperatur-Wärmepumpe)



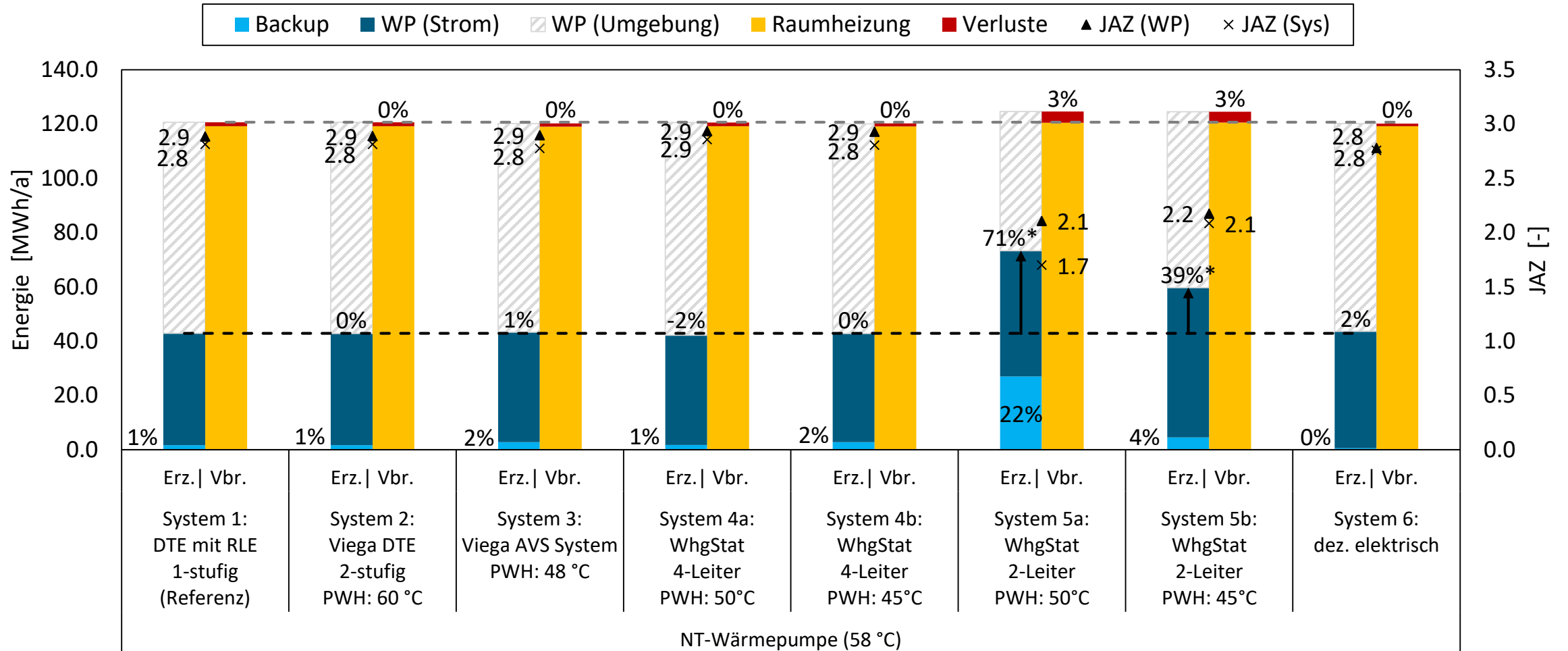
# Vergleich der Trinkwassererwärmungs-Systeme

## TW-Erwärmung (Niedertemperatur-Wärmepumpe)



# Vergleich der Trinkwassererwärmungs-Systeme

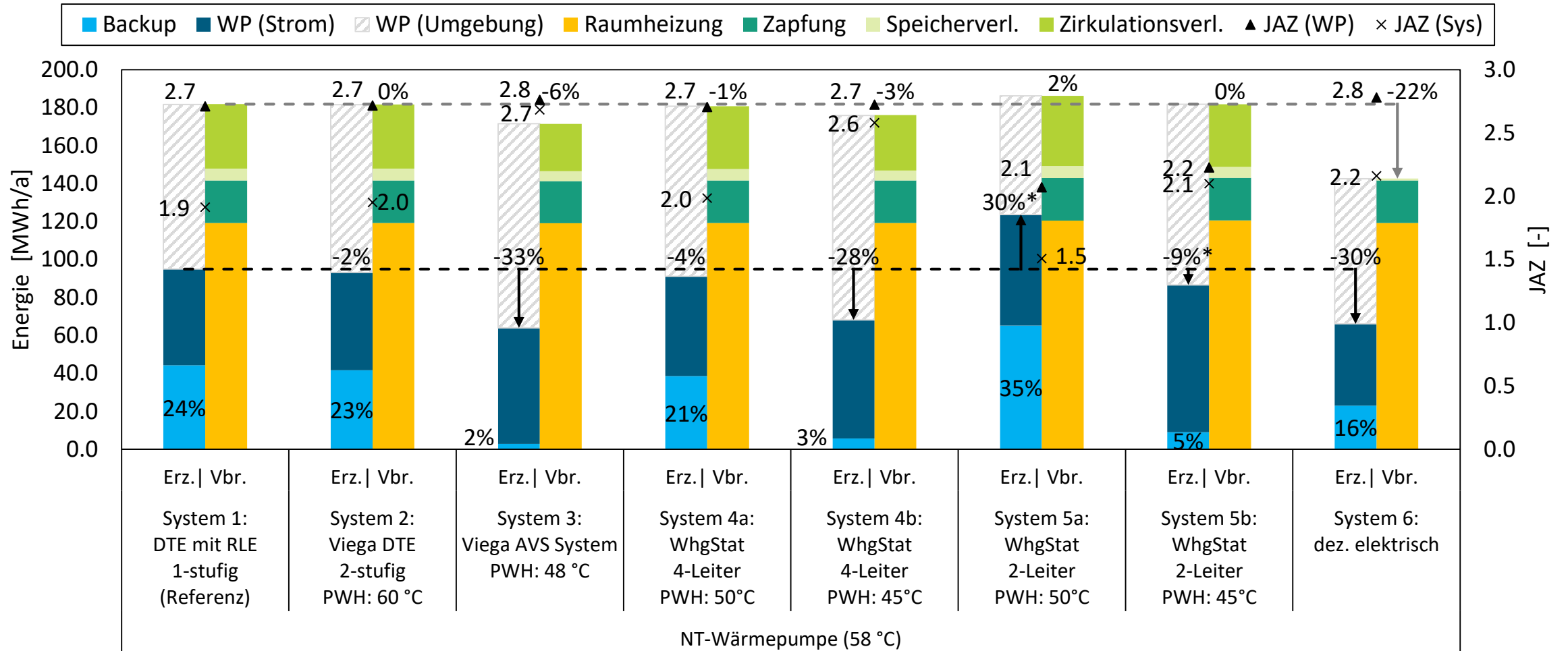
## Raumheizung (Niedertemperatur-Wärmepumpe)



\* Bedingt durch die TWW-Bereitung müssen für die Raumheizung höhere Temperaturen bereitgestellt werden. Dadurch kann die WP nicht so effizient arbeiten, was in einer geringeren  $JAZ_{WP}$  und damit  $JAZ_{Sys}$  resultiert.

# Vergleich der Trinkwassererwärmungs-Systeme

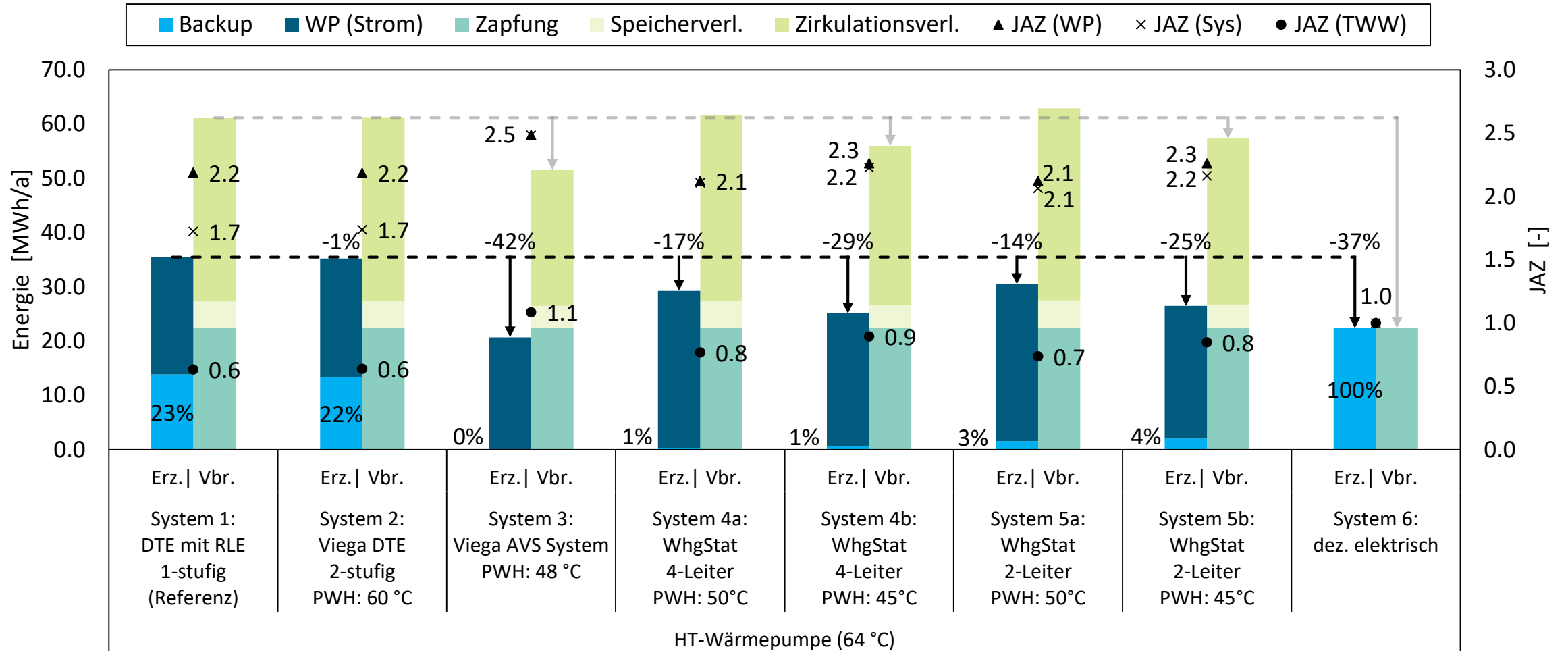
## Gesamtsystem (Niedertemperatur-Wärmepumpe)



\* Bedingt durch die TWW-Bereitung müssen für die Raumheizung höhere Temperaturen bereitgestellt werden. Dadurch kann die WP nicht so effizient arbeiten, was in einer geringeren  $JAZ_{WP}$  und damit  $JAZ_{Sys}$  resultiert.

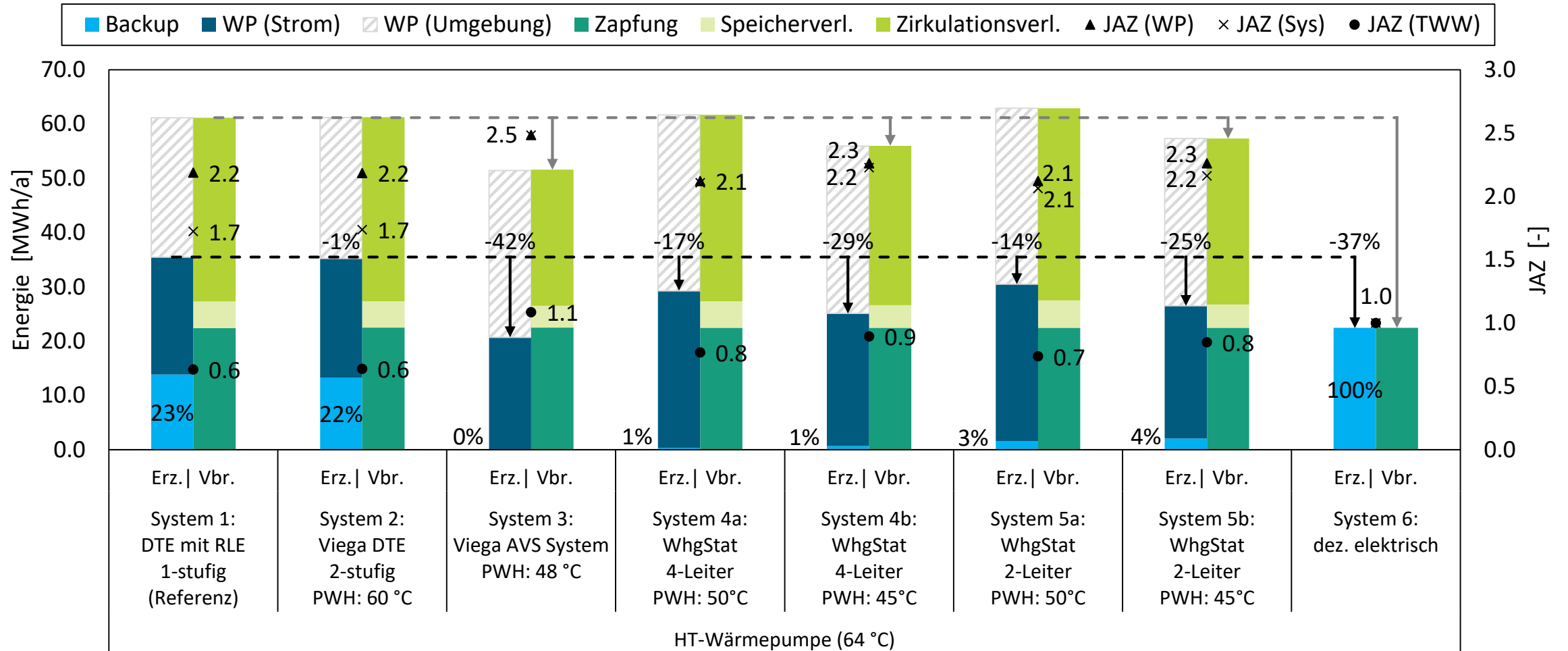
# Simulationsergebnisse im Vergleich zum Referenzsystem

## TW-Erwärmung (Hochtemperatur-Wärmepumpe)



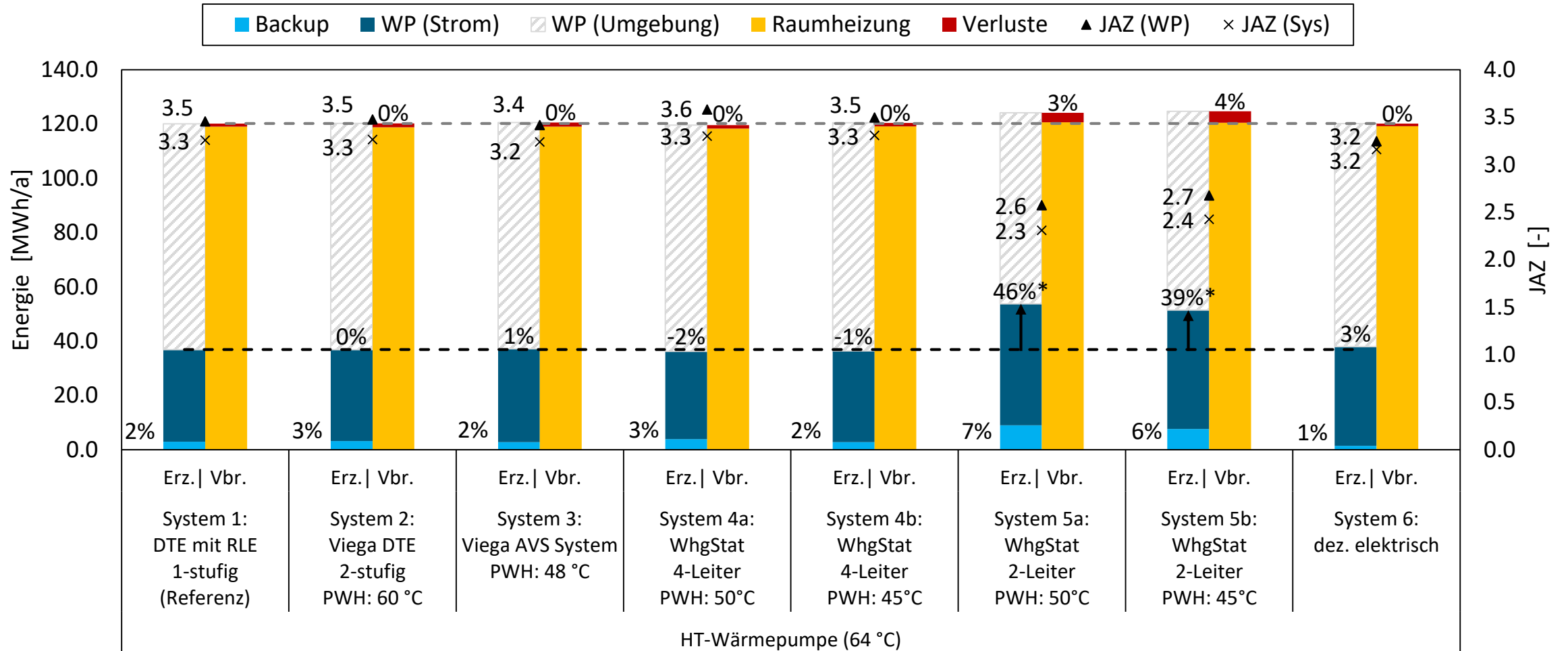
# Vergleich der Trinkwassererwärmungs-Systeme

## TW-Erwärmung (Hochtemperatur-Wärmepumpe)



# Vergleich der Trinkwassererwärmungs-Systeme

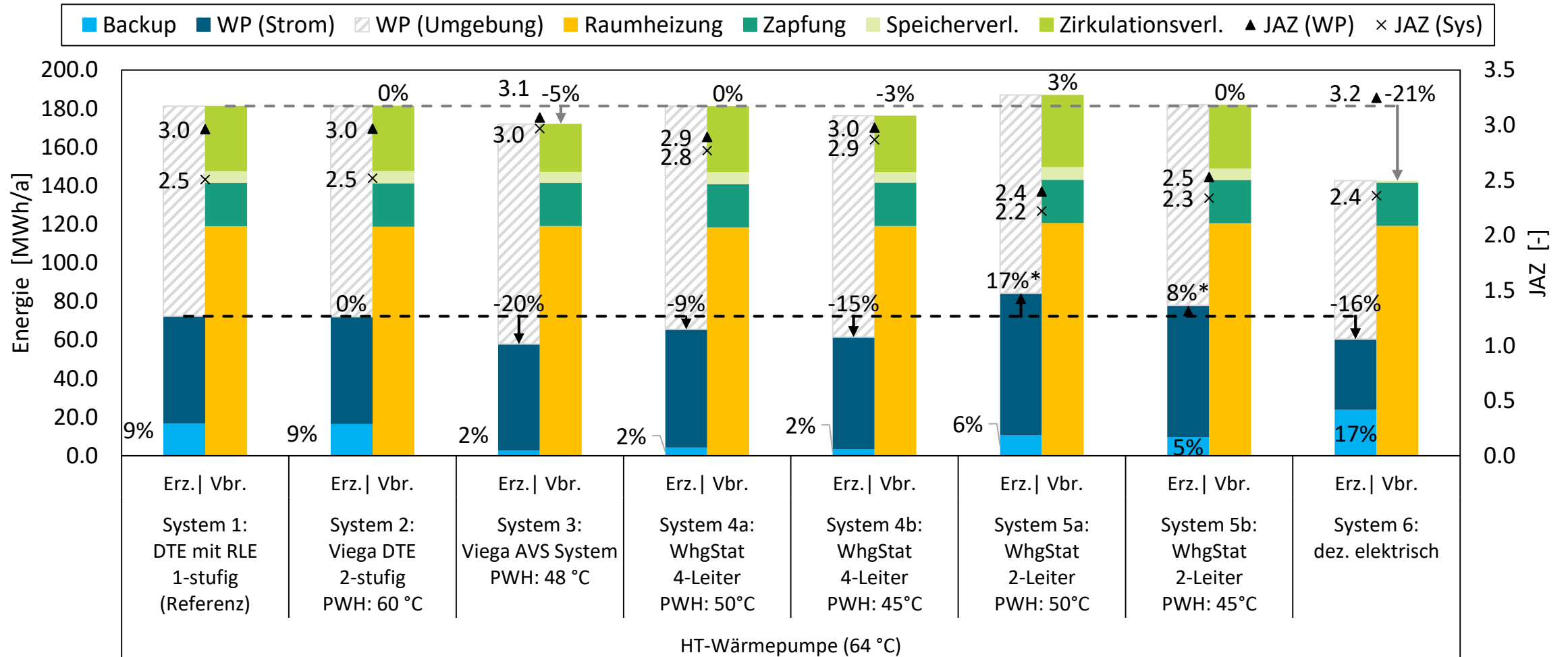
## Raumheizung (Hochtemperatur-Wärmepumpe)



\* Bedingt durch die TWV-Bereitung müssen für die Raumheizung höhere Temperaturen bereitgestellt werden. Dadurch kann die WP nicht so effizient arbeiten, was in einer geringeren  $JAZ_{WP}$  und damit  $JAZ_{Sys}$  resultiert.

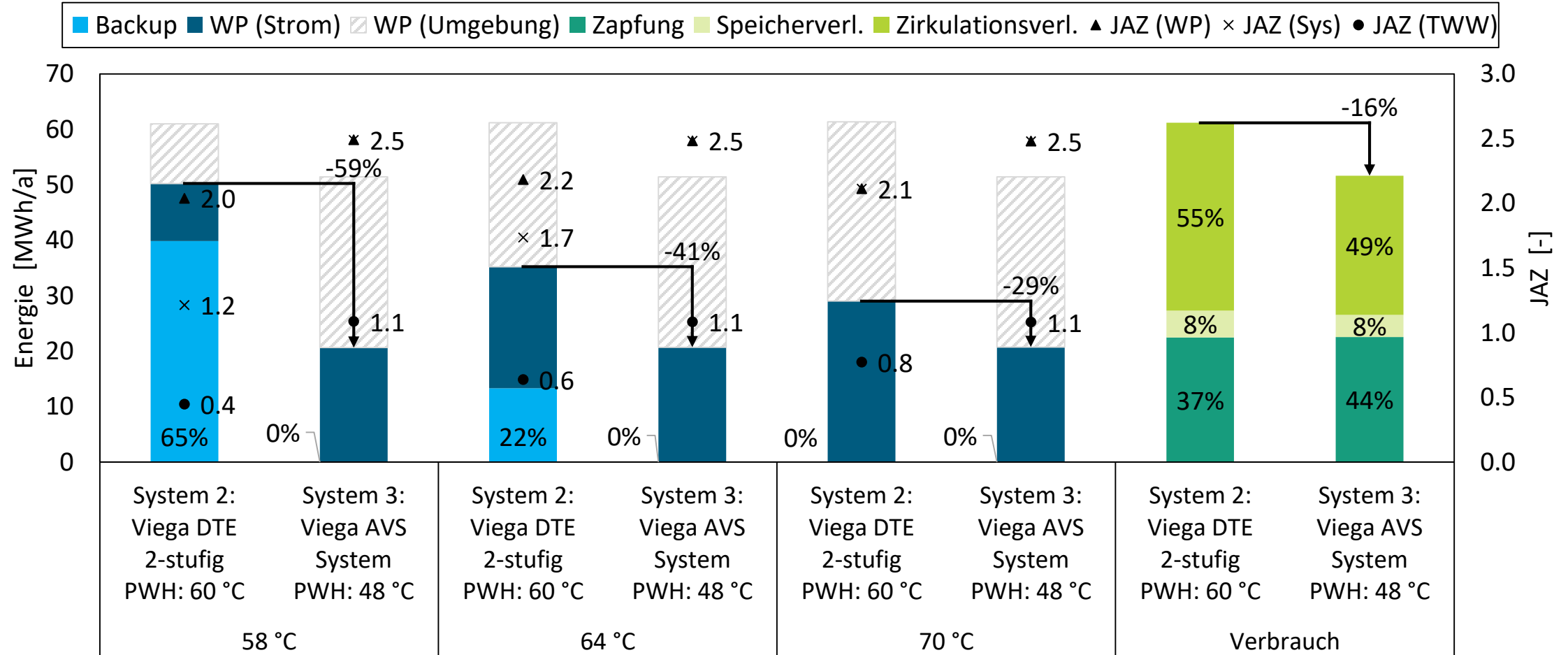
# Vergleich der Trinkwassererwärmungs-Systeme

## Gesamtsystem (Hochtemperatur-Wärmepumpe)



\* Bedingt durch die TWW-Bereitung müssen für die Raumheizung höhere Temperaturen bereitgestellt werden. Dadurch kann die WP nicht so effizient arbeiten, was in einer geringeren  $JAZ_{WP}$  und damit  $JAZ_{Sys}$  resultiert.

# Einfluss der maximalen Vorlauftemperatur der Wärmepumpe



# Technisch-wissenschaftliche Analyse zur Energieeffizienz unterschiedlicher Trinkwasser-Erwärmungssysteme im Vergleich

1. Motivation / Ziel / Fragestellung
2. Simulativer Vergleich der Trinkwasser-Erwärmungssysteme
  - Rahmenbedingungen der Systemsimulationen
  - Bewertungskriterien
  - Untersuchte Systemvarianten
  - Simulationsergebnisse
3. Zusammenfassung und Fazit
4. Anhang

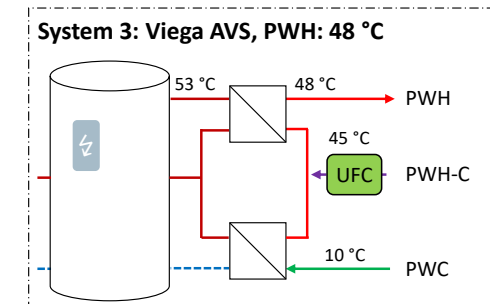
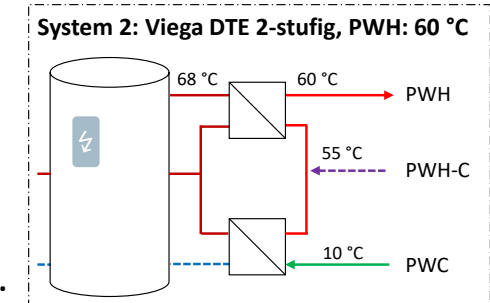
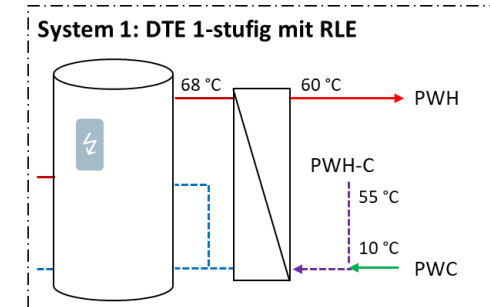
# Zusammenfassung zentrale TW-Erwärmung

## System 1 + System 2 (zentrale DTE):

- Nach den a.a.R.d.T werden bei zentraler TW-Erwärmung PWH-Temperaturen von 60 °C gefordert.
  - Dadurch ist ein hoher Anteil des Backup-Systems notwendig, was in einer niedrigen  $JAZ_{Sys}$  von 2,0 (NT-WP max. VL-Temp: 58 °C) bzw. 2,5 (HT-WP max. VL-Temp: 64 °C) resultiert.
  - Bei maximaler VL-Temperatur der WP  $\geq 70$  °C kann die WP den gesamten Energiebedarf zur TW-Erwärmung bei einer  $JAZ_{Sys}$  von 2,8 decken.
- System 1 + System 2 sind im Ergebnis ähnlich.
- Durch Rücklaufeinschichtung oder eine 2-stufiger DTE ist eine Absenkung der RL-Temperatur der WP möglich.

## System 3 (AVS System mit Temperaturabsenkung):

- Absenken der PWH-Temperatur in der TW-Installation wirkt sich positiv auf den WP-Betrieb aus.
  - Bis zu 16 % Reduktion des Wärmeverbrauchs zur TW-Erwärmung
  - Bereits eine NT-Wärmepumpe kann den gesamten Energiebedarf ohne Einsatz des Backup-Systems decken
  - Effizienz der Wärmepumpe  $JAZ_{Sys}$  steigt auf bis zu 3,0
- Höchste Einsparungen beim Endenergieverbrauch im Vergleich zum Referenzsystem



# Zusammenfassung

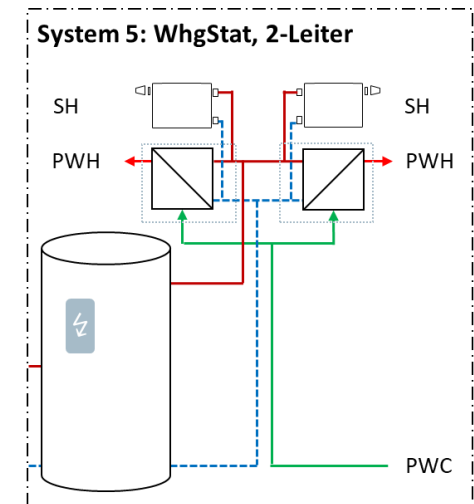
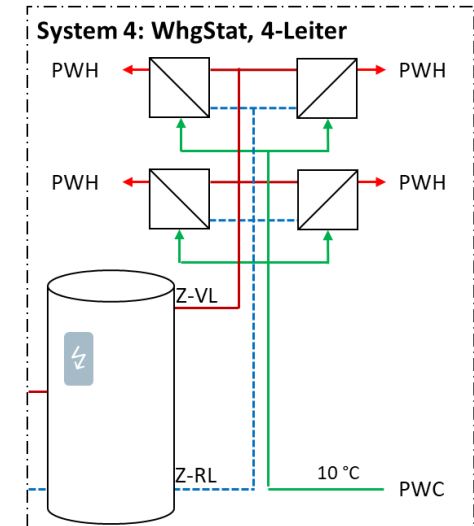
## dezentrale TW-Erwärmung

### System 4 (Dezentrale Wohnungsstation im 4-Leiter-System):

- Eine Endenergieeinsparung im Vergleich zum Referenzsystem ist vor allem unter folgenden Bedingungen möglich:
  - bei NT-Wärmepumpen nur bei Abweichung der DVGW-Forderung von 50 °C für PWH
  - bei HT-Wärmepumpen
- Die  $JAZ_{Sys}$  kann auf bis zu 2,9 verbessert werden

### System 5 (Dezentrale Wohnungsstation im 2-Leiter-System):

- Bedingt durch die TWW-Bereitung müssen für die Raumheizung höhere Temperaturen bereitgestellt werden. Dadurch kann die WP nicht so effizient arbeiten, was in einer geringeren  $JAZ_{WP}$  und damit  $JAZ_{Sys}$  resultiert.
- Bei PWH-Temperaturen von 50 °C liegt die benötigte Endenergie über der des Referenzsystems.
- Wenn abweichende von der DVGW-Forderung die PWH-Temperatur auf 45 °C eingestellt wird, kann bei Einsatz einer NT-Wärmepumpe der Endenergieverbrauch um 9 % gesenkt werden.
- Die  $JAZ_{Sys}$  liegt zwischen 1,5 und 2,3

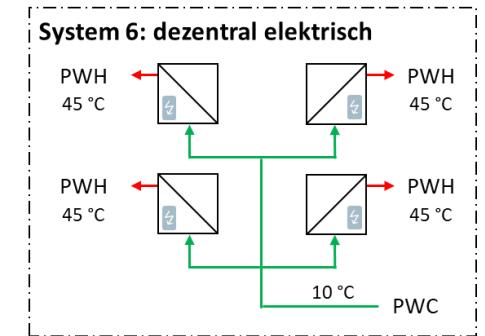


# Zusammenfassung

## dezentrale TW-Erwärmung

### System 6 (Dezentrale elektrische Durchlauferhitzer):

- Höchste Endenergieeinsparungen bei den dezentralen Systemen
- Die wegfallenden Speicher- und Zirkulationsverluste werden durch eine im Vergleich zur WP ineffizienten Wirkungsgrad von 100 % bei der Umwandlung von elektrischer in thermischer Energie teilweise negiert
- Die  $JAZ_{Sys}$  liegt zwischen 2,2 und 2,4



# Fazit

---

## Zukünftiger Einsatz der Wärmepumpe und Erneuerbare Energien (Wärmewände)

- Die Untersuchung hat gezeigt, dass der Einsatz einer WP zur Nutzung erneuerbarer Energien unter folgenden Bedingungen sinnvoll sein kann:
  - Bei Einsatz einer NT-Wärmepumpe ist der Einsatz folgender Systeme im Vergleich energetisch am besten: Viega AVS System mit DTE und UFC, dezentrale elektrische Durchlauferhitzer, sowie bei Abweichung von den DVGW-Forderungen 4-Leiter-System bei PWH 45 °C.
  - Bei einer HT-Wärmepumpe kann auch das 4-Leiter-System bei PWH 50 °C sinnvoll eingesetzt werden.
- Je höher die durch die WP bereitgestellte Temperatur (maximale VL-Temperatur), desto besser lassen sich auch die anderen Systeme einsetzen, da sich dadurch der Einsatz des Backup-Systems minimieren lässt

## Einordnung des AVS Systems mit Temperaturabsenkung in den Systemvergleich

- Bezogen auf den Einsatz der Endenergie und der zu erreichenden  $JAZ_{Sys}$  schneidet das AVS System im Vergleich sehr gut ab
- Der Einsatz des AVS Systems in Kombination mit einer (NT)-Wärmepumpe bietet Potential für den Einsatz erneuerbarer Energien
- Der Nachweis der Gleichwertigkeit einer Temperaturabsenkung mittels AVS System zu einem Betrieb bei PWH 60 °C sowie die Aufnahme in die technischen Regelwerke stehen noch aus

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

---

Michael Kropp, Dr. Manuel Lämmle  
Gebäudesystemtechnik  
[michael.kropp@inatech.uni-freiburg.de](mailto:michael.kropp@inatech.uni-freiburg.de)  
[manuel.laemmle@ise.fraunhofer.de](mailto:manuel.laemmle@ise.fraunhofer.de)

Fraunhofer ISE  
Heidenhofstraße 2  
79110 Freiburg  
[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)





Anhang

# Technisch-wissenschaftliche Analyse zur Energieeffizienz unterschiedlicher Trinkwasser-Erwärmungssysteme im Vergleich – Anhang

- I. Dokumentation (Systemsimulationen mit Dymola Modelica)
  - Randbedingungen
  - Untersuchte Systemvarianten
  - Regelung
  - Bewertungskriterien
- II. Simulativer Vergleich der Trinkwasser-Erwärmungssysteme (HT- und NT-Wärmepumpe)
  - Variantenvergleich (TW-Erwärmung, Raumheizung, Gesamtsystem)
  - Einzel-Darstellung (TW-Erwärmung)
- III. Abkürzungsverzeichnis
- IV. Quellen

# Randbedingungen Systemsimulationen mit Dymola Modelica

Komponente	Beschreibung*	Parameter
Wetter	Meteonorm (Version 7.1.11) (TMY3Reader, [Buildings])	Standort: Potsdam Standard Test-Reference-Year (TRY)
Raumheizung	Mehrfamilienhaus Modifiziertes Ein-Zonen-Modell nach ISO 13790 (eigenes Modell) Heizsystem: Radiatoren (RadiatorEN442_2, [Buildings])	Neubau nach GEG (5 Stockwerke, 30 Wohneinheiten) 2270.4 m <sup>2</sup> beheizte Wohnfläche Spezifischer Heizbedarf: 53 kWh/(m <sup>2</sup> ·a) Auslegung: Vorlauf 45 °C / Rücklauf 38 °C / Raumtemperatur 20 °C bei Außentemperatur -12.6 °C [DIN SPEC 12831-1] Auslegungs-Heizleistung: 76.8 kW Heizgrenztemperatur: 12 °C [VDI 4645]
Raumheizung Regelung	Vorlauf-Temperatur nach Heizkurve (s. Folie 43) (HotWaterTemperatureReset, [Buildings]); Speicherladung mit Hysterese (PIDHysteresisTimer, [Buildings]), Zieltemperatur nach Heizkurve Bivalent parallele Betriebsweise: Backup läuft nur unterhalb des Bivalenzpunktes	Wärmepumpe (Höhe Vorlauf: 100 % der Speicherhöhe): Temperatursensor: 75 % der Speicherhöhe Hysterese: ± 2.5 K Elektrischer Backup-Heizer (75 % der Speicherhöhe): Temperatursensor: 75 % der Speicherhöhe Hysterese: -5 K and +2 K
Trinkwasser	PWH-Profil mit synPro erstellt (s. Folie 44)	Spezifischer Energiebedarf: 10 kWh/(m <sup>2</sup> ·a) (1060 l/d) [DIN SPEC 12831-3] konstante Frischwassertemperatur: 10 °C
Zirkulation	Zirkulation mit horizontaler Verteilung; Auslegung nach DIN V 18599 und DIN 1988-300	konstante Zirkulation: 662 l/h (14.8 kWh/(m <sup>2</sup> a)) Zirkulationsverluste (konstante Umgebungstemperatur): Steigleitung (234 m): 1.8 kW (20 °C) [DIN V 18599, DIN 1988-300] Verteilleitung (235 m): 2.1 kW (13 °C) [DIN V 18599, DIN 1988-300]
Trinkwasser Regelung	Ziel-Temperatur abhängig von max. VL-Temperatur der Wärmepumpe und abhängig von Variante; Speicherladung mit Hysterese (OnOffController); Backup Regelung: Backup startet, wenn max. VL-Temperatur der Wärmepumpe erreicht ist oder 15 Minuten nachdem die WP gestartet ist	Wärmepumpe (VL: 35 % der Speicherhöhe): Temperatursensor: 65 % der Speicherhöhe Hysterese: ± 2 K Elektrischer Backup-Heizer (75 % der Speicherhöhe): Temperatursensor: 95 % der Speicherhöhe Ziel-Temperatur: 54 – 68 °C (abhängig von Variante)

# Randbedingungen Systemsimulationen mit Dymola Modelica

Komponente	Beschreibung*	Parameter
Wärmepumpe	Fixed-Speed Wärmepumpen-Modell (HeatPump, [AixLib])	$\dot{Q}_{th}, P_{el}$ : Temperaturabhängig (Quelle und Senke) (s. Folie 42) Auslegungsleistung: 75 kW (A2/W35) Bivalenzpunkt: -5 °C (53 kW RH, 8 kW TWW)
Backup	Elektrischer Heizstab, im Speichermodell integriert	Auslegungsleistung: 39 kW RH, 8 kW TWW Effizienz: 100 % [DIN V 18599]
Speicher	Modifiziertes Pufferspeicher-Modell mit 10 Schichten (BufferStorage, [AixLib])	1.000 l RH und 1.500 l TWW [DIN EN 12831-3] Speicherverluste nach [ErP-Richtlinie] und [DIN V 18599] Wärmeübertragung zwischen den Schichten durch Wärmeleitung und Durchmischung durch Auftrieb
DTE zentral/dezentral	Plattenwärmeübertrager (PlateHeatExchangerEffectivenessNTU, [Buildings])	Leistung an Datenblätter angepasst
DTE Regelung	PI Regler (LimPID, [Buildings])	Leistung an Datenblätter angepasst
UFC	Kein Modell	Dauerbetrieb mit durchschnittlicher Leistungsaufnahme von 50 W
Pumpen		Elektrische Leistung nicht berücksichtigt, da in allen Systemen annähernd gleich

# Randbedingungen Systemsimulationen mit Dymola Modelica

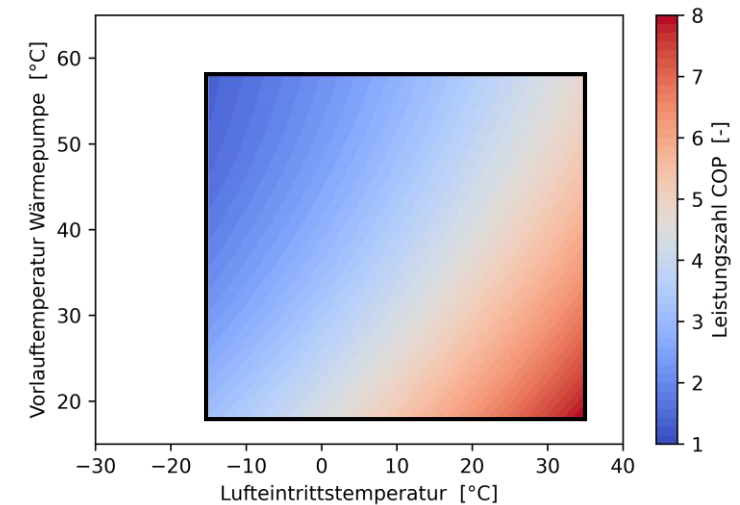
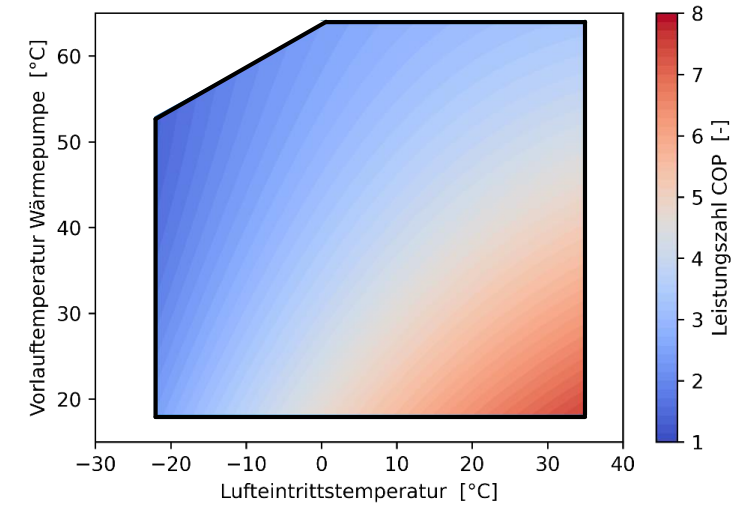
## Verwendete Wärmepumpen-Modelle

### „Hochtemperatur“-Wärmepumpe (HT-Wärmepumpe)

- 2x Viessmann Vitocal 300-A 302.B60
- Leistungsdaten Heizen (A2/W35):
  - Nennwärmeleistung: 47,2 kW
  - COP: 3,6
- max. Vorlauftemperatur: 64 °C

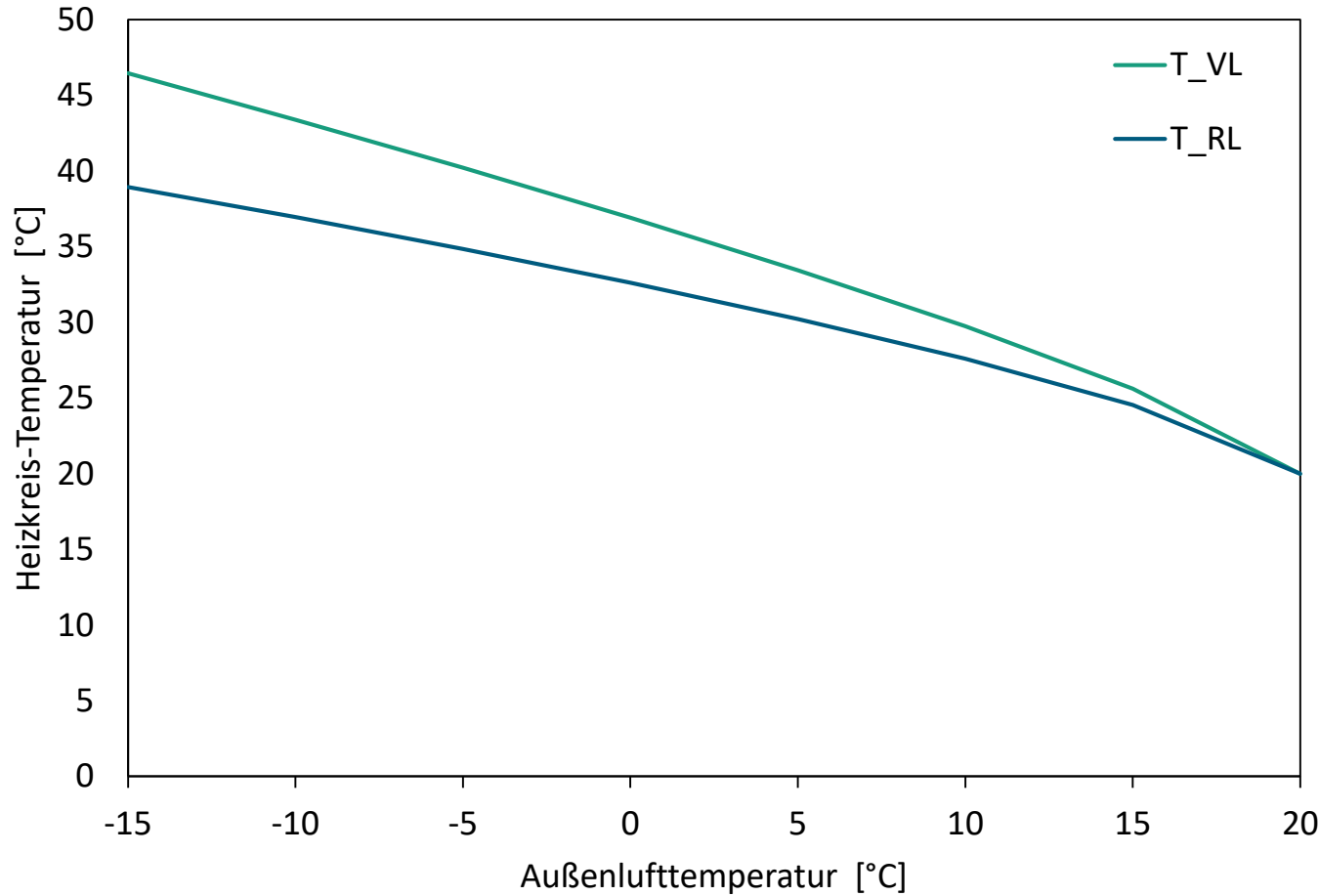
### „Standard“-Wärmepumpe (NT-Wärmepumpe)

- Waterkotte EcoTouch Air Kaskade 5090.5
- Leistungsdaten Heizen (A2/W35):
  - Nennwärmeleistung: 80,4 kW
  - COP: 3,0
- max. Vorlauftemperatur: 58 °C



# Randbedingungen Systemsimulationen mit Dymola Modelica

## Heizkurve



$$T_{VL} = T_{Raum} + \left( \frac{T_{VL,nom} + T_{RL,nom}}{2} - T_{Raum} \right) \dot{Q}_{rel}^{\frac{1}{n}} + \frac{T_{VL} - T_{RL}}{2} \cdot \dot{Q}_{rel}$$

$$T_{RL} = T_{VL} - \dot{Q}_{rel} (T_{VL,nom} - T_{RL,nom})$$

$$\dot{Q}_{rel} = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{nom}} = \frac{T_{Raum} - T_{Außen}}{T_{Raum,nom} - T_{Außen,nom}}$$

$T_{VL}/T_{RL}$ : Vor-/Rücklauftemperatur

$T_{VL,nom}/T_{RL,nom}$ : Auslegungstemperatur Vor-/Rücklauf

$T_{Raum}/T_{Raum,nom}$ : Raumtemperatur, Auslegungs-Raumtemperatur

$\dot{Q}_{rel}$ : relative Wärmelast bezogen auf Norm-Wärmelast  $\dot{Q}_{nom}$

$T_{Außen}/T_{Außen,nom}$ : Außenlufttemperatur, Auslegungs-Außenlufttemperatur

$T_{VL,nom} = 45 \text{ °C}$

$T_{RL,nom} = 38 \text{ °C}$

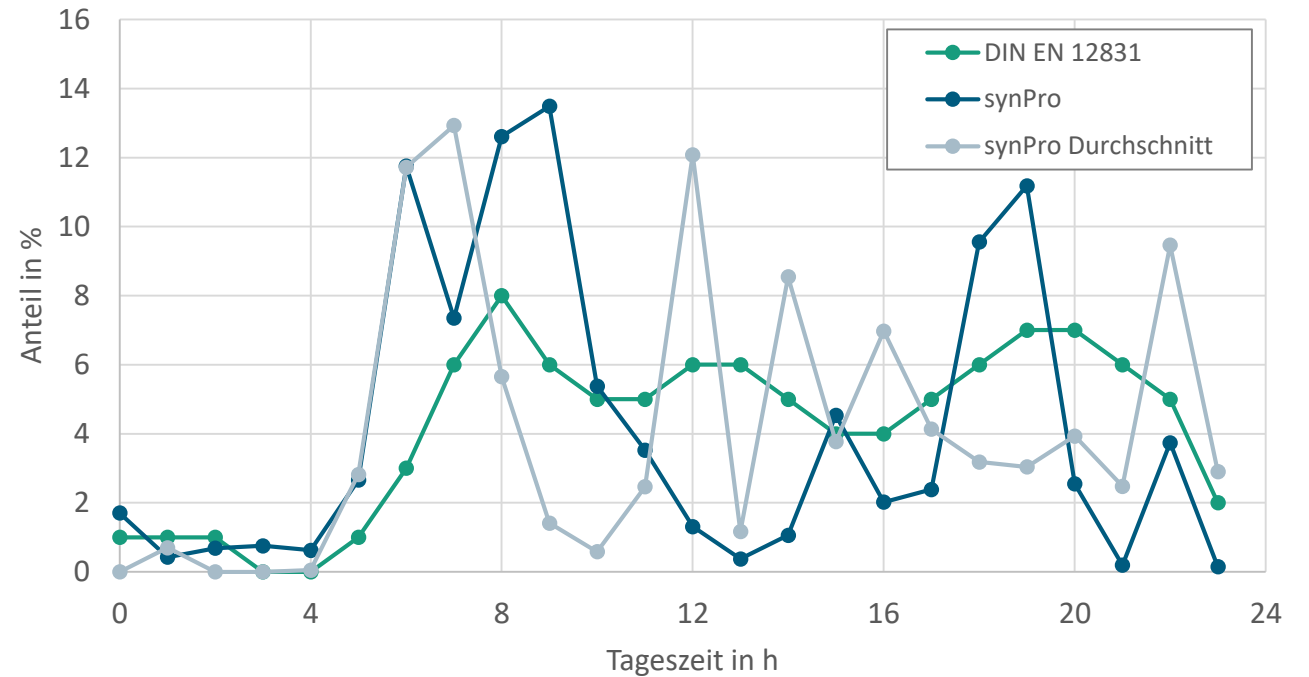
$T_{Raum,nom} = 20 \text{ °C}$

$T_{Außen,nom} = -12,6 \text{ °C}$

# PWH-Profil – synPro

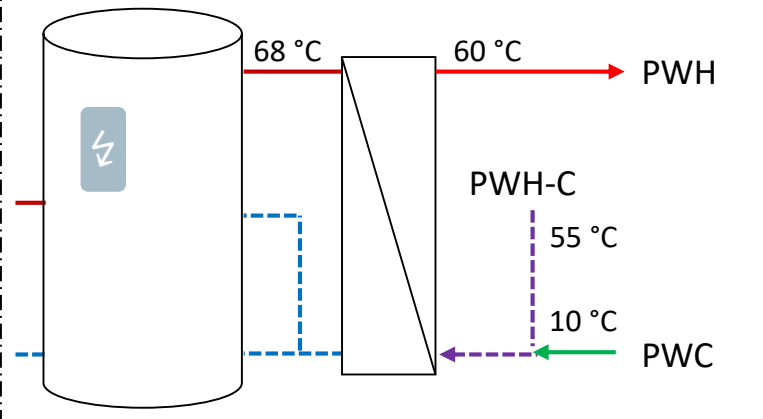
## synPro: synthetisch generierte, „haushaltsscharfe“ Warmwasserbedarfsprofile

- Bewohnertyp: typische Bewohner eines Mehrfamilienhauses
- Zeitliche Auflösung: 1 Minute
- Jahr der Simulation: 2018 (Feiertage und Urlaubstage werden berücksichtigt)

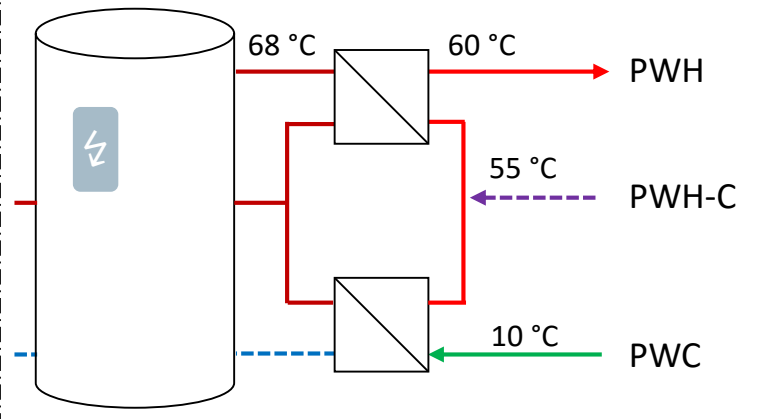


# Untersuchte Systemvarianten – zentrale Trinkwassererwärmung

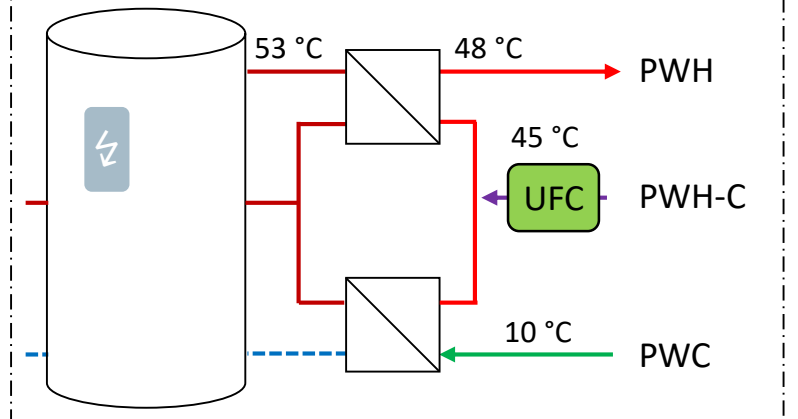
**System 1: DTE 1-stufig mit RLE**



**System 2: Viega DTE 2-stufig, PWH: 60 °C**



**System 3: Viega AVS, PWH: 48 °C**



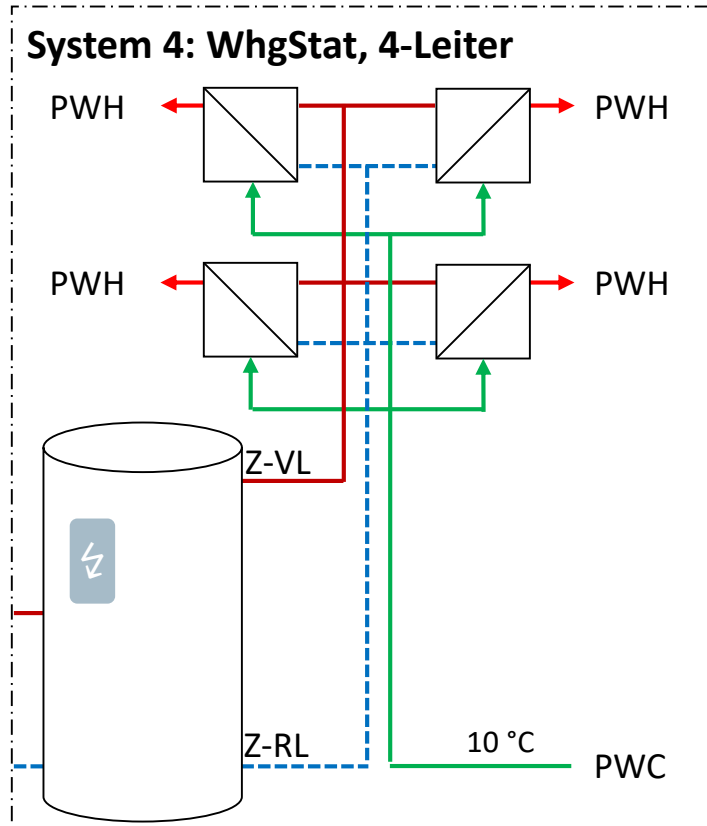
→ PWC: Trinkwasser kalt

→ PWH: Trinkwasser warm

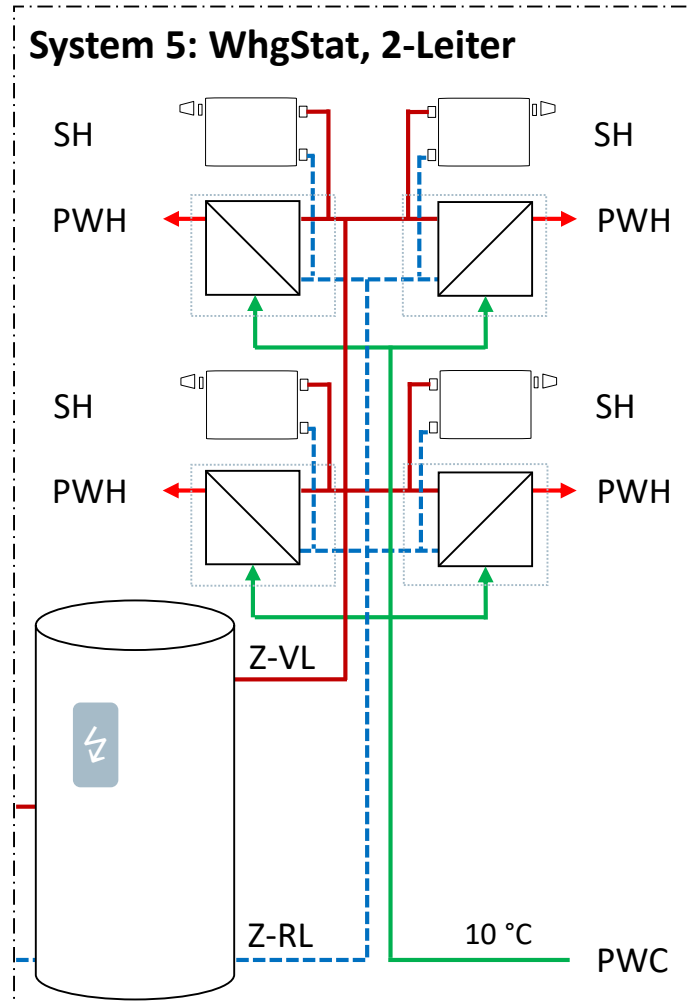
--- PWH-C: Zirkulation

DTE: Durchfluss-Trinkwassererwärmer  
 RLE: Rücklaufeinschichtung  
 AVS: AquaVIP Solutions  
 UFC: Ultrafiltrationsmodul

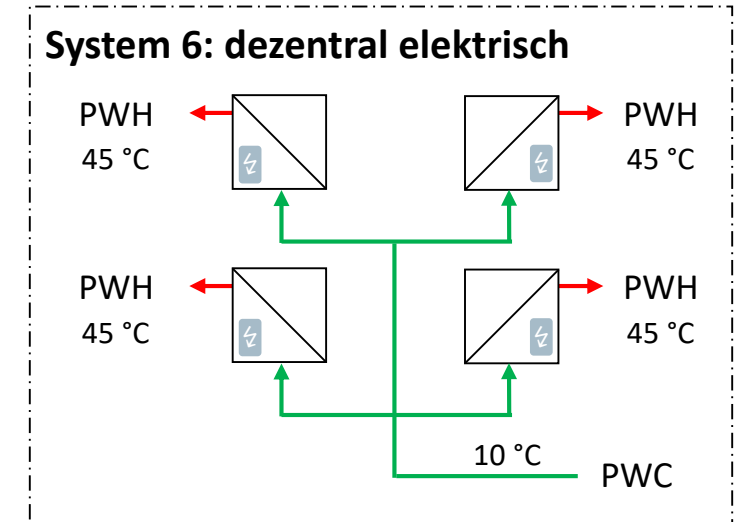
# Untersuchte Systemvarianten – **dezentrale** Trinkwassererwärmung



System 4a: Z-VL 60 °C / PWH 50 °C  
 System 4b: Z-VL 55 °C / PWH 45 °C



System 5a: Z-VL 60 °C / PWH 50 °C  
 System 5b: Z-VL 55 °C / PWH 45 °C



- PWC: Trinkwasser kalt
- PWH: Trinkwasser warm
- Z-VL: Vorlauf Zirkulation (Heizungswasser)
- Z-RL: Rücklauf Zirkulation (Heizungswasser)

# Regelung

## zentrale DTE ohne Temperaturabsenkung (System 1 und System 2)

### Trinkwasser-Regelung

- Temperatursensor: 65 % der Speicherhöhe
- Hysterese:  $\pm 2$  K
- Speicher-Zieltemperatur:
  - HT-Wärmepumpe: 61 °C auf 65 % der Speicherhöhe (Berücksichtigung Einfluss Außentemperatur)
  - NT-Wärmepumpe: 61 °C auf 65 % der Speicherhöhe
- Wärmepumpen-Vorlauf: 35 % der Speicherhöhe

### Backup-Regelung (Heizstab)

- Einbauhöhe:
  - HT-Wärmepumpe: 75 % der Speicherhöhe
  - NT-Wärmepumpe: 65 % der Speicherhöhe (sonst wird Speicher-Zieltemperatur für WP-Betrieb nicht erreicht)
- Backup startet, wenn WP angefordert ist und VL-Temperatur der Wärmepumpe (Messwert)  $>$  max. VL-Temperatur (Einsatzgrenze) – 1 K
- zus. Sicherheitsregelung (damit TWW-Temperatur  $>$  60 °C sichergestellt ist): Backup startet
  - 15 Minuten nachdem WP gestartet ist oder
  - an sehr kalten Tagen, wenn Temperatur auf 85 % der Speicherhöhe  $<$  59 °C
- Vorlauf-DTE-Zieltemperatur (Ende des Backup-Betriebes): 68 °C

# Regelung

## AVS System mit Temperaturabsenkung (System 3)

### Trinkwasser-Regelung

- Temperatursensor: 65 % der Speicherhöhe
- Hysterese:  $\pm 2$  K
- Speicher-Zieltemperatur: 54 °C
- Wärmepumpen-Vorlauf: 35 % der Speicherhöhe

### Backup-Regelung (Heizstab)

- Einbauhöhe: 75 % der Speicherhöhe
- Backup startet, wenn WP angefordert ist und VL-Temperatur der Wärmepumpe (Messwert) > max. VL-Temperatur (Einsatzgrenze) – 1 K
- zus. Sicherheitsregelung: Backup startet 15 Minuten nachdem WP gestartet ist
- Vorlauf-DTE-Zieltemperatur (Ende des Backup-Betriebes): 54 °C

# Regelung

## dezentrale Wohnungsstation 4-Leiter (System 4a und 4b)

### Trinkwasser-Regelung

- Temperatursensor: 65 % der Speicherhöhe
- Hysterese:  $\pm 2$  K
- Speicher-Zieltemperatur:
  - System 4a: 59 °C auf 65 % der Speicherhöhe
  - System 4b: 54 °C auf 65% der Speicherhöhe
- Wärmepumpen-Vorlauf: 35 % der Speicherhöhe

### Backup-Regelung (Heizstab)

- Einbauhöhe: 75 % der Speicherhöhe
- Backup startet, wenn WP angefordert ist und VL-Temperatur der Wärmepumpe (Messwert) > max. VL-Temperatur (Einsatzgrenze) – 1 K
- zus. Sicherheitsregelung: Backup startet 15 Minuten nachdem WP gestartet ist
- Vorlauf-Zirkulation-Zieltemperatur (Ende des Backup-Betriebes):
  - System 4a: 59 °C
  - System 4b: 54 °C

System 4a: Zirkulations-Vorlauf 60 °C / PWH-Temperatur 50 °C

System 4b: Zirkulations-Vorlauf 55 °C / PWH-Temperatur 45 °C

# Regelung

## dezentrale Wohnungsstation 2-Leiter (System 5a und 5b)

### Trinkwasser-Regelung

- s. 4-Leiter-System

### Backup-Regelung (Heizstab)

- s. 4-Leiter-System

### Berechnung TW-Erwärmung 2-Leiter-Systeme:

- Verbrauch TW-Erwärmung 2-Leiter-System (Zapfung, Speicher- und Zirkulationsverluste) entspricht Verbrauch TW-Erwärmung des jeweiligen 4-Leiter-Systems
- Aufteilung des zusätzlichen Verbrauchs (Speicher + Zirkulationsverluste) nach Gesamt-Verbrauch des jeweiligen 4-Leiter-Systems (ca. 1/3 TWW und 2/3 Heizung)
- Erzeugung TW-Erwärmung 2-Leiter-System entspricht Erzeugung TW-Erwärmung 4-Leiter-System
- Zusätzlicher Verbrauch (Speicher + Zirkulationsverluste) wird durch Backup gedeckt (eher hohes Temperaturniveau)
- Verbrauch Heizung aus Simulation (Differenz), zusätzliche Verluste Speicher + Zirkulation nach Verbrauch des jeweiligen 4-Leiter-Systems (ca. 2/3)
- Erzeuger Heizung: Differenz aus Gesamterzeugung und Erzeugung TW-Erwärmung

System 5a: Zirkulations-Vorlauf 60 °C / PWH-Temperatur 50 °C

System 5b: Zirkulations-Vorlauf 55 °C / PWH-Temperatur 45 °C

# Regelung

## dezentral elektrischer Durchlauferhitzer (System 6)

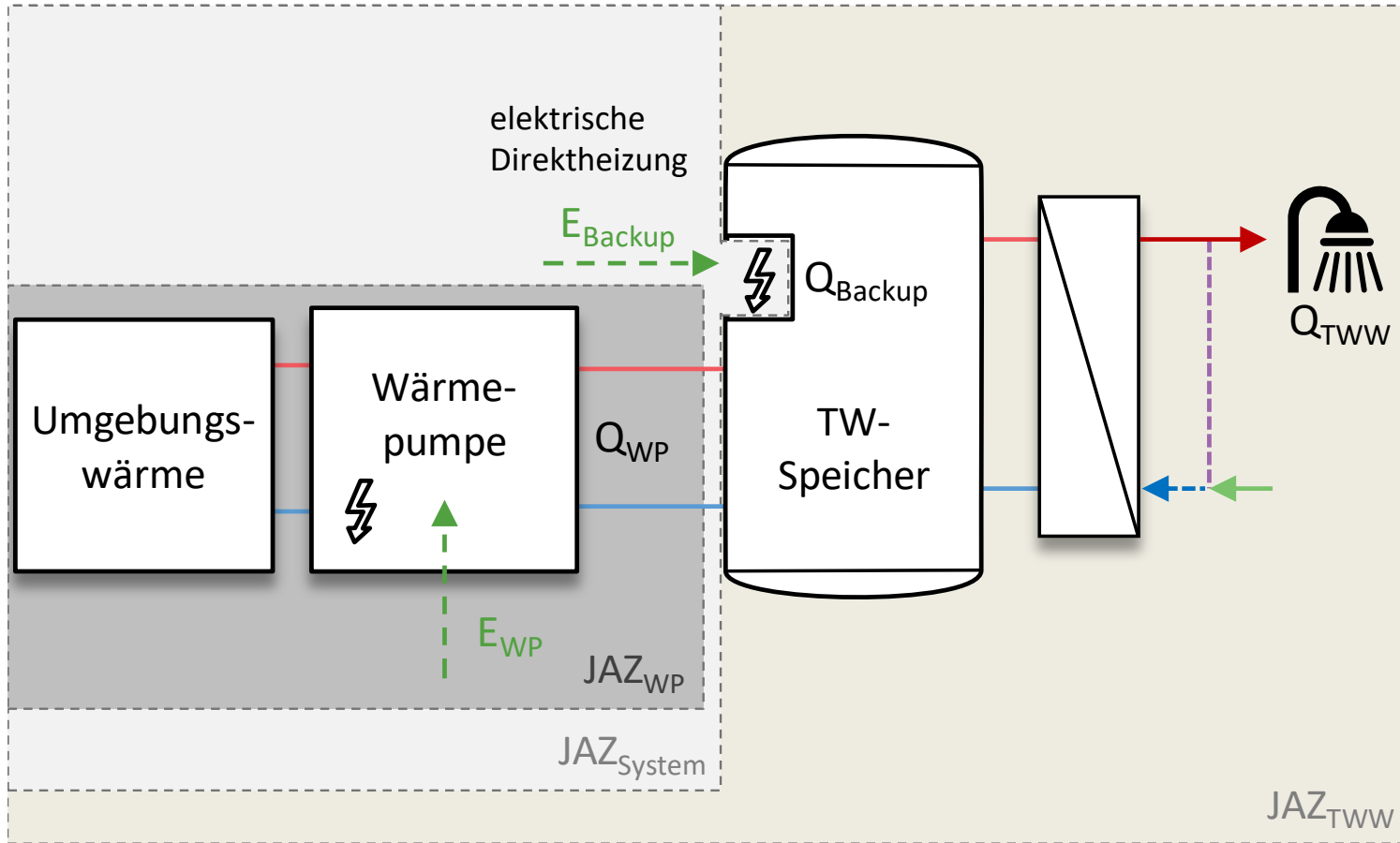
### Trinkwasser-Regelung

- Wärmepumpe nicht im TWW-Betrieb

### Backup-Regelung (elektrischer Durchlauferhitzer je Wohnung)

- Effizienz: 100 % [DIN EN 18599]
- Strahlungsverluste nicht berücksichtigt

# Bewertung der Energieeffizienz der Wärmepumpen-Anlage Trinkwasser-Erwärmung



**JAZ = Jahresarbeitszahl**

Bilanzgrenze Wärmepumpe

$$JAZ_{WP} = \frac{Q_{WP}}{E_{WP}}$$

Bilanzgrenze System  
(WP + Backup)

$$JAZ_{Sys} = \frac{Q_{WP} + Q_{Backup}}{E_{WP} + E_{Backup}}$$

Bilanzgrenze TWW

$$JAZ_{TWW} = \frac{Q_{TWW}}{E_{WP} + E_{Backup}}$$

# Technisch-wissenschaftliche Analyse zur Energieeffizienz unterschiedlicher Trinkwasser-Erwärmungssysteme im Vergleich – Anhang

## I. Dokumentation (Systemsimulationen mit Dymola Modelica)

- Randbedingungen
- Untersuchte Systemvarianten
- Regelung
- Bewertungskriterien

## II. Simulativer Vergleich der Trinkwasser-Erwärmungssysteme (HT- und NT-Wärmepumpe)

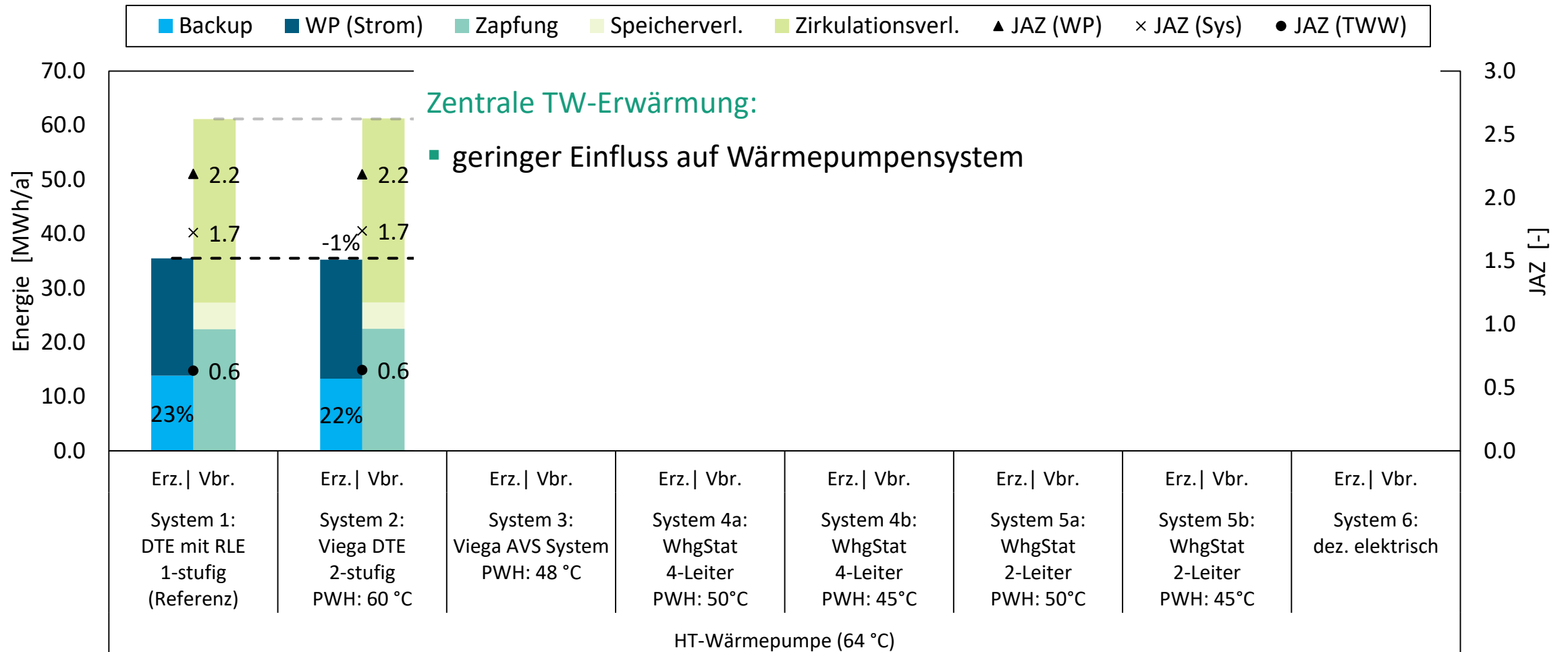
- Variantenvergleich (TW-Erwärmung, Raumheizung, Gesamtsystem)
- Einzel-Darstellung (TW-Erwärmung)

## III. Abkürzungsverzeichnis

## IV. Quellen

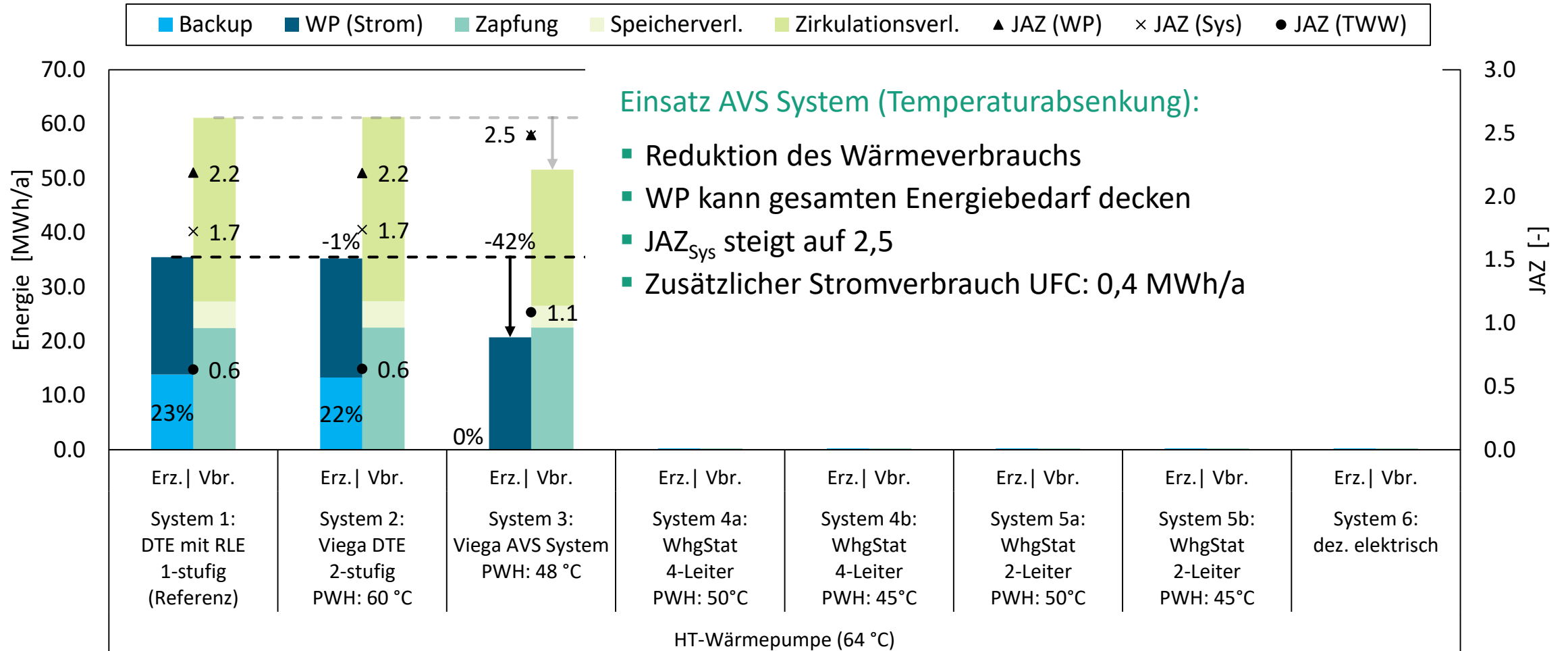
# Vergleich der Trinkwassererwärmungs-Systeme

## Zentrale TW-Erwärmung



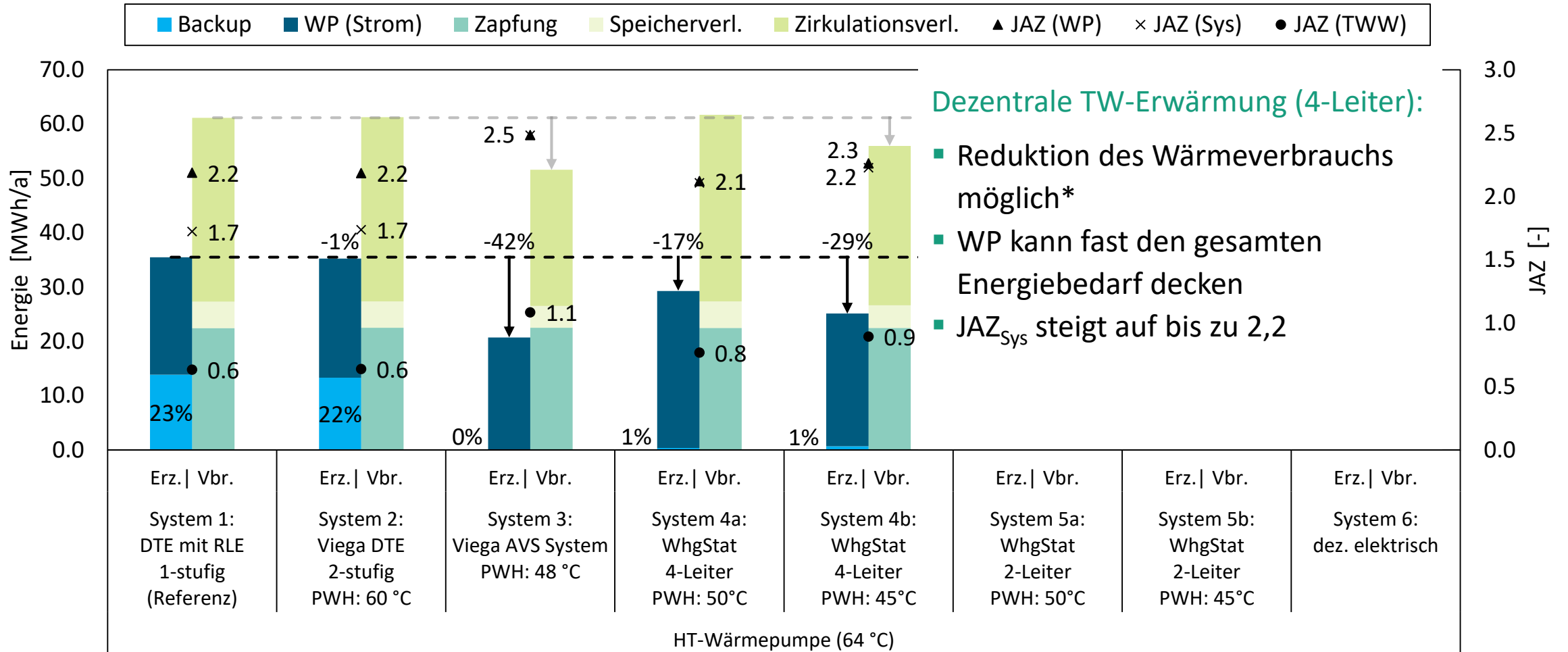
# Vergleich der Trinkwassererwärmungs-Systeme

## Zentrale TW-Erwärmung + AVS System



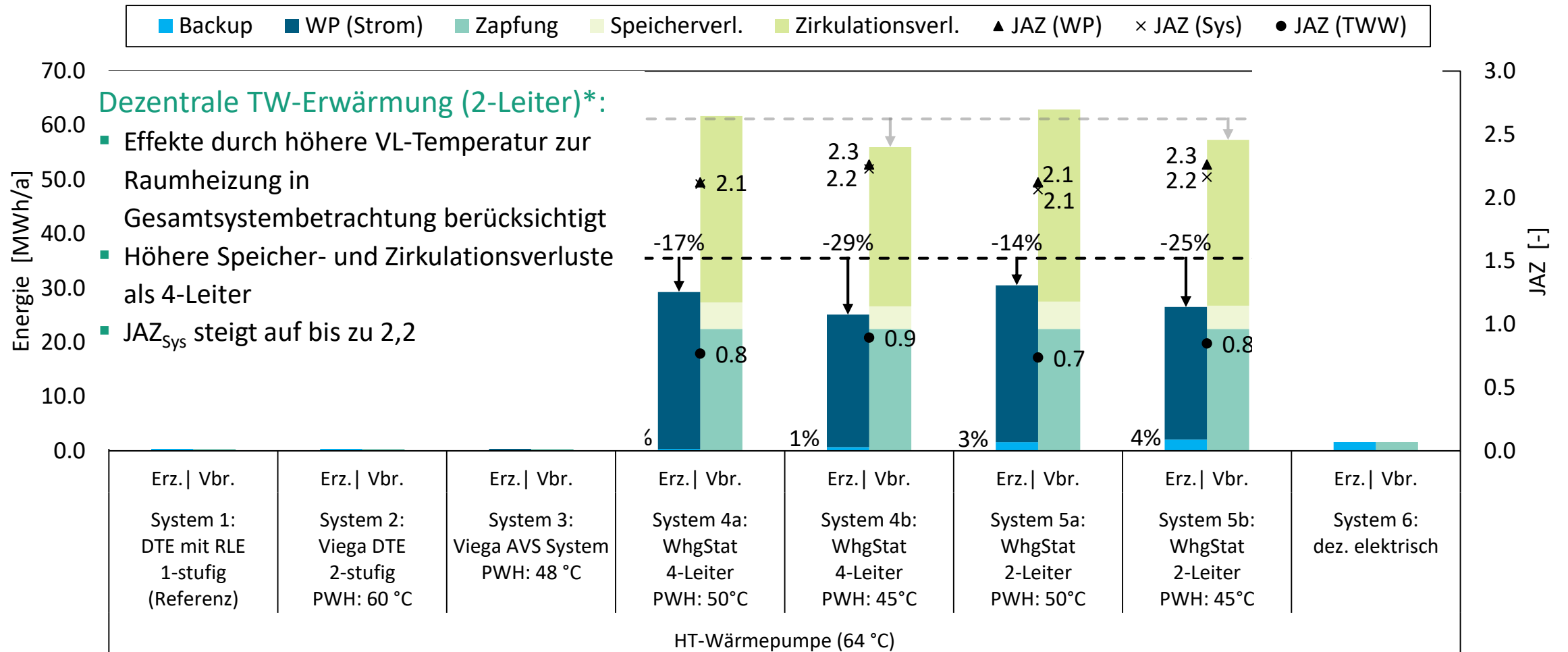
# Vergleich der Trinkwassererwärmungs-Systeme

## Dezentrale TW-Erwärmung, Wohnungsstation im 4-Leiter-System



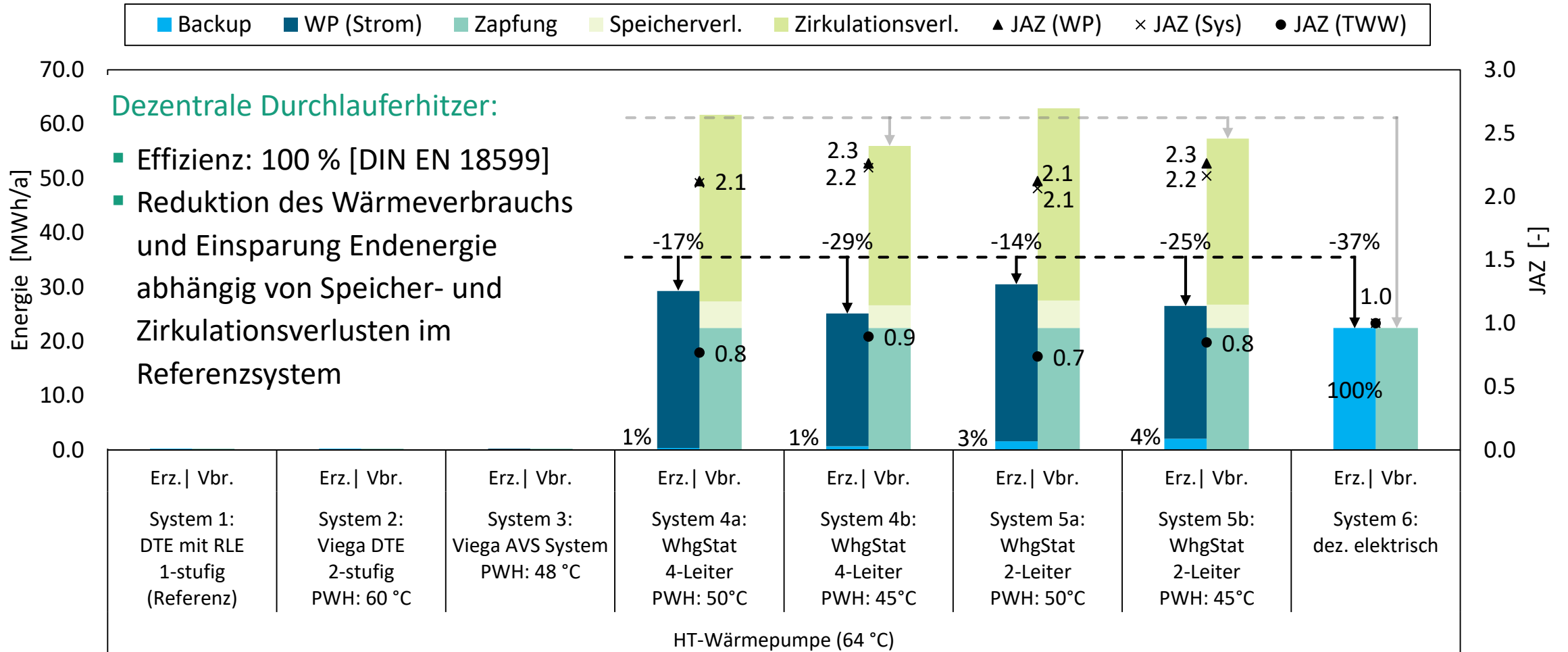
# Vergleich der Trinkwassererwärmungs-Systeme

## Dezentrale TW-Erwärmung, Wohnungsstation im 2-Leiter-System



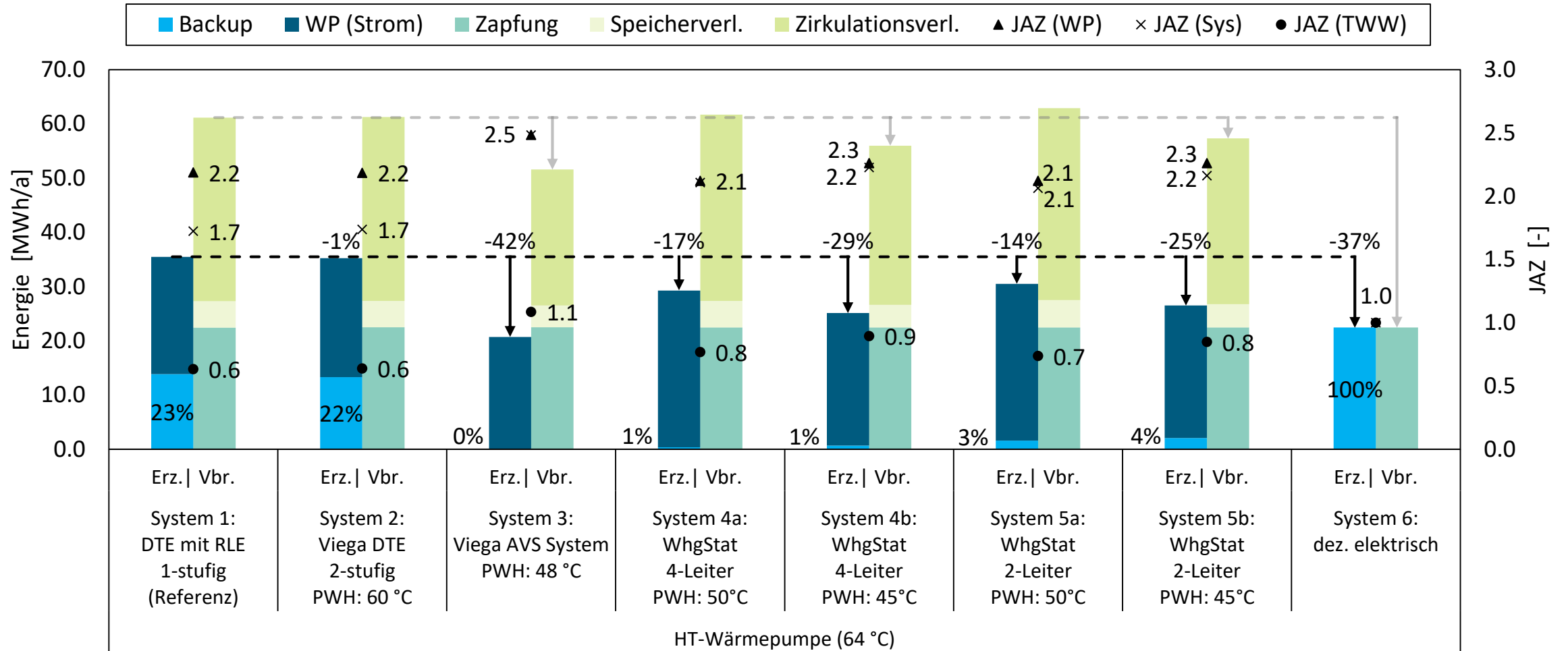
# Vergleich der Trinkwassererwärmungs-Systeme

## Dezentrale TW-Erwärmung, elektrische Durchlauferhitzer



# Simulationsergebnisse im Vergleich zum Referenzsystem

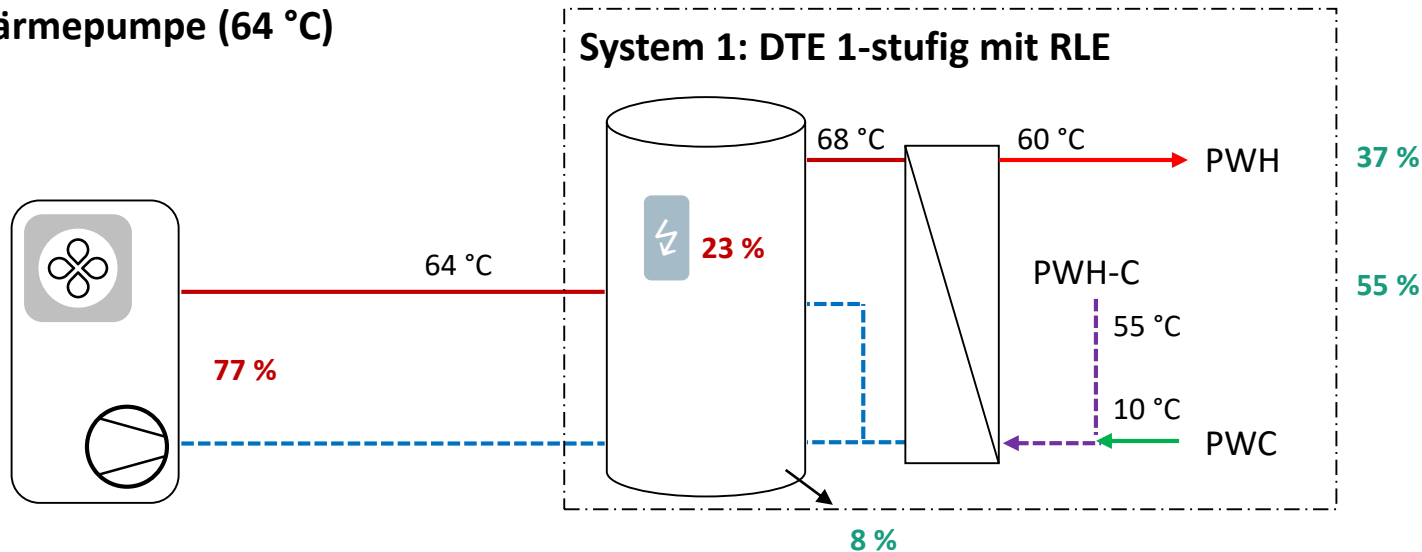
## TW-Erwärmung (Hochtemperatur-Wärmepumpe)



# Referenzsystem 1 (Hochtemperatur-Wärmepumpe)

## Durchfluss-Trinkwassererwärmer (1-stufig) mit Rücklaufeinschichtung

Wärmeerzeuger  
HT-Wärmepumpe (64 °C)



Gesamt (Heizung + TWW)

JAZ (WP): 3,0

JAZ (System): 2,5

JAZ (TWW+Heizung): 2,0

TWW

JAZ (WP): 2,2

JAZ (System): 1,7

JAZ (TWW): 0,6

Endenergie (TWW)

Verbrauch: 35,4 MWh/a

Einsparung\*: - MWh/a

CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen (TWW)

Verbrauch: 14,9 t/a

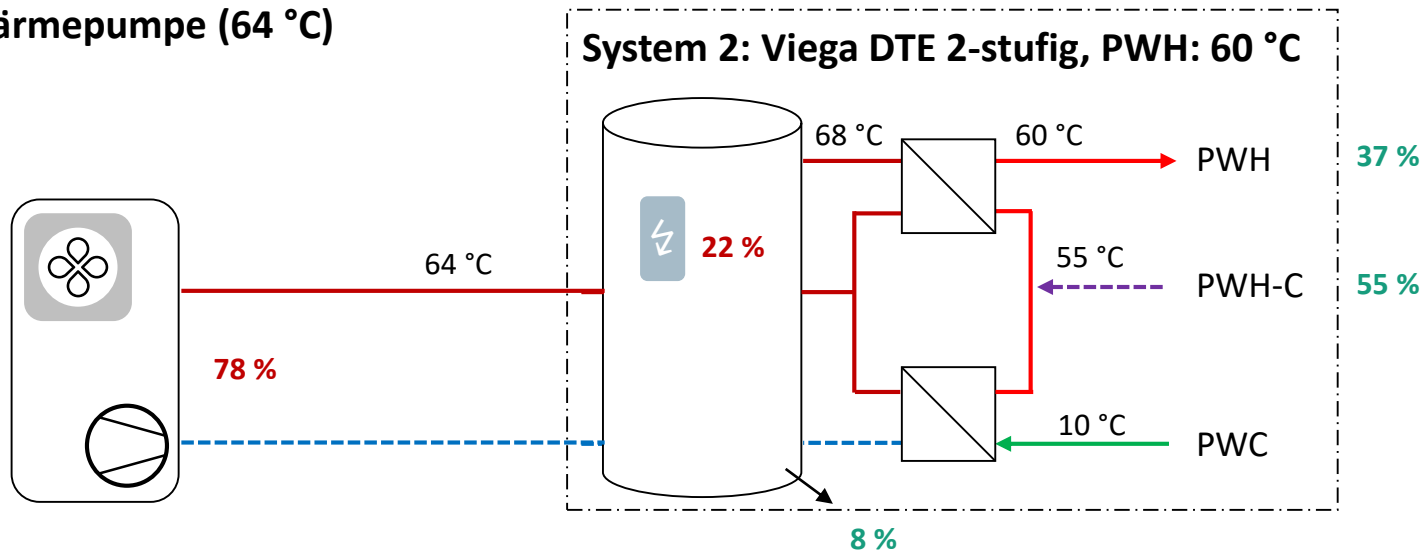
Einsparung\*: - t/a

\*ggü. Referenzsystem 1

# System 2 (Hochtemperatur-Wärmepumpe)

## Viega Durchfluss-Trinkwassererwärmer (2-stufig)

Wärmeerzeuger  
HT-Wärmepumpe (64 °C)



### Gesamt (Heizung + TWW)

JAZ (WP): 3,0

JAZ (System): 2,5

JAZ (TWW+Heizung): 2,0

### TWW

JAZ (WP): 2,2

JAZ (System): 1,7

JAZ (TWW): 0,6

### Endenergie (TWW)

Verbrauch: 35,2 MWh/a

Einsparung\*: 0,2 MWh/a

### CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen (TWW)

Verbrauch: 14,8 t/a

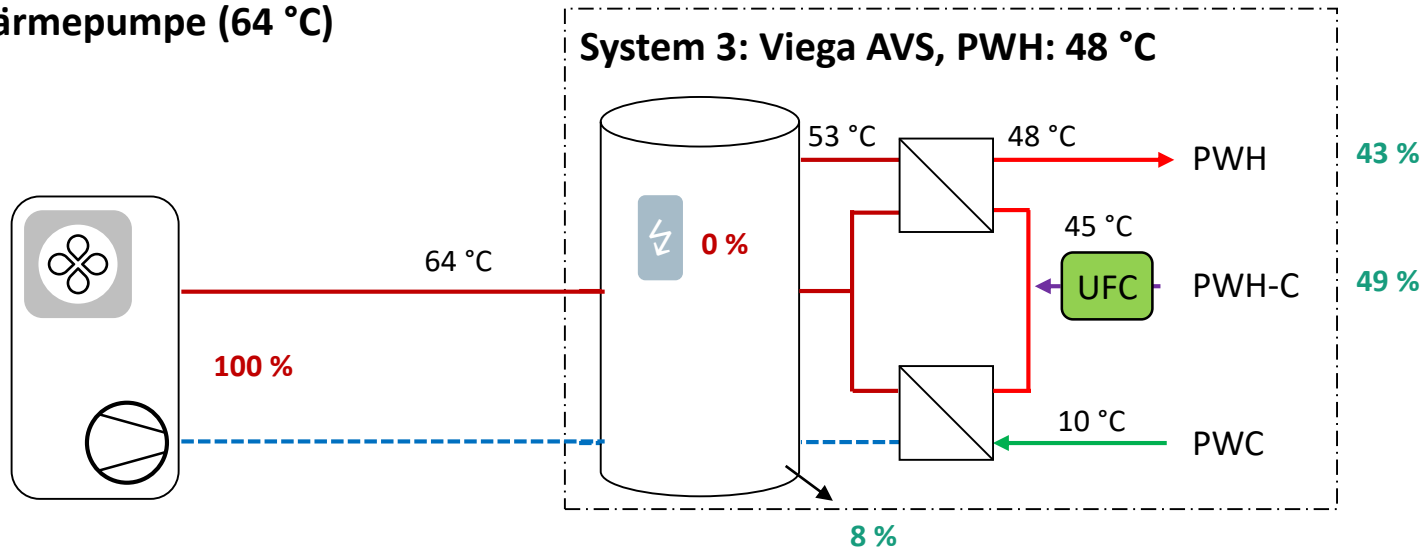
Einsparung\*: 0,1 t/a

\*ggü. Referenzsystem 1

# System 3 (Hochtemperatur-Wärmepumpe)

## Viega AVS Trinkwasser-Management-System mit DTE (2-stufig) und Ultrafiltrationsmodul

Wärmeerzeuger  
HT-Wärmepumpe (64 °C)



Gesamt (Heizung + TWW)

JAZ (WP): 3,1

JAZ (System): 3,0

JAZ (TWW+Heizung): 2,4

TWW

JAZ (WP): 2,5

JAZ (System): 2,5

JAZ (TWW): 1,1

Endenergie (TWW)\*\*

Verbrauch: 21,1 MWh/a

Einsparung\*: 14,3 MWh/a

CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen (TWW)\*\*

Verbrauch: 8,9 t/a

Einsparung\*: 6,0 t/a

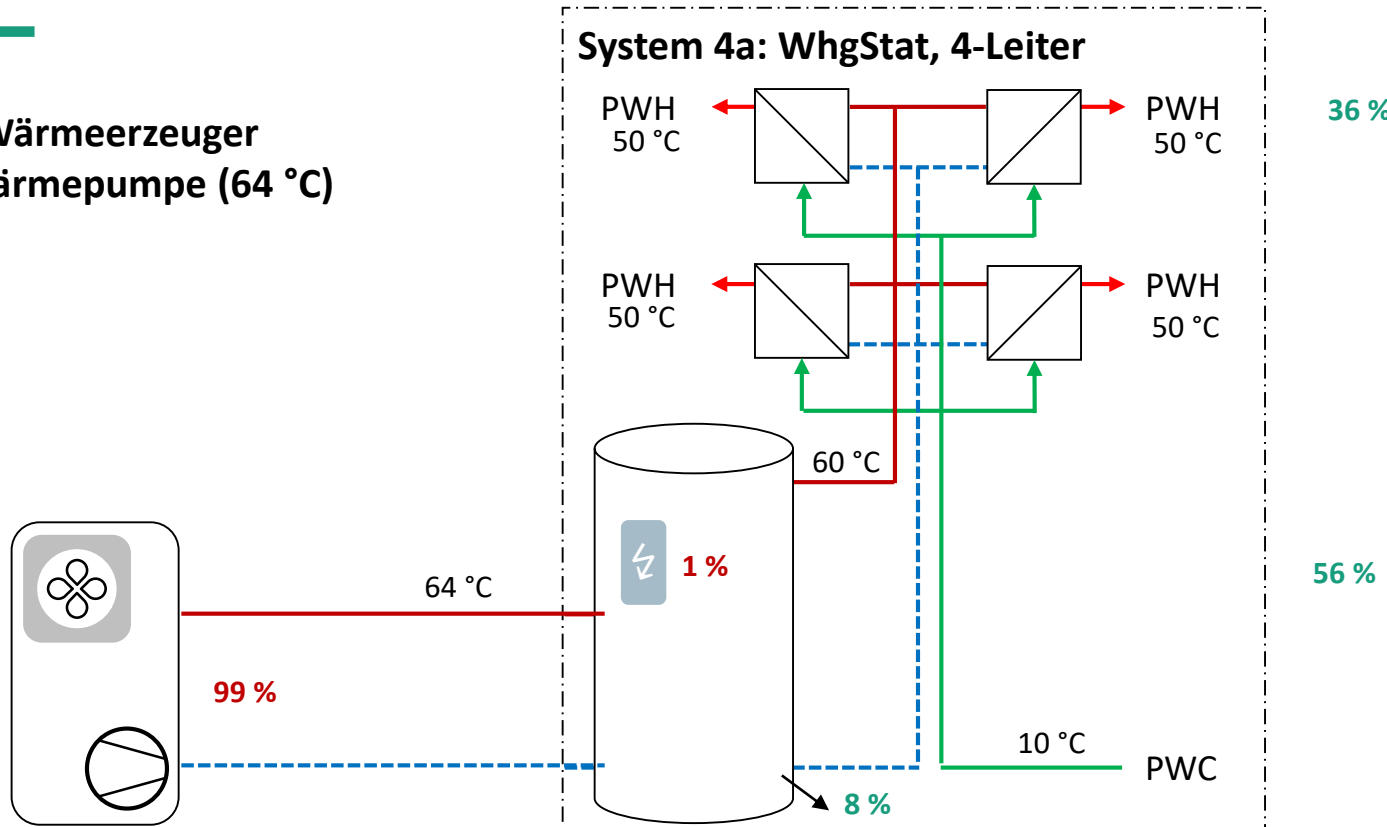
\* ggü. Referenzsystem 1

\*\* inkl. Stromverbrauch UFC

# System 4a (Hochtemperatur-Wärmepumpe)

Wohnungsstation 4-Leiter, Zirkulations-Vorlauf 60 °C / PWH-Temperatur 50 °C

Wärmeerzeuger  
HT-Wärmepumpe (64 °C)



## Gesamt (Heizung + TWW)

JAZ (WP): 2,9  
 JAZ (System): 2,8  
 JAZ (TWW+Heizung): 2,2

## TWW

JAZ (WP): 2,1  
 JAZ (System): 2,1  
 JAZ (TWW): 0,8

## Endenergie (TWW)

Verbrauch: 29,3 MWh/a  
 Einsparung\*: 6,1 MWh/a

## CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen (TWW)

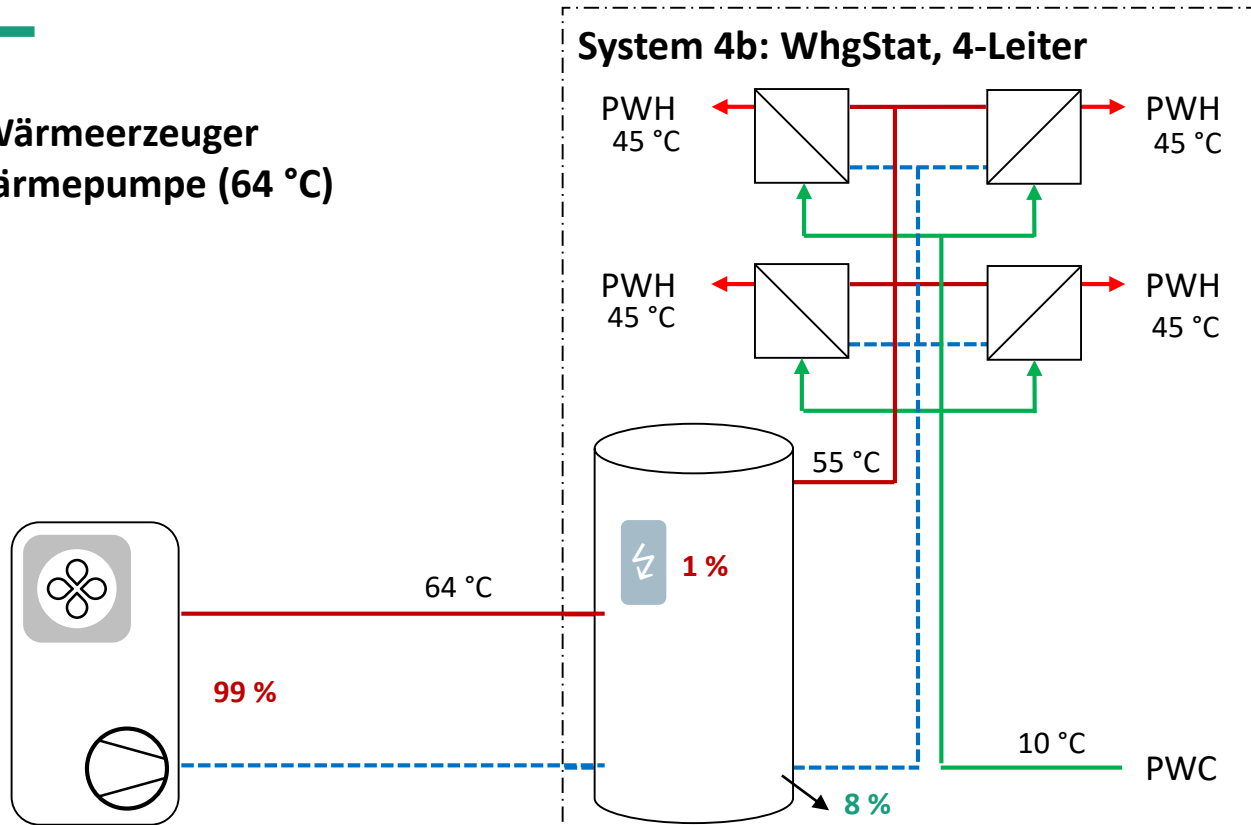
Verbrauch: 12,3 t/a  
 Einsparung\*: 2,6 t/a

\*ggü. Referenzsystem 1

# System 4b (Hochtemperatur-Wärmepumpe)

Wohnungsstation 4-Leiter, Zirkulations-Vorlauf 55 °C / PWH-Temperatur 45 °C

Wärmeerzeuger  
HT-Wärmepumpe (64 °C)



## Gesamt (Heizung + TWW)

JAZ (WP): 3,0  
 JAZ (System): 2,9  
 JAZ (TWW+Heizung): 2,3

## TWW

JAZ (WP): 2,3  
 JAZ (System): 2,2  
 JAZ (TWW): 0,9

## Endenergie (TWW)

Verbrauch: 25,2 MWh/a  
 Einsparung\*: 10,2 MWh/a

## CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen (TWW)

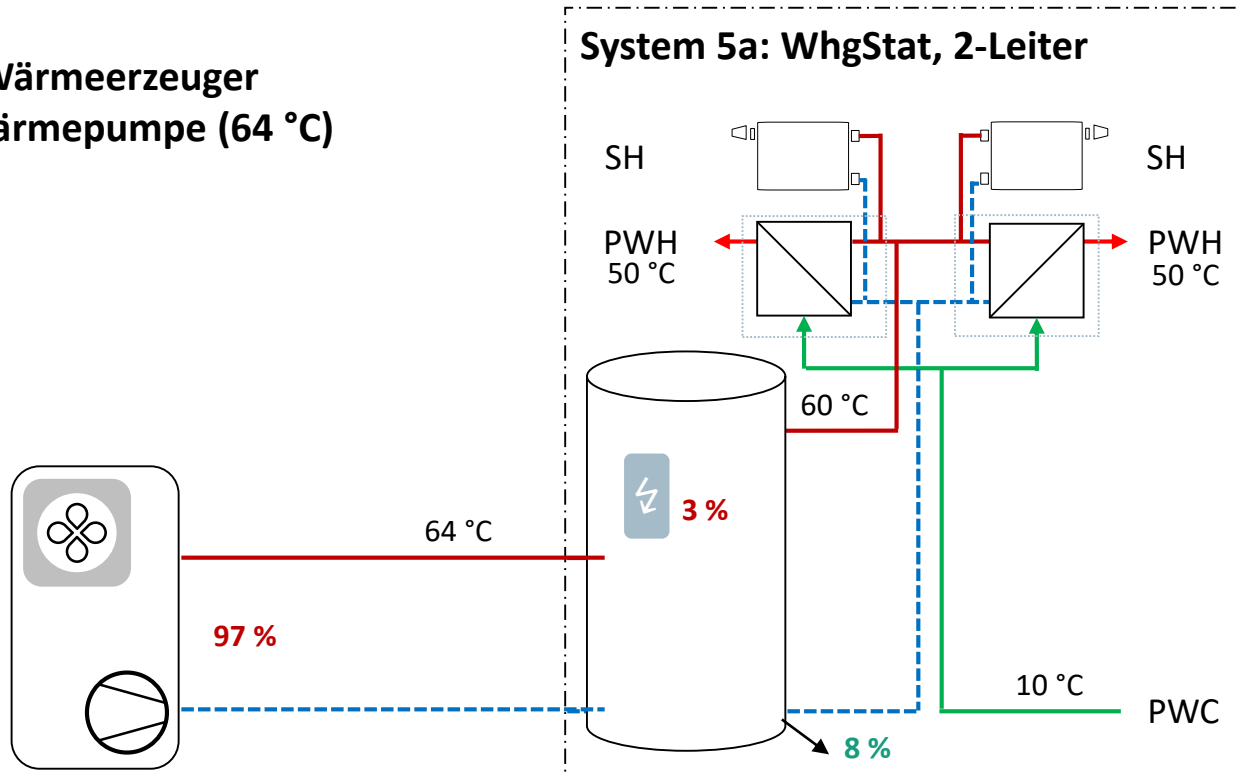
Verbrauch: 10,6 t/a  
 Einsparung\*: 4,3 t/a

\*ggü. Referenzsystem 1

# System 5a (Hochtemperatur-Wärmepumpe)

Wohnungsstation 2-Leiter, Zirkulations-Vorlauf 60 °C / PWH-Temperatur 50 °C

Wärmeerzeuger  
HT-Wärmepumpe (64 °C)



## Gesamt (Heizung + TWW)

JAZ (WP): 2,4  
 JAZ (System): 2,2  
 JAZ (TWW+Heizung): 1,7

## TWW

JAZ (WP): 2,1  
 JAZ (System): 2,1  
 JAZ (TWW): 0,7

## Endenergie (TWW)

Verbrauch: 30,5 MWh/a  
 Einsparung\*: 4,9 MWh/a

## CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen (TWW)

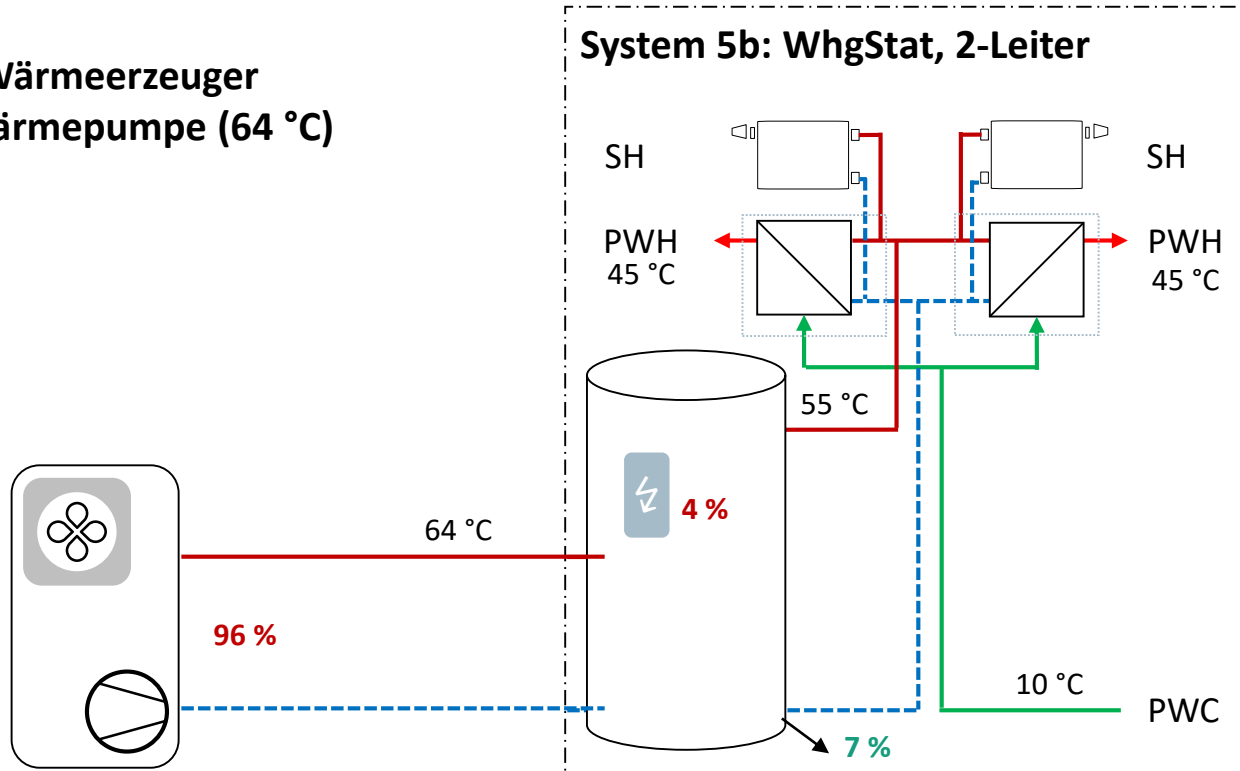
Verbrauch: 12,8 t/a  
 Einsparung\*: 2,1 t/a

\*ggü. Referenzsystem 1

# System 5b (Hochtemperatur-Wärmepumpe)

Wohnungsstation 2-Leiter, Zirkulations-Vorlauf 55 °C / PWH-Temperatur 45 °C

Wärmeerzeuger  
HT-Wärmepumpe (64 °C)



## Gesamt (Heizung + TWW)

JAZ (WP): 2,5  
 JAZ (System): 2,3  
 JAZ (TWW+Heizung): 1,8

## TWW

JAZ (WP): 2,3  
 JAZ (System): 2,2  
 JAZ (TWW): 0,8

## Endenergie (TWW)

Verbrauch: 26,6 MWh/a  
 Einsparung\*: 8,8 MWh/a

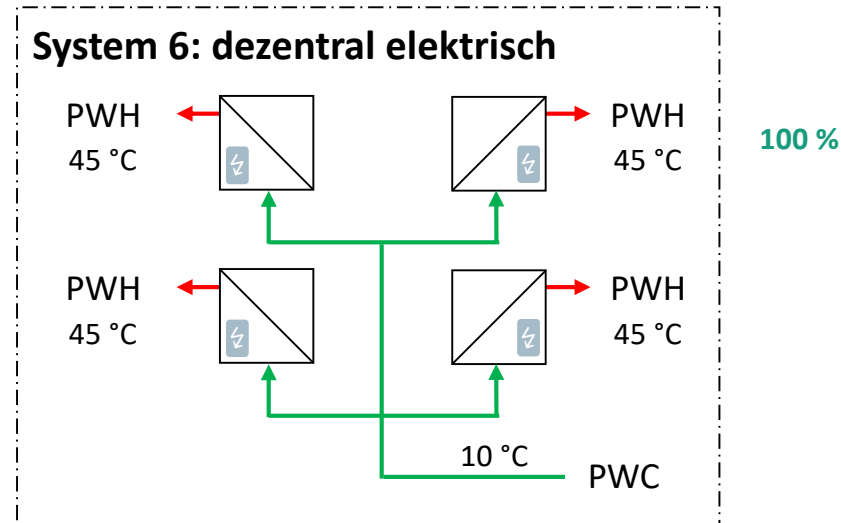
## CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen (TWW)

Verbrauch: 11,2 t/a  
 Einsparung\*: 3,7 t/a

\*ggü. Referenzsystem 1

# System 6 (Hochtemperatur-Wärmepumpe)

## dezentral elektrischer Durchlauferhitzer



### Gesamt (Heizung + TWW)

JAZ (WP): 3,2

JAZ (System): 2,4

JAZ (TWW+Heizung): 2,3

### TWW

JAZ (WP): -

JAZ (System): 1,0

JAZ (TWW): 1,0

### Endenergie (TWW)

Verbrauch: 22,5 MWh/a

Einsparung\*: 12,9 MWh/a

### CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen (TWW)

Verbrauch: 9,5 t/a

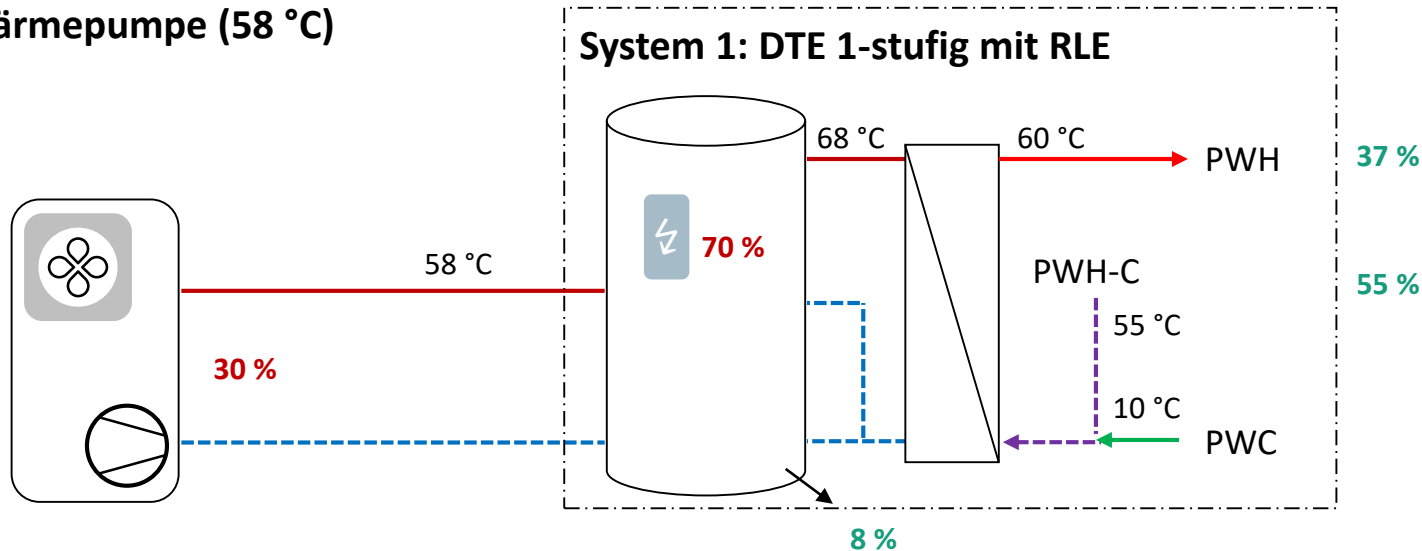
Einsparung\*: 5,4 t/a

\*ggü. Referenzsystem 1

# Referenzsystem 1 (Niedertemperatur-Wärmepumpe)

## Durchfluss-Trinkwassererwärmer (1-stufig) mit Rücklaufeinschichtung

Wärmeerzeuger  
NT-Wärmepumpe (58 °C)



Gesamt (Heizung + TWW)

JAZ (WP): 2,7

JAZ (System): 1,9

JAZ (TWW+Heizung): 1,5

TWW

JAZ (WP): 1,9

JAZ (System): 1,2

JAZ (TWW): 0,4

Endenergie (TWW)

Verbrauch: 52,0 MWh/a

Einsparung\*: - MWh/a

CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen (TWW)

Verbrauch: 21,8 t/a

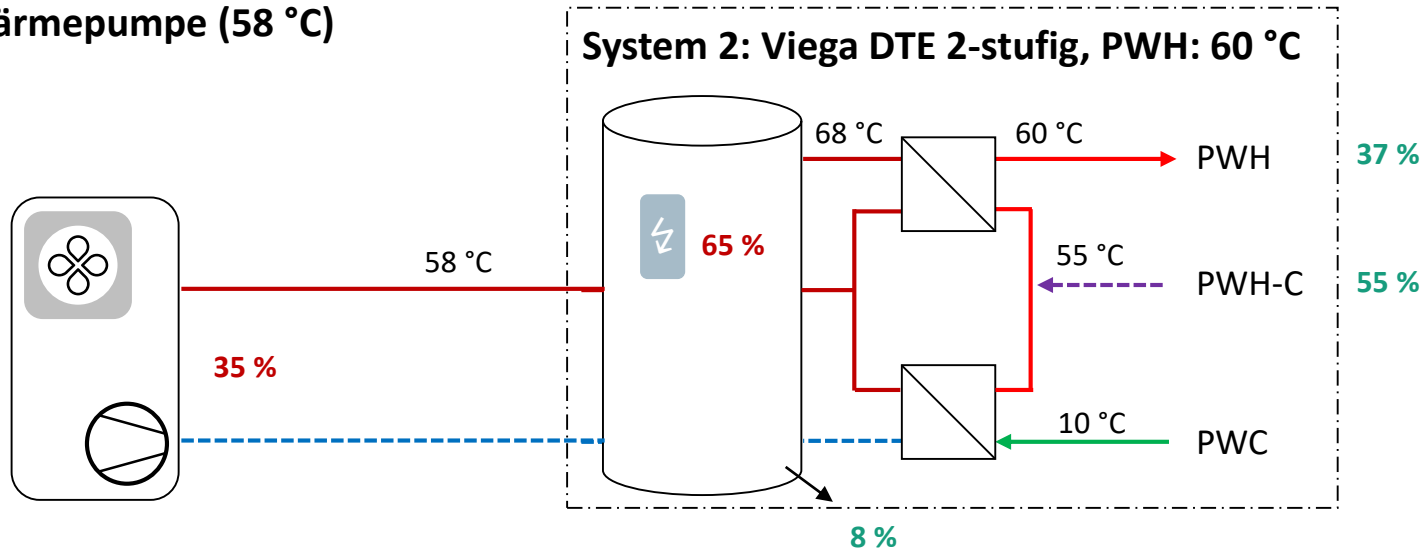
Einsparung\*: - t/a

\*ggü. Referenzsystem 1

# System 2 (Niedertemperatur-Wärmepumpe)

## Viega Durchfluss-Trinkwassererwärmer (2-stufig)

Wärmeerzeuger  
NT-Wärmepumpe (58 °C)



Gesamt (Heizung + TWW)

JAZ (WP): 2,7

JAZ (System): 2,0

JAZ (TWW+Heizung): 1,7

TWW

JAZ (WP): 2,0

JAZ (System): 1,2

JAZ (TWW): 0,4

Endenergie (TWW)

Verbrauch: 50,3 MWh/a

Einsparung\*: 1,7 MWh/a

CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen (TWW)

Verbrauch: 21,1 t/a

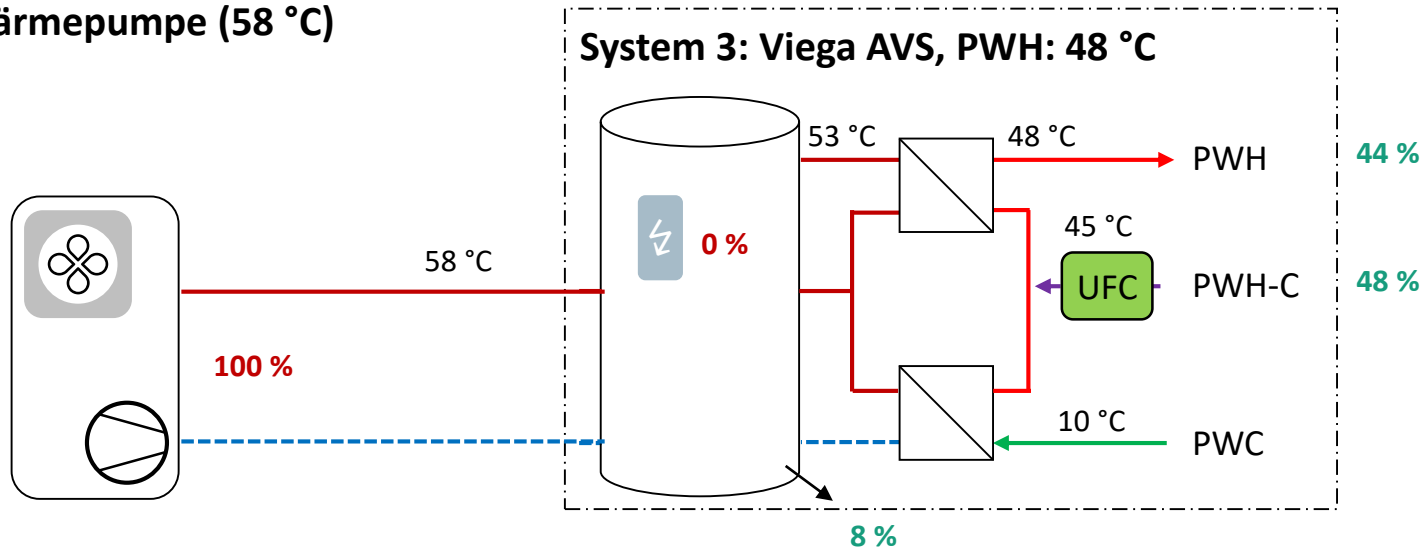
Einsparung\*: 0,7 t/a

\*ggü. Referenzsystem 1

# System 3 (Niedertemperatur-Wärmepumpe)

## Viega AVS Trinkwasser-Management-System mit DTE (2-stufig) und Ultrafiltrationsmodul

Wärmeerzeuger  
NT-Wärmepumpe (58 °C)



Gesamt (Heizung + TWW)

JAZ (WP): 2,8

JAZ (System): 2,7

JAZ (TWW+Heizung): 2,2

TWW

JAZ (WP): 2,5

JAZ (System): 2,5

JAZ (TWW): 1,1

Endenergie (TWW)\*\*

Verbrauch: 21,0 MWh/a

Einsparung\*: 31,0 MWh/a

CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen (TWW)\*\*

Verbrauch: 8,8 t/a

Einsparung\*: 13,0 t/a

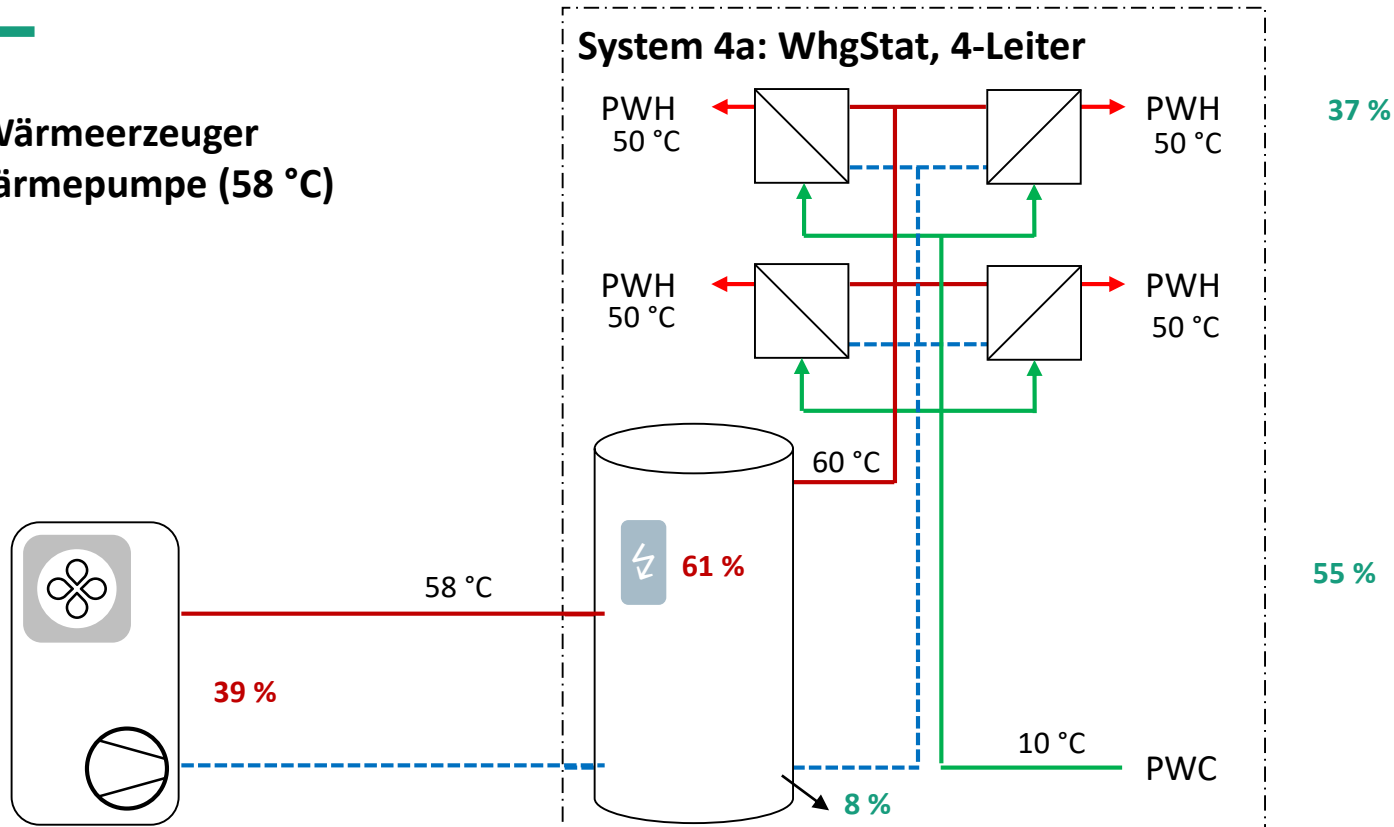
\* ggü. Referenzsystem 1

\*\* inkl. Stromverbrauch UFC

# System 4a (Niedertemperatur-Wärmepumpe)

Wohnungsstation 4-Leiter, Zirkulations-Vorlauf 60 °C / PWH-Temperatur 50 °C

Wärmeerzeuger  
NT-Wärmepumpe (58 °C)



Gesamt (Heizung + TWW)

JAZ (WP): 2,7

JAZ (System): 2,0

JAZ (TWW+Heizung): 1,6

TWW

JAZ (WP): 1,9

JAZ (System): 1,2

JAZ (TWW): 0,5

Endenergie (TWW)

Verbrauch: 48,9 MWh/a

Einsparung\*: 3,1 MWh/a

CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen (TWW)

Verbrauch: 20,5 t/a

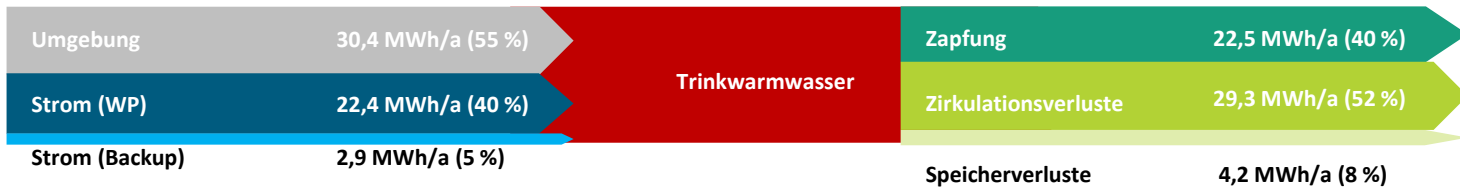
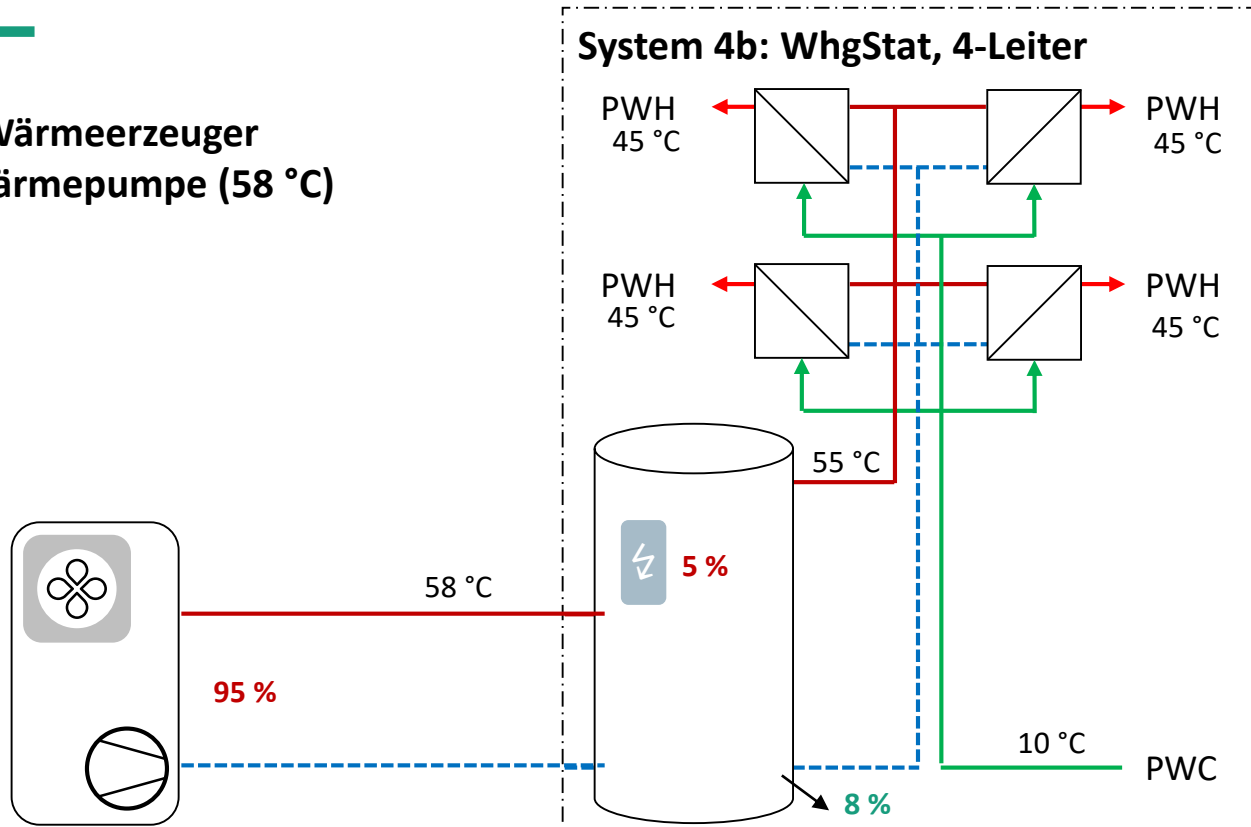
Einsparung\*: 1,3 t/a

\*ggü. Referenzsystem 1

# System 4b (Niedertemperatur-Wärmepumpe)

Wohnungsstation 4-Leiter, Zirkulations-Vorlauf 55 °C / PWH-Temperatur 45 °C

Wärmeerzeuger  
NT-Wärmepumpe (58 °C)



Gesamt (Heizung + TWW)

JAZ (WP): 2,7

JAZ (System): 2,6

JAZ (TWW+Heizung): 2,1

TWW

JAZ (WP): 2,4

JAZ (System): 2,2

JAZ (TWW): 0,9

Endenergie (TWW)

Verbrauch: 25,3 MWh/a

Einsparung\*: 26,7 MWh/a

CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen (TWW)

Verbrauch: 10,6 t/a

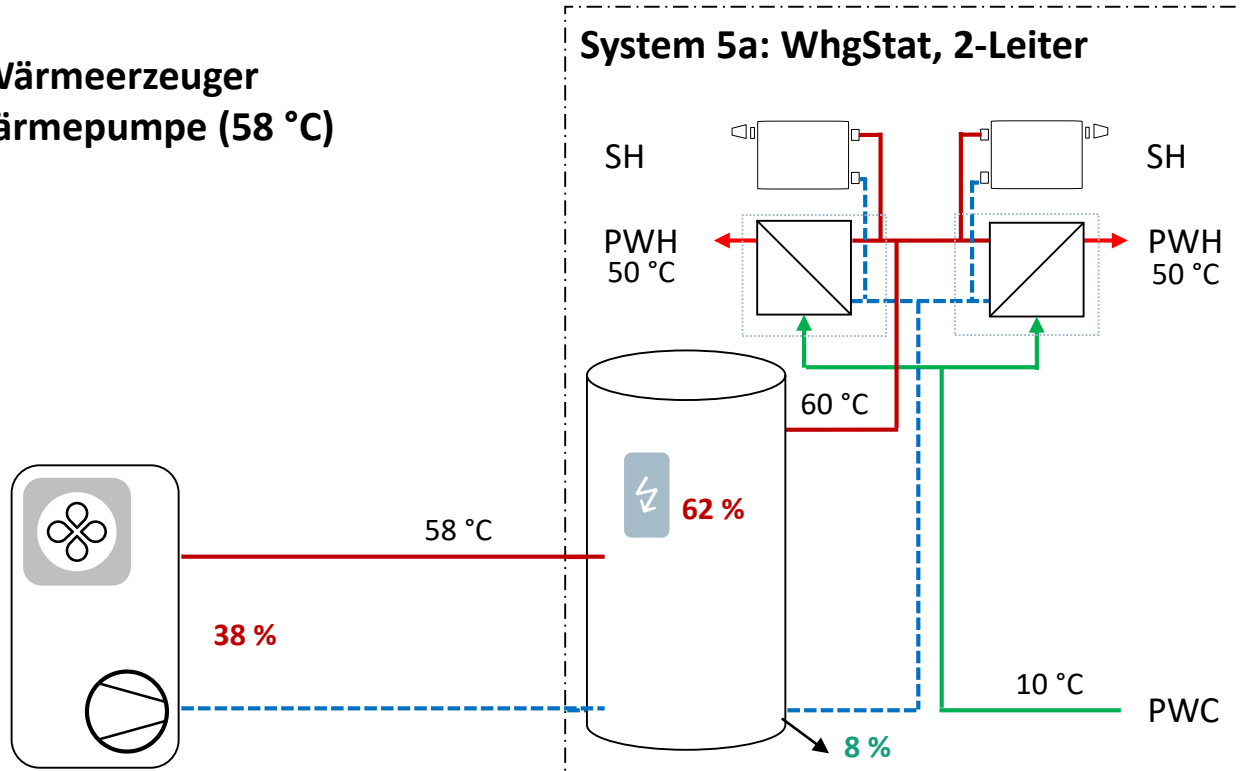
Einsparung\*: 11,2 t/a

\*ggü. Referenzsystem 1

# System 5a (Niedertemperatur-Wärmepumpe)

Wohnungsstation 2-Leiter, Zirkulations-Vorlauf 60 °C / PWH-Temperatur 50 °C

Wärmeerzeuger  
NT-Wärmepumpe (58 °C)



36 %

56 %



Gesamt (Heizung + TWW)

JAZ (WP): 2,1  
 JAZ (System): 1,5  
 JAZ (TWW+Heizung): 1,7

TWW

JAZ (WP): 1,9  
 JAZ (System): 1,2  
 JAZ (TWW): 0,4

Endenergie (TWW)

Verbrauch: 50,3 MWh/a  
 Einsparung\*: 1,7 MWh/a

CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen (TWW)

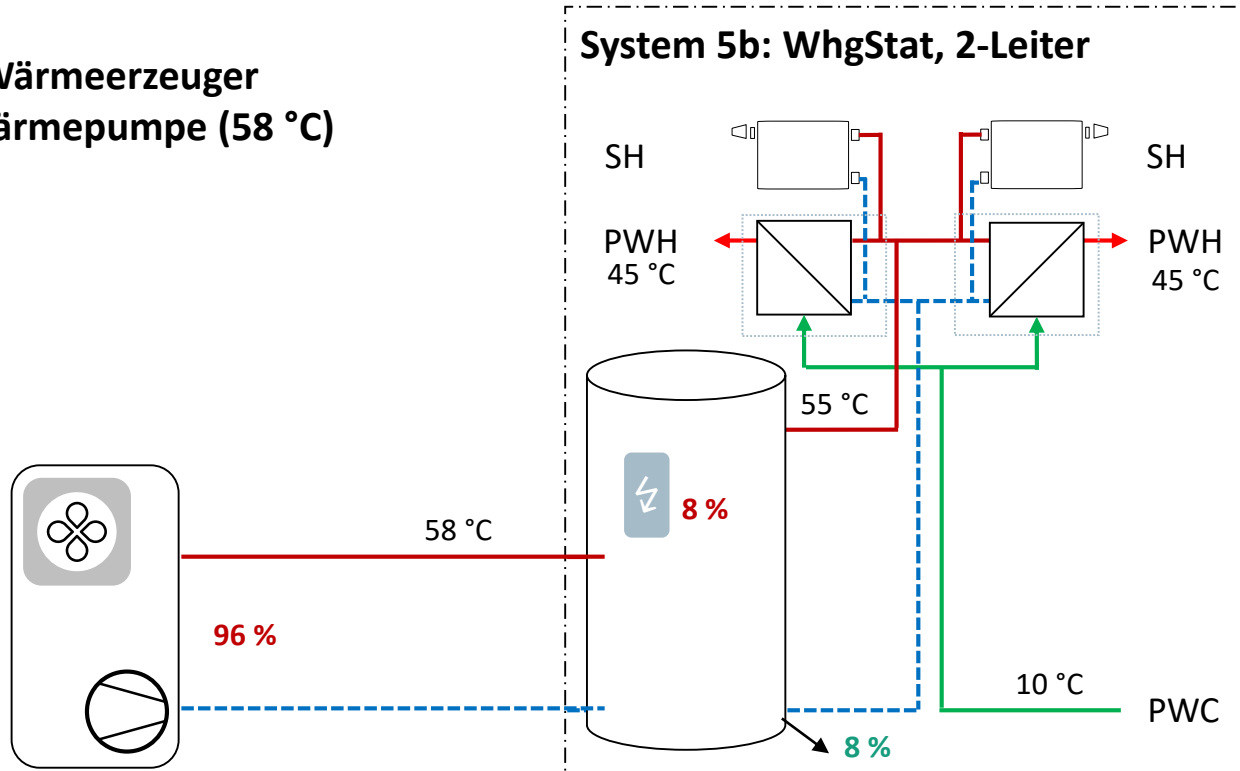
Verbrauch: 21,1 t/a  
 Einsparung\*: 0,7 t/a

\*ggü. Referenzsystem 1

# System 5b (Niedertemperatur-Wärmepumpe)

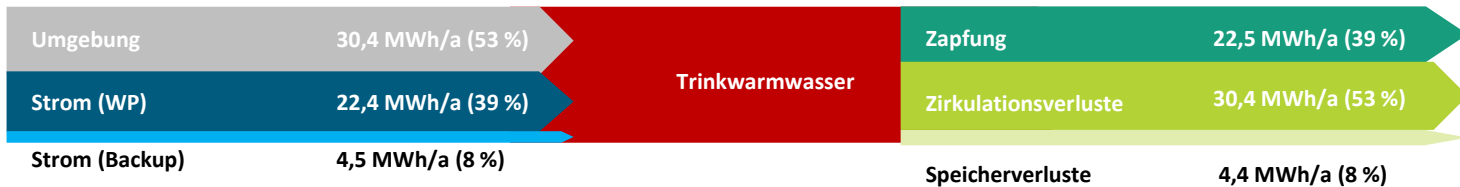
Wohnungsstation 2-Leiter, Zirkulations-Vorlauf 55 °C / PWH-Temperatur 45 °C

Wärmeerzeuger  
NT-Wärmepumpe (58 °C)



39 %

53 %



Gesamt (Heizung + TWW)

JAZ (WP): 2,2

JAZ (System): 2,1

JAZ (TWW+Heizung): 1,8

TWW

JAZ (WP): 2,4

JAZ (System): 2,1

JAZ (TWW): 0,8

Endenergie (TWW)

Verbrauch: 26,9 MWh/a

Einsparung\*: 25,1 MWh/a

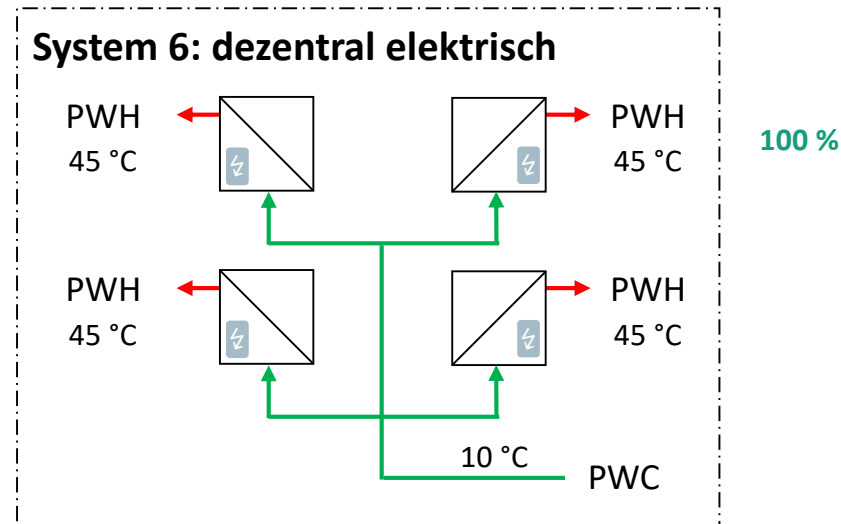
CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen (TWW)

Verbrauch: 11,3 t/a

Einsparung\*: 10,5 t/a

\*ggü. Referenzsystem 1

# System 6 (Niedertemperatur-Wärmepumpe) dezentral elektrischer Durchlauferhitzer



## Gesamt (Heizung + TWW)

JAZ (WP): 2,8

JAZ (System): 2,2

JAZ (TWW+Heizung): 2,2

## TWW

JAZ (WP): -

JAZ (System): 1,0

JAZ (TWW): 1,0

## Endenergie (TWW)

Verbrauch: 22,5 MWh/a

Einsparung\*: 29,5 MWh/a

## CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen (TWW)

Verbrauch: 9,5 t/a

Einsparung\*: 12,3 t/a

\*ggü. Referenzsystem 1

# Technisch-wissenschaftliche Analyse zur Energieeffizienz unterschiedlicher Trinkwasser-Erwärmungssysteme im Vergleich – Anhang

- I. Dokumentation (Systemsimulationen mit Dymola Modelica)
    - Randbedingungen
    - Untersuchte Systemvarianten
    - Regelung
    - Bewertungskriterien
  - II. Simulativer Vergleich der Trinkwasser-Erwärmungssysteme (HT- und NT-Wärmepumpe)
    - Variantenvergleich (TW-Erwärmung, Raumheizung, Gesamtsystem)
    - Einzel-Darstellung (TW-Erwärmung)
- III. Abkürzungsverzeichnis
- IV. Quellen

# Abkürzungsverzeichnis

AVS	AquaVIP Solutions
DTE	Durchflusstrinkwassererwärmer
Erz.	Erzeugung
GEG	Gebäudeenergiegesetz
HT	Hochtemperatur
JAZ	Jahresarbeitszahl
MFH	Mehrfamilienhaus
NT	Niedertemperatur
PWC	portable water cold (Frischwasser)
PWH	portable water hot (Trinkwarmwasser)
PWH-C	portable water hot circulation (Zirkulations-Rücklauf)
RLE	Rücklaufeinschichtung
SH	space heating (Raumheizung)
TWW	Trinkwarmwasser
TW	Trinkwasser
UFC	Ultrafiltrationsmodul
Vbr.	Verbrauch
WE	Wohneinheit
WhgStat	Wohnungsstation
WP	Wärmepumpe
Z-VL	Zirkulationsvorlauf
Z-RL	Zirkulationsrücklauf

# Technisch-wissenschaftliche Analyse zur Energieeffizienz unterschiedlicher Trinkwasser-Erwärmungssysteme im Vergleich – Anhang

- I. Dokumentation (Systemsimulationen mit Dymola Modelica)
  - Randbedingungen
  - Untersuchte Systemvarianten
  - Regelung
  - Bewertungskriterien
- II. Simulativer Vergleich der Trinkwasser-Erwärmungssysteme (HT- und NT-Wärmepumpe)
  - Variantenvergleich (TW-Erwärmung, Raumheizung, Gesamtsystem)
  - Einzel-Darstellung (TW-Erwärmung)
- III. Abkürzungsverzeichnis
- IV. Quellen

# Quellen

- Albers, Karl-Josef (Hg.) (2018): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. Einschließlich Trinkwasser- und Kältetechnik sowie Energiekonzepte. 79. Auflage, 2019/2020. Augsburg: ITM InnoTech Medien GmbH (Recknagel Edition).
- DIN 1988-300 (2012): Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen - Teil 300: Ermittlung der Rohrdurchmesser; Technische Regel des DVGW.
- DIN EN 12831-3 (2017): Energetische Bewertung von Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast - Teil 3: Trinkwassererwärmungsanlagen, Heizlast und Bedarfsbestimmung.
- DIN V 18599-10 (2018): Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten.
- DIN V 18599-8 (2018): Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen.
- DIN/TS 12831-1 (2020): Verfahren zur Berechnung der Raumheizlast.
- Fischer, David; Wolf, Tobias; Scherer, Johannes; Wille-Haussmann, Bernhard (2016): A stochastic bottom-up model for space heating and domestic hot water load profiles for German households. In: *Energy and Buildings* 124, S. 120–128. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.04.069.
- AixLib: Müller, D.; Lauster, M.; Constantin, A.; Fuchs, M.; Remmen, P. (2016): AixLib-An open-source modelica library within the IEA-EBC annex 60 framework. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/profile/moritz-lauster/publication/310465168\\_aixlib\\_-\\_an\\_open-source\\_modelica\\_library\\_within\\_the\\_iea-ebc\\_annex\\_60\\_framework/links/582ee86108ae102f072ef447/aixlib-an-open-source-modelica-library-within-the-iea-ebc-annex-60-framework.pdf](https://www.researchgate.net/profile/moritz-lauster/publication/310465168_aixlib_-_an_open-source_modelica_library_within_the_iea-ebc_annex_60_framework/links/582ee86108ae102f072ef447/aixlib-an-open-source-modelica-library-within-the-iea-ebc-annex-60-framework.pdf).
- VDI 4645 (2018): Heizungsanlagen mit Wärmepumpen in Ein- und Mehrfamilienhäusern - Planung, Errichtung, Betrieb.
- Erp-Richtlinie: Verordnung (EU) Nr. 814/2013 der Kommission vom 2. August 2013 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Warmwasserbereitern und Warmwasserspeichern.
- Viessmann (2022): Planungsanleitung Vitocal 300-A. Luft/Wasser-Wärmepumpe für Außenaufstellung Monoblock-Ausführung, 13,2 bis 55,8 kW.
- Waterkotte GmbH (2019): EcoTouch Air Kaskade (Datenblatt).
- Buildings: Wetter, Michael; Zuo, Wangda; Noudui, Thierry S.; Pang, Xiufeng (2014): Modelica Buildings library. In: *Journal of Building Performance Simulation* 7 (4), S. 253–270. DOI: 10.1080/19401493.2013.765506.

# Zitervorschlag der Studie

---

**Kropp, Michael; Lämmle, Manuel:** Technisch-wissenschaftliche Analyse zur Energieeffizienz unterschiedlicher Trinkwasser-Erwärmungssysteme im Vergleich. Studie des Fraunhofer ISE, 08.05.2023.

Eine weiterführende Veröffentlichung zur Simulationsanalyse für die vergleichende Bewertung der Effizienz von Wärmepumpen zur Trinkwasser-Erwärmung befindet sich aktuell in Vorbereitung und kann zeitnah unter folgender Referenz gefunden werden:

**Kropp, M. et al.:** Measures for an efficient heat pump performance for domestic hot water preparation in existing multi-family houses (article in preparation for submission to the peer-reviewed journal Energies)