

# Effizienzsteigerung im Rechenzentrum durch optimierte Technologien

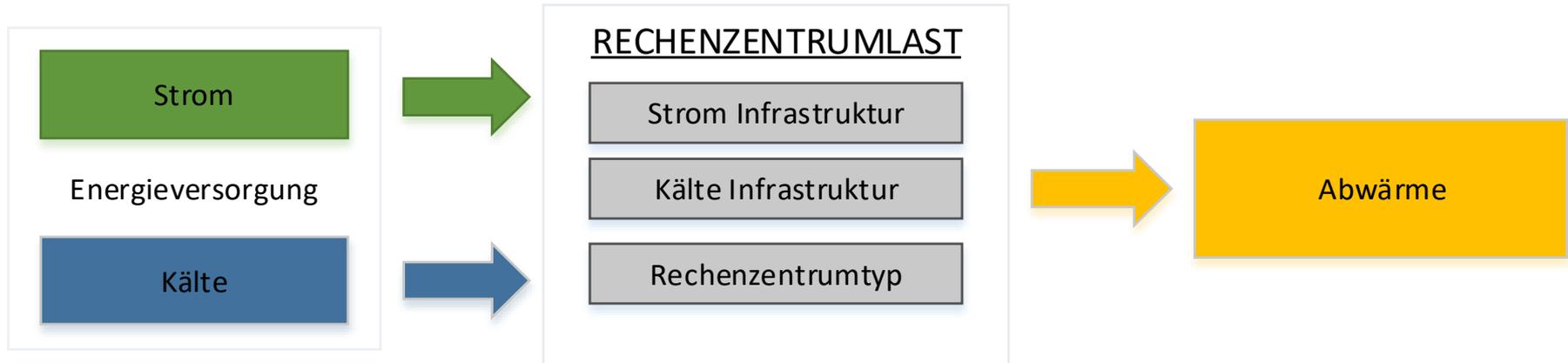
Prof. Dr. Wolfram Mollenkopf  
HFT Stuttgart



## Einleitung RZ Optimierung

### Möglichkeiten der Effizienzsteigerung

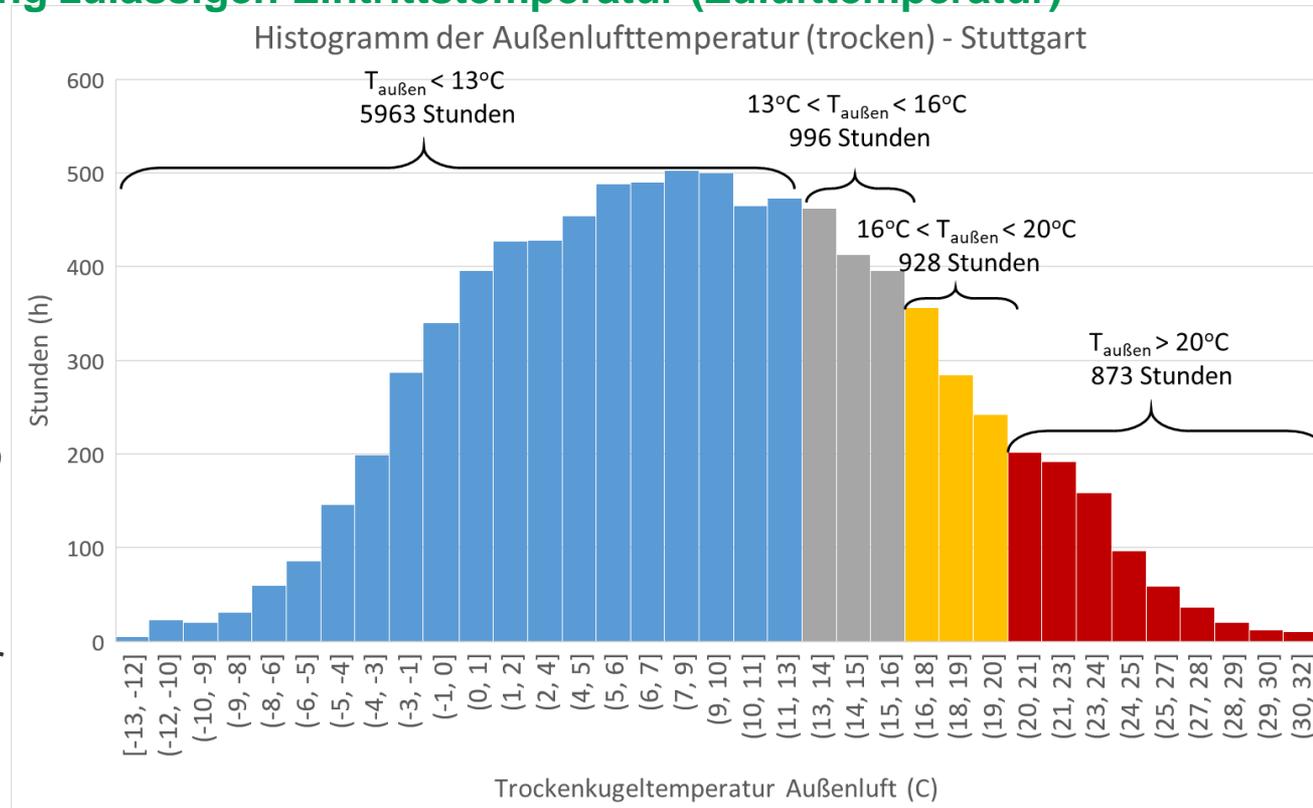
- Optimierung der RZ Infrastruktur (Wärme, Kälte, Netzersatzanlagen, Gebäude)
- Optimierung IT Hardware, Software und Kommunikationstechnik
- Integration von Rechenzentren in die Umgebung des Rechenzentrumsstandorts
- Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien



# Freie Kühlung Außenlufttemperatur

## Erhöhung der für die Kühlung zulässigen Eintrittstemperatur (Zulufttemperatur)

- Temperaturerhöhung von 20°C auf 25°C → PUE-Verbesserung von 1,5 auf 1,3
- Äquivalent zu 1924 h/a mehr freier Kühlungsbetrieb durch Temperaturerhöhung und Effiziente Hardware
- Energieeinsparung 15% der gesamte Stromverbrauch pro Jahr



# Kälte und Lüftungs- Infrastruktur

## Kompressionskältemaschine Verfahren

### Kühlverfahren 1 (Innengerät mit Luftkondensator):

Nur für **sehr kleine Serverräume < 10 kW**

### Kühlverfahren 2 (Außengerät) und 3 (Splitgerät):

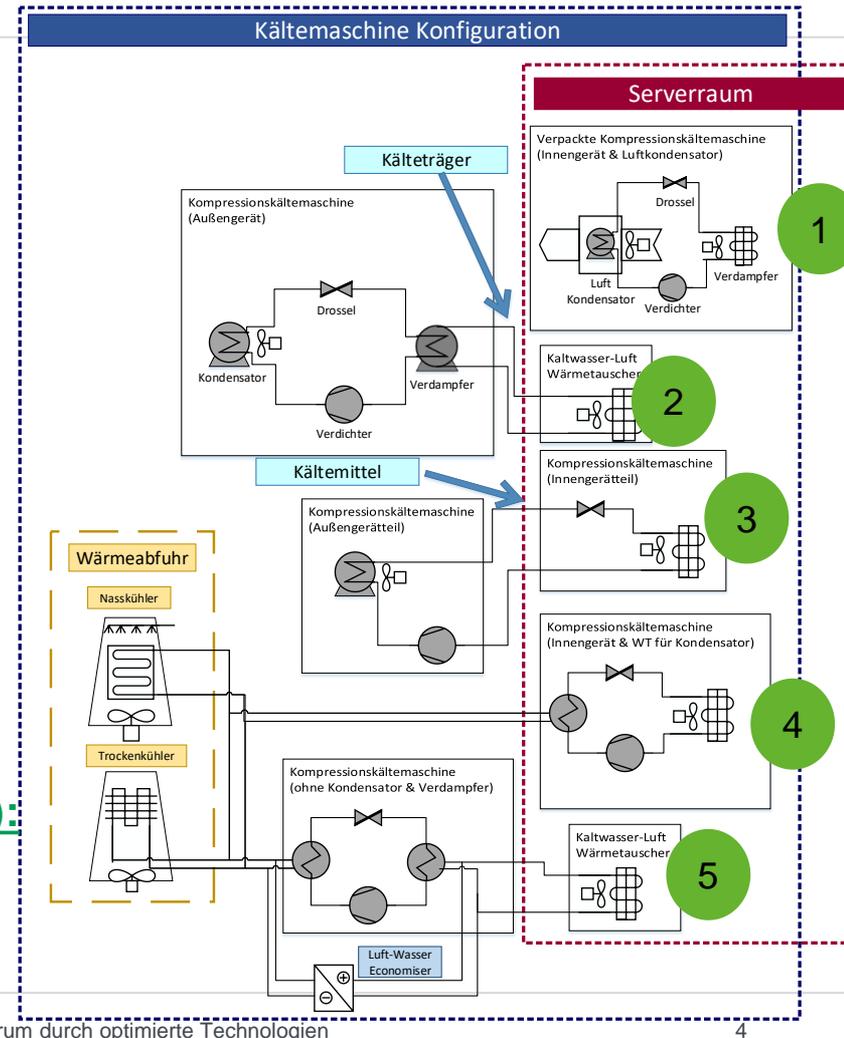
Für **kleine Serverräume < 25kW**

### Kühlverfahren 4 (Innengerät als CRAC & Wasser Wärmeabfuhr):

Einfach, **meist eingesetzt** aber **COP niedrig**

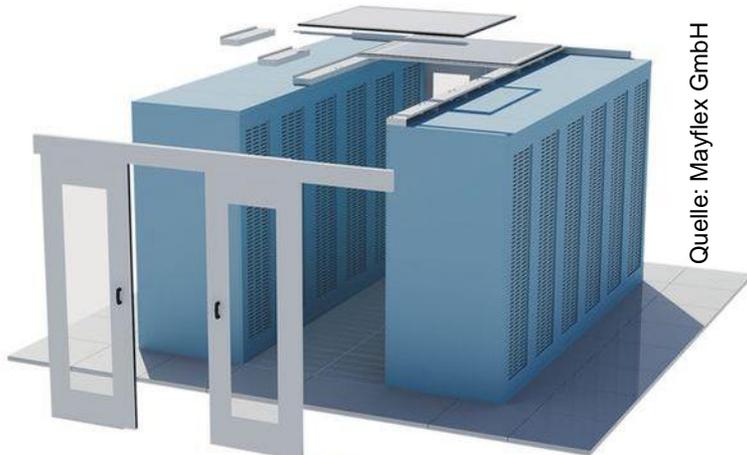
### Kühlverfahren 5 (KKM in Kühlungsraum mit CRAH):

**Höherer COP**, aber gleiche Skaliermöglichkeiten wie 4



## Einhausung: Warmgang/Kaltgang

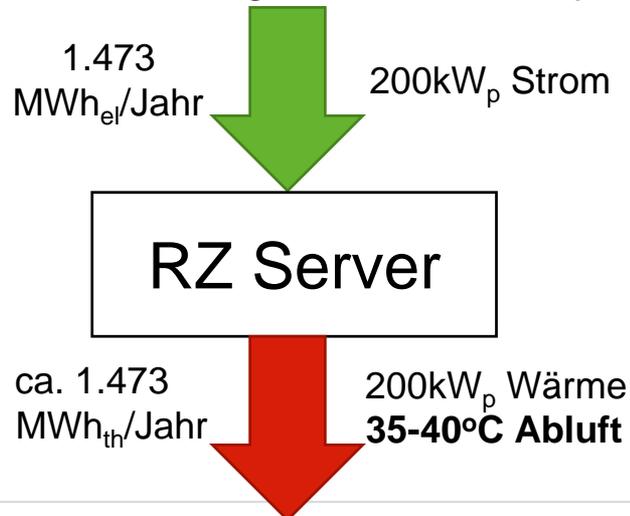
- Erhöhung der Zu- und Ablufttemperatur (jeweils ca. 2 – 5 K)
- **Vermeidung von Hotspots** und Verwirbelungen von gemischter Kalt- und Warmluft
- Verringerung der Lüftungsdruckverluste durch Verwendung von Doppelböden → ca. 10% Energieeinsparung (im Vergleich mit Raumkühlgerät)
- Verwendung eines vollständig geführten Kaltgangs und lokal geführten Warmgangs für RZs > **50 kW** und **Rackleistung > 6 kW** wirtschaftlich sinnvoll



# Abwärmennutzung

**Hauptproblem:** Niederwertige Abwärme und geringes Eigennutzungspotential

- Möglichkeiten: Schwimmbad, Gewächshaus und Quartiersversorgung
- Rückkopplung in Kälteerzeugungsanlagen wie Adsorptionskältemaschine
- Wärmenetzintegration mit Wärmepumpe



## Stärken

- Verbesserter ERE (& PUE)
- Energieeffizienz steigt
- Kaskadennutzung

## Schwächen

- Niedrige Abwärmequalität
- Höheres Capex Investment
- Saisonal Abweichung bei Wärmeverbrauch der Verbraucher

## SWOT

Abwärmennutzung  
(für RZ-Betreiber)

## Chancen

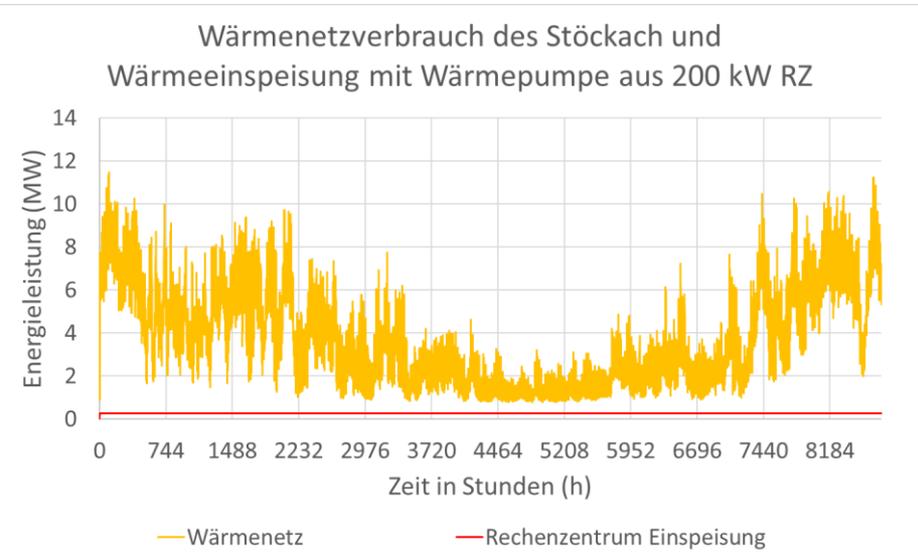
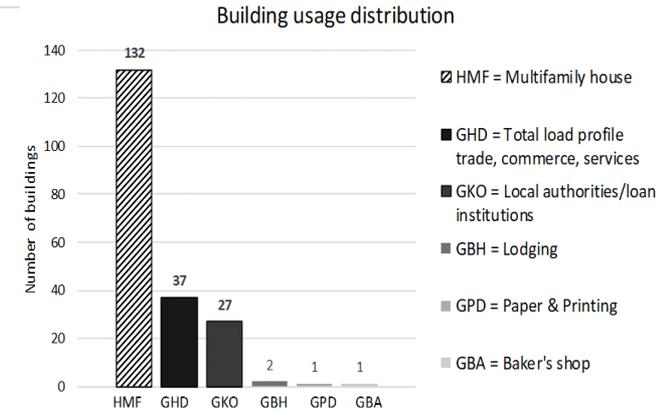
- Einkommen für RZ statt Wärmeentsorgungskosten

## Gefahren

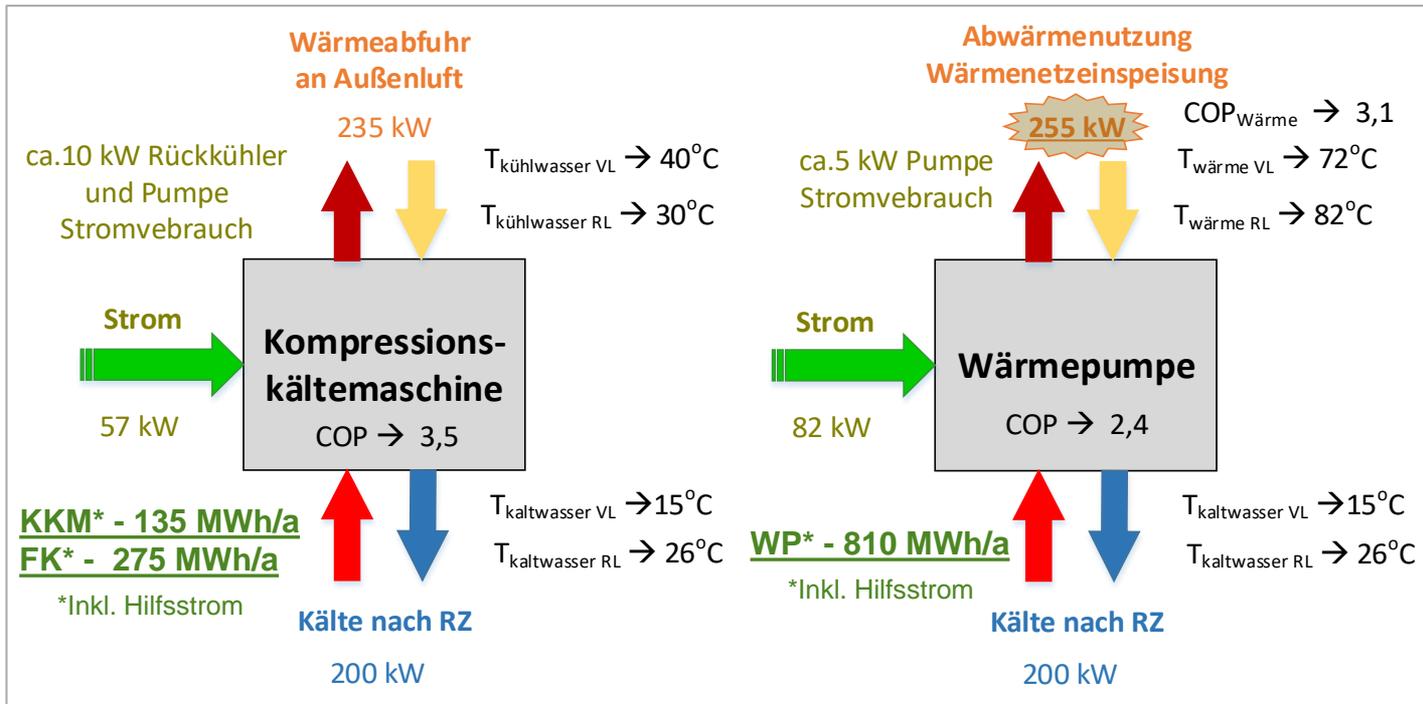
- Keine Wärmeabnahme Garantie im Sommer
- Vertragliche Risiken als Wärmelieferant
- Ungeklärte organisatorische und rechtliche Fragen
- Noch keine Geschäftsmodelle

# Wärmenetzintegration

- Integration der Rechenzentrumsabwärme in Wärmenetzen
- Simulationsbeispiel: 200 kW Rechenzentrum versorgt Nahwärmenetz
  - Nahwärmeversorgung Stöckach mit ca. 150 Gebäuden, 32 GWh Jahreswärmebedarf, 1 MW Sommerlast, 10 MW Winter
  - Einspeisung von 32 GWh/a aus RZ
  - Deckung von ca. 7% des Wärmebedarfes



# KKM vs. WP



**Wärmepumpe**

Investitionskosten (ohne Zuschüsse)

$\rightarrow$  **200.000€** (ca. 800€/kW)

+ ca. **20.000€**

Wärmenetzeinspeisungs-Infrastruktur

**Kompressionskältemaschine-Kosten** (inklusive Trockenkühler)

$\rightarrow$  **90.000€** (ca. 280 €/kW)

**2300 MWh<sub>th</sub> Wärme @ 0,032€/kWh<sub>th</sub>  $\rightarrow$  73.600 €/Jahr**

## Wie wird Abwärmenutzung attraktiv? Spezielle Stromeinkaufskosten und Wärmeverkaufskosten für RZ mit WP

KKM+FK\*  $\rightarrow$  410 MWh<sub>el</sub> Strom (mit EEG Umlage) @ 0,172 €/kWh<sub>el</sub>  $\rightarrow$  **70.520 €/Jahr**

WP\*  $\rightarrow$  810 MWh<sub>el</sub> Strom (mit EEG Umlage) @ 0,172 €/kWh<sub>el</sub>  $\rightarrow$  **139.320 €/Jahr**

WP\*  $\rightarrow$  810 MWh<sub>el</sub> Strom (ohne EEG Umlage) @ **0,104 €/kWh<sub>el</sub>**  $\rightarrow$  **84.240 €/Jahr**

## Empfehlungen: Wärmenetzintegration mit Wärmepumpe

Investition aktuell in  
**Wärmepumpe** oder zukünftig  
in **warmwassergekühlte  
Server** mit Niedertemperatur-  
Wärmenetz

Ganzjähriger Einsatz der  
Wärmepumpe mit Wärmeverkauf  
trotz höherer COP der KKM im  
Sommer

**PUE Wert steigt an!**

**RZ-Betreiber**

RZ-Installation  
vorrangig in  
**innerstädtischen  
Quartieren**

Wärmenetzbetreiber muss  
**Wärmeabnahme  
garantieren**, auch wenn der  
Wärmeverbrauch im Sommer  
sinkt

**Wärmenetzanschluss** und  
**Wärmepreis** bestimmen **RZ-  
Standort** - nicht die  
Außenlufttemperatur

## Warmwasser gekühlte Server

- **Hochleistungsdichte Racks** und damit weniger Whitespace
- **Rücklauftemperatur** von mindestens **65°C** ermöglicht direkte Abwärmenutzung bzw. höheren COP für die Wärmepumpe
- **Vorlauftemperaturen** von **40°C** ermöglichen ganzjährige **freie Kühlung**, falls Abwärme nicht genutzt werden kann
- Kein CRAC/CRAH, kein Doppelboden, keine Einhausung notwendig
- Weniger Pumpenkosten und weniger Investment in Kälte Redundanz
- Nachteile:
  - **Teurere Server Hardware, hohe Installationskosten**
  - **Wenig Erfahrung** mit Installation und Maintenance



Quelle: „Aquila Group, Aquarius Server

## Zusammenfassung

- Erhöhte Kühleffizienz mit höherer Zulufttemperatur und besserer Kühlinfrastruktur.
- Besserer COP mit Kompressionskältemaschine bei getrenntem CRAH und Rückkühler
- Erhöhte Leistungsdichte in Racks und effiziente Luftverteilung mit Einhausung.
- Einspeisung der Abwärme in das Wärmenetz mit Wärmepumpe
  
- Zukunft zu erwarten: Warmwasser gekühlte Servern

# Vielen Dank!

Prof. Dr. Wolfram Mollenkopf

Wolfram.Mollenkopf@hft-stuttgart.de

Hochschule für Technik Stuttgart (HFT)

Institut für Angewandte Forschung (IAF), Zentrum für nachhaltige Energietechnik (zafh.net)

Schellingstraße 24, 70174 Stuttgart



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Dieses Projekt wird gefördert vom Ministerium für Umwelt- Klima- und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

## Andere Maßnahmen

### Effiziente IT Hardware & Management



### Bio-Erdgas-BHKW als Colocation-Kraftwerk

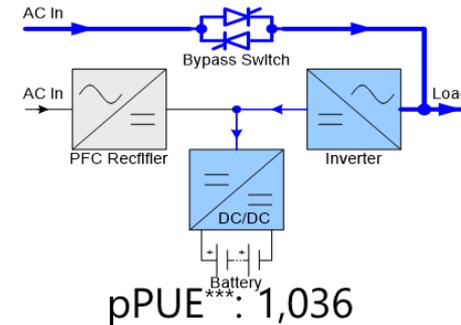
Wirkungsgrad 75-85% mit  $\eta_{el}$  35-40%

### PPA Vertrag



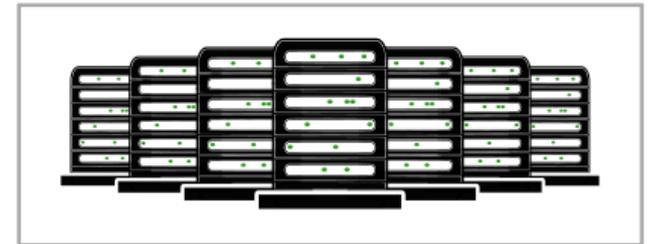
Quelle: M. Gurtel, „Definition Power Purchase Agreement – PPA-Varianten und ihre Vorteile“. [Online]. Verfügbar unter: <https://iam.innogy.com/ueber-innogy/innovation-technik/erneuerbare-energien/power-purchase-agreements/ppa-definition>.

### USV Dimensionierung & Betriebsmanagement



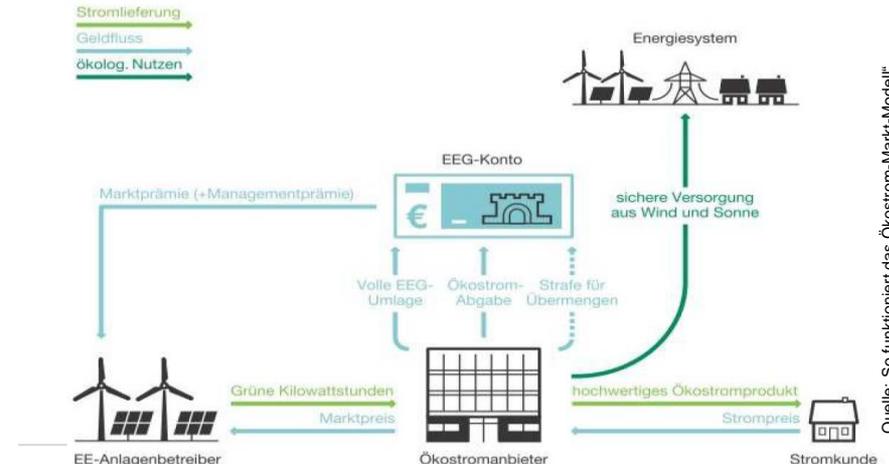
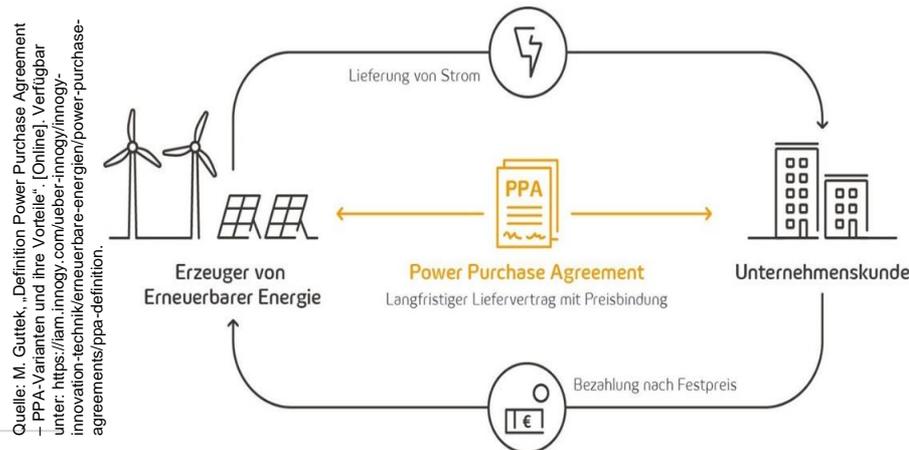
Quelle: „ICT Facilities GmbH“

- Energieeffiziente Komponenten in der IT-Infrastruktur, z.B. hocheffiziente Netzteile
- Abbau bürokratischer Hürden bei der Beschaffung teurere, energieeffizienter Hardware
- Teil- oder vollautomatisierter Einsatz von **Virtualisierungskonzepten** z.B. flexible Anpassung der virtualisierten Komponenten an die Last oder Hochverfügbarkeit der Applikation
- **Konsolidierung** virtueller Server unter Berücksichtigung eines ausbalancierten ‚Energie-Performanz‘ Verhältnisses
- Abschaltung von ‚**Zombie-Server**‘



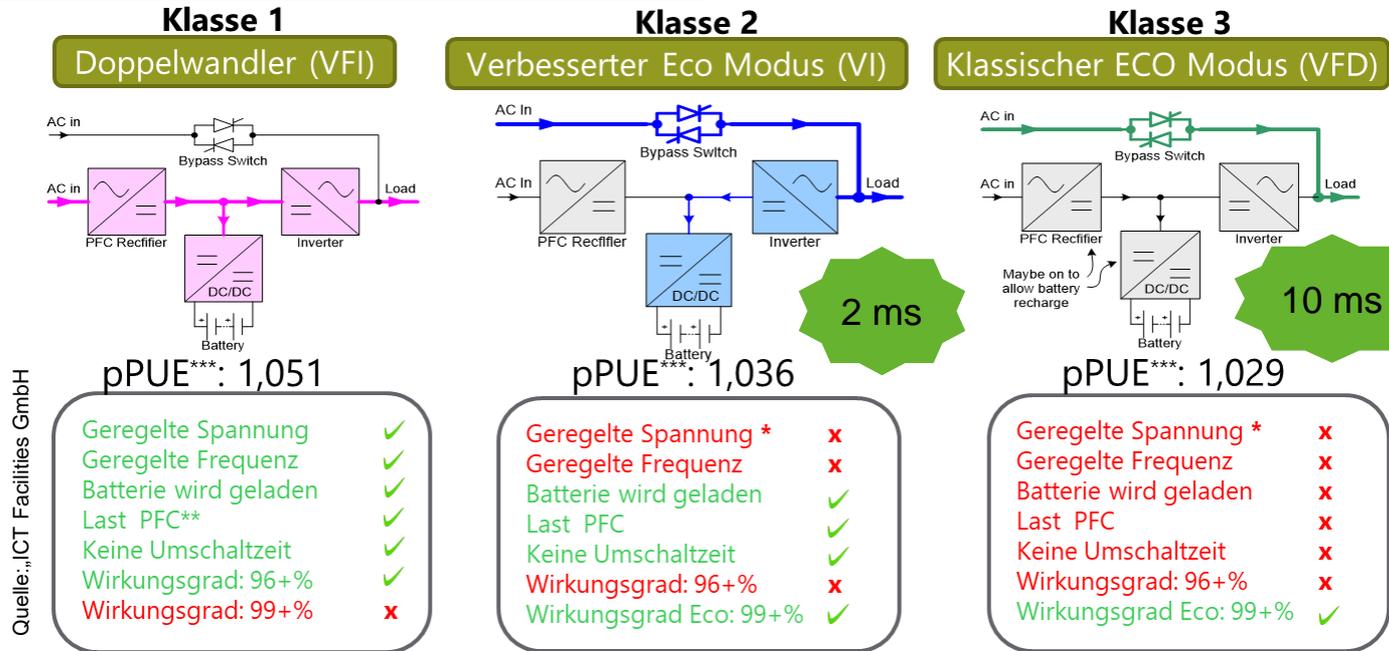
# Deutscher Strom Mix vs. Ökostrom vs. PPA

- **Deutscher Strom Mix:** ca. 38% EE Strom, kann **nicht** für KPI der **CO<sub>2</sub> Bilanz berücksichtigt werden**
- **Ökostrom:** EE Strom aus EEG-finanzierte Anlagen und EE mit Herkunftsnachweise
  - Gefahr des Greenwashings
  - Preis abhängig von Stromanbietern
- **Corporate PPA:** Garantierte Mengen EE-Strom aus EE-Anlagen ohne zwischengeschaltetem Stromanbieter
  - Chance zum **Weiterbetrieb von EEG-ausgelaufenen EE Anlagen.**
  - Langfristiger Festpreis-Vertrag



# USV Betriebsmanagement

- USV Auslastung 100%  
- Wirkungsgrad 98%
- USV Auslastung 50% -  
Wirkungsgrad 90%
- Bedarfsgerecht  
dimensionierte USV  
Leistungsgrößen  
erforderlich
- Aktives USV  
Management benötigt



\* Die Spannung wird permanent auf Einhaltung der zulässigen bzw. einstellbaren Toleranzen überwacht. Bei erkennbaren Spannungsabweichungen wird in den Doppelwandlermodus VFI umgeschaltet.

\*\*\* durchschnittlicher pPUE über 20 Jahren ohne Kühlung - Stat. USV + Batt. 20 min - Eaton 93PM, 500 kVA

\*\* Power Factor Correction

**Verbesserter Eco-Modus (VI) ist in der Lage den Wechselrichter netzparallel zu betreiben, eine Rückspeisung ins Netz erfolgt maximal 2 ms „Klassischer“ Eco-Mode (VFD) schaltet den Wechselrichter aus, den statischen Schalter ein und Rückschaltung kann bis zu 10 ms dauern (wurde hier nicht betrachtet)**

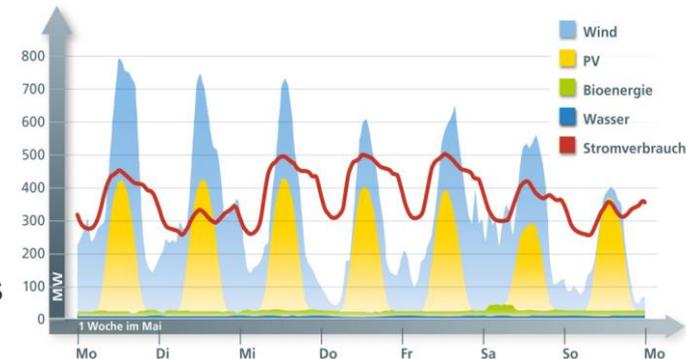
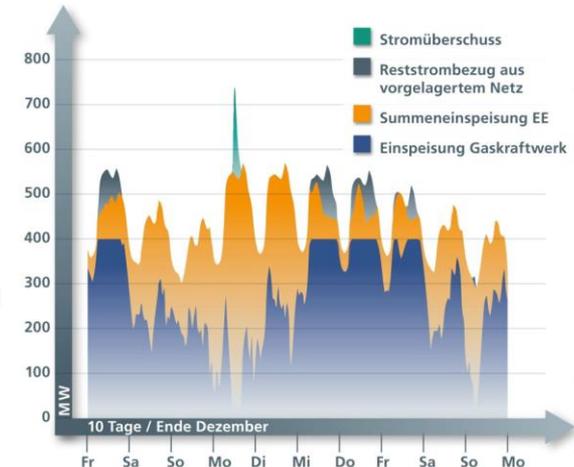
## Co-Location Bio-Erdgas BHKW

- Normalerweise **Dieseldgeneratoren als Netzersatz**, üblich **24/72 Stunden** Reserve-Generator-Kraftstoff zu bevorraten. Der DIN 590 erlaubt 7 % Biodieselanteil in Dieselaggregaten und schreibt vor, dass mindestens **alle 3 Monate der Kraftstofftank vollständig geleert** wird, der Kraftstoff erneuert und die Notstromversorgung getestet wird. Aber wie ist es, wenn eine erneuerbare Alternative von Bio-Erdgas-KWKS unter anderen Bedingungen eingesetzt und betrieben werden kann?
- Ein Bio-Erdgas-BHKW kann auch zur Erzeugung von **Kälte** unter Verwendung von Wärme in **Absorptionskältemaschinen** eingesetzt werden. Der durchschnittliche COP der Absorptionskältemaschine lag bei 0,8-0,1. Aber **Absorptionskälte nur in ca. 20%** der Zeit benötigt.
- Man kann sich ein Bio-Erdgas-BHKW als ein **Colocation-Kraftwerk** vorstellen. Das BHKW kann **wärmegeführt, kältegeführt** oder unter Nutzung **eines möglichst hohen Anteils an erneuerbaren Energien** betrieben werden.
- Ein Bio-Erdgas-BHKW (**Wirkungsgrad 75-85% mit  $\eta_{el}$  35-40%**) kann auch nutzbare Wärme als Nebenprodukt erzeugen, die auch im Winter verkauft werden könnte, wenn die Wärme im angeschlossenen **Wärmenetz benötigt** wird.

# Netzersatzanlagen als Beitrag zur Netzstabilität

- Mit dem größeren Anteil **fluktuierender erneuerbarer Energien** im Stromnetz sind die Netzbetreiber auf der Suche nach aktiven Marktteilnehmern, die zur Stabilität des Netzes beitragen.
- RZ kann am **Minutenreserve Regelleistung-Markt (positiv)** teilnehmen. Schaltbare Lasten im Sinne der AbLaV ab 5 MW (AbLaV 2017) können vermarktet werden. Dazu werden ihnen die Bereitstellung des **Abschaltpotenzials (500 Euro pro MW und Woche)** und zusätzlich ein separater Arbeitspreis (**400 Euro pro MWh**) für Abschaltbefehle gutgeschrieben.
- **Schritt 1: Spitzenlastkappung** und auf Wunsch des Netzbetreibers kann das RZ mit der NEA seinen **Netzverbrauch reduzieren**
- **Schritt 2:** Der Einsatz von NEA auf Anfrage des Netzbetreibers. In diesem Fall wird im **Rechenzentrum mehr Strom als die RZ-Last erzeugt** und der **überschüssige Strom in das Netz eingespeist, was zur Stabilisierung des Stromnetzes** beiträgt

Deckung der residualen Last mit Gaskraftwerk (400 MW)



Quelle: Szenarien für den Umbau der Stromversorgung auf eine dezentrale und erneuerbare Erzeugungsstruktur, 17. Kasseler Symposium Energie-Systemtechnik, 12.10.2012, Dr. Thorsten Ebert SUN & Katharina Henke Fraunhofer IWES