



Effiziente Rechenzentren und Verfügbarkeit

Gerhard Leo Büttner, Geschäftsführer, DIM, Design Institut München



Design Institut München

**Gesamtplanung von Rechenzentren und Sicherheitsarchitektur.
Seit über 40 Jahren Erfahrung mit RZ -Design in 9 Dimensionen,
gesammelt, aus weit über 400 abgewickelten Projekten.**

Die erste **DIM**ension
Bestandsanalyse mit
Risikobewertung

Die zweite **DIM**ension
Machbarkeitsprüfung,
Risikobeseitigung

Die dritte **DIM**ension
Anforderungsprofil
und Pflichtenheft

Die vierte **DIM**ension
Realisierungskonzept

Die fünfte **DIM**ension
Gesamtplanung aus
einer Hand

Die sechste **DIM**ension
Objektüberwachung
und Bauleitung

Die siebte **DIM**ension
Know-How-
Geberschaft

Die achte **DIM**ension
Projektmanagement

Die neunte **DIM**ension
RZ-Zertifizierung



Entwicklung der Rechnertechnologie in wärmeenergetischen Zahlen

Zeitraum	Rechnertechnologie	Energiedichte
bis 1981	BS 1000 – Maschinen mit Wechselplatten	200– 400 W/m ²
1981 – 1985	Wandel Wechselplatte – Festplatte	400– 600 W/m ²
1985 – 1990	Bipolartechnik / Festplatte, Leistungsverdichtung	600 W/m ²
1990 – 1995	C-MOS Technologie, verteilte RZ in Verbindung mit SNA	Wärme vernachlässigbar
ab 1995	Client-Server-Architektur, Rückentwicklung zu zentralen Aufstellorten	600 W/m ²
ab 2000	Serverfarmen, Server bringen stets zunehmende Wärmekonzentration ins Rechenzentrum	600– 800 W/m ²
2005	Bladecenter, 1. Generation	12 kW/Rack
2006	Bladecenter, 2. Generation	24 kW/Rack
2007	Bladecenter, 3. Generation	35 kW/Rack
2008	Ausblick	50 – 80 kW/Rack



Die Energieformen im RZ

Bedarf:

Strom, elektrische Energie

Kühlenergie (Raum, Rack)



**Primärstrom-
versorgung:**

- Öffentliches Netz
- Eigenerzeugung
- Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)



• Strom, elektrische Energie

- + Brunnenwasser
 - + Fluss-, Quellwasser
 - + Luft (Winter)
 - + Kraft-Wärme-Kopplung
- }
- (nur NVE *1, Luft-Luft- oder Rackkühlung)
(über Absorber Kälte für NVE, HVE*2)

**Rohstoffe,
Energieträger:**

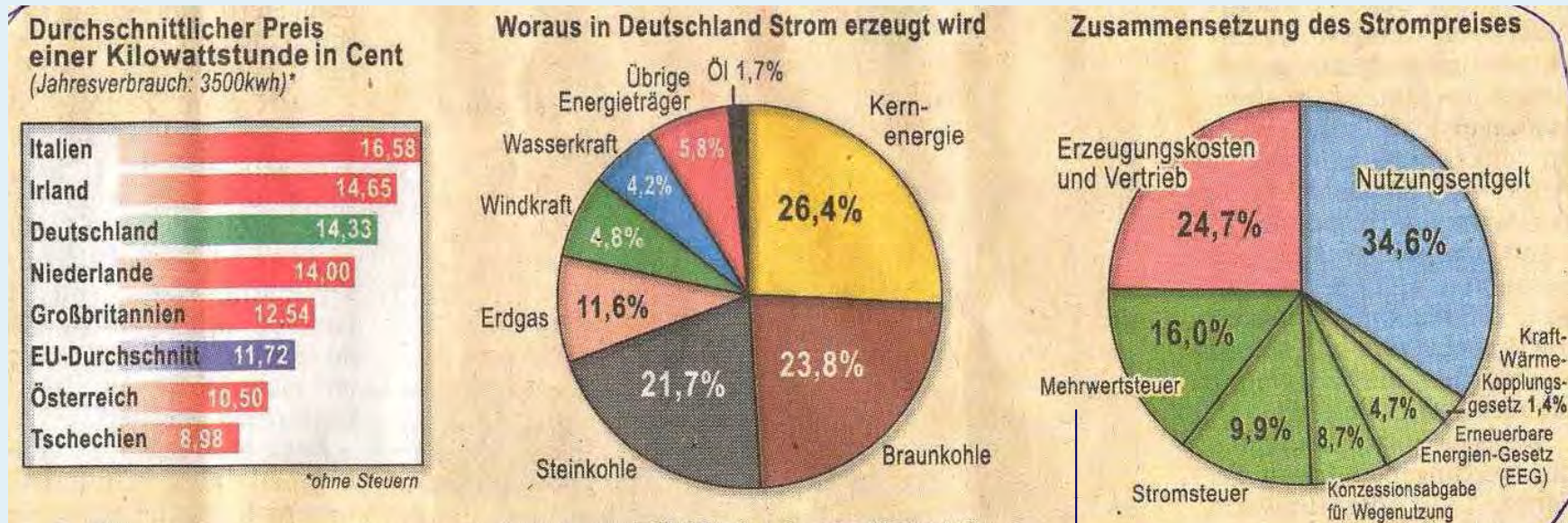
- Kernenergie
- Braunkohle
- Steinkohle
- Erdgas, -öl
- Windkraft
- Wasserkraft
- Übrige (Solaranlagen, Biomasse, Gezeiten, usw.)

- Wasserstoff (Brennstoffzelle)
- Erdgas, -öl
- (Solaranlagen, Wind-, Wasserkraft, Biomasse, usw.)

*1 NVE = Niedrig verdichtete Energien, *2 HVE = Hoch verdichtete Energien,



Öffentliche Stromversorgung in Deutschland



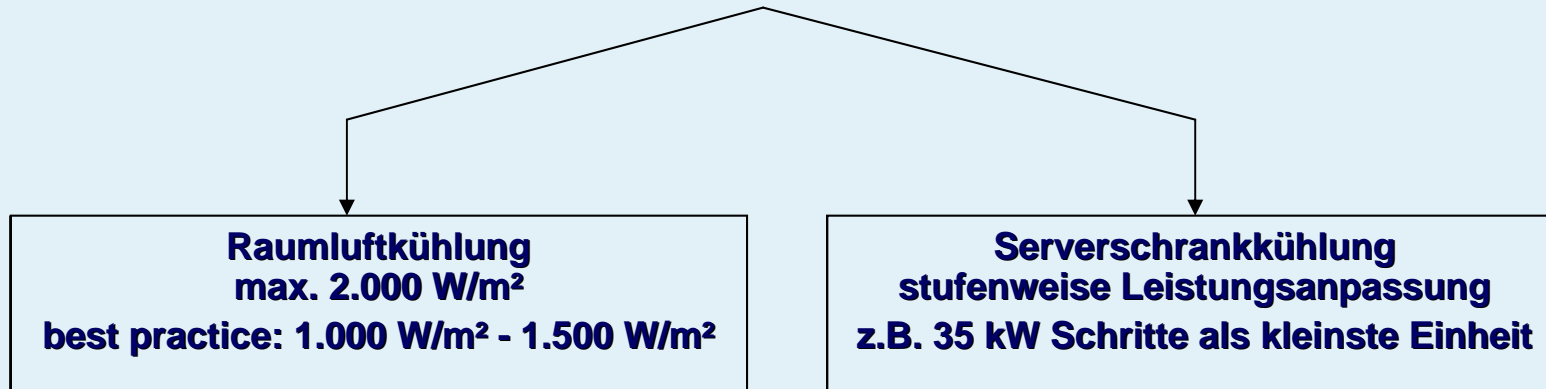
Grafik erstellt vor 01.01.2007

Münchner Merkur 25.10.2007 „Das Kreuz mit den steigenden Strompreisen – Aufruhr im Land des großen Quartetts“
Quelle: Eurostat. VDEW, Bundesnetzagentur - AG Energiebilanzen
Grafik: MM/Repro/J.Ickler



Wärmeenergetische Auslegung zukunftsorientierter Serverflächen

Lösungsansatz variables Mischsystem



Achtung wichtige Raumfunktion:

**Einzelserver-schränkkühlung für
HD-Schrank bei
abgeschalteter Innenkühlung
(z.B. Serverinstallation)**



Auslegungsbeispiel 20 - Rack - Serverraum

20 Rack \Rightarrow Fläche 60 m²

Raumluft (NVE*¹)

$$60 \times 2.000 \text{ W/m}^2 = 120 \text{ kW}$$

entspricht

$$20 \times 6 \text{ kW} = 120 \text{ kW}$$

$$\Sigma E \text{ ca. } 200 \text{ kW}$$

Hoch verdichtete Energien (HVE*²)

35 kW

$$20 \times 35 \text{ kW}$$

$$= 700 \text{ kW}$$

$$\Sigma E \text{ ca. } 1.000 \text{ kW}$$

50 kW

$$20 \times 50 \text{ kW}$$

$$= 1.000 \text{ kW}$$

$$\Sigma E \text{ ca. } 1.500 \text{ kW}$$

(80 kW)

$$20 \times 80 \text{ kW}$$

$$= 1.600 \text{ kW}$$

$$\Sigma E \text{ ca. } 2.400 \text{ kW}$$

Empfohlene Auslegung:

Stellflächenrelation	NVE	-	HVE
	1	:	1

Energierelation	NVE	-	HVE
	1	:	10

Raum Erstausbau	1.000 W/m²
Raum Endausbau	2.000 W/m²

HVE Raum für	4 KWS *³ á 250 kW
	(10 KWS á 100 kW)

Kälteabruf über Kältespeicher (Betriebsoptimierung)

*1 NVE = Niedrig verdichtete Energien, *2 HVE = Hoch verdichtete Energien, *3 KWS = Kaltwassersatz



Auslegungsbeispiel 600 Rack Groß-RZ

600 Rack \Rightarrow Fläche 1.800 m²

Raumluft (NVE*1)

$$1.800 \times 1.500 \text{ W/m}^2$$

entspricht

$$2.700 \text{ kW}$$

$$\Sigma E \text{ ca. } 4.000 \text{ kW}$$

Hoch verdichtete Energien (HVE*2)

35 kW

50 kW

(80 kW)

$$600 \times 35 \text{ kW}$$

$$600 \times 50 \text{ kW}$$

$$600 \times 80 \text{ kW}$$

$$= 21.000 \text{ kW}$$

$$= 30.000 \text{ kW}$$

$$= 48.000 \text{ kW}$$

$$\Sigma E \text{ ca. } \mathbf{30 \text{ MW}}$$

$$\Sigma E \text{ ca. } \mathbf{45 \text{ MW}}$$

$$\Sigma E \text{ ca. } \mathbf{60 \text{ MW}}$$

**Energetisch nicht mehr darstellbar,
Computertechnisch nicht mehr vorstellbar.**

Auslegung HVE 60 Racks
 $3.000 \text{ kW} \text{ -----} \rightarrow 4.500 \text{ kW}$
(35 kW/Rack) (50 kW/Rack)

Gewählt 10 Racks je 300 m²

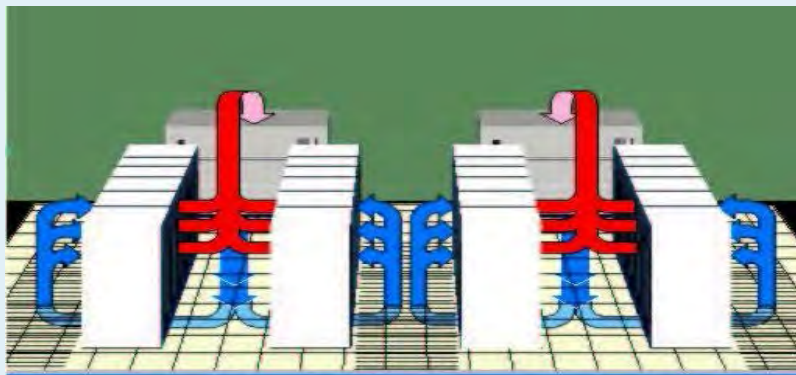
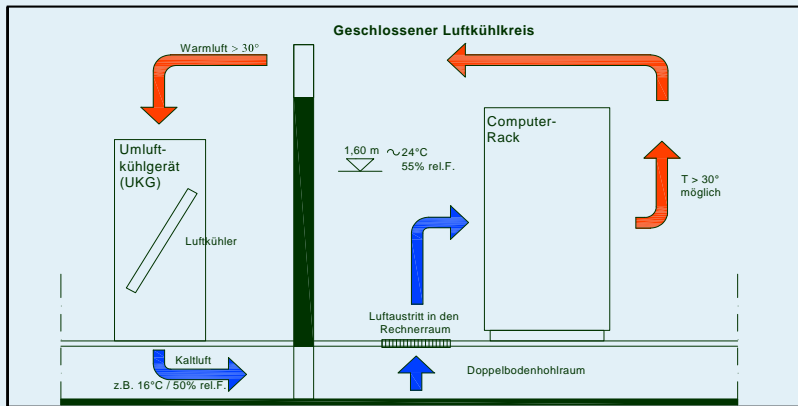
Stellflächenrelation	NVE	-	HVE
	10	:	1
Energierelation	NVE	-	HVE
	1	:	1

* 1 NVE = Niedrig verdichtete Energien, * 2 HVE = Hoch verdichtete Energien,



Das Raumkühlprinzip Funktion und Anwendungsbereich

Funktion:



**Serverschrankaufstellung
Kalt-Warmgang Prinzip**

Anwendung:

**LOW DENSITY (LD) Bereich bis
max. 2.000 W/m²**



**Serverschränke mit Pizzaboxen
ca. 6 kW je Schrank**

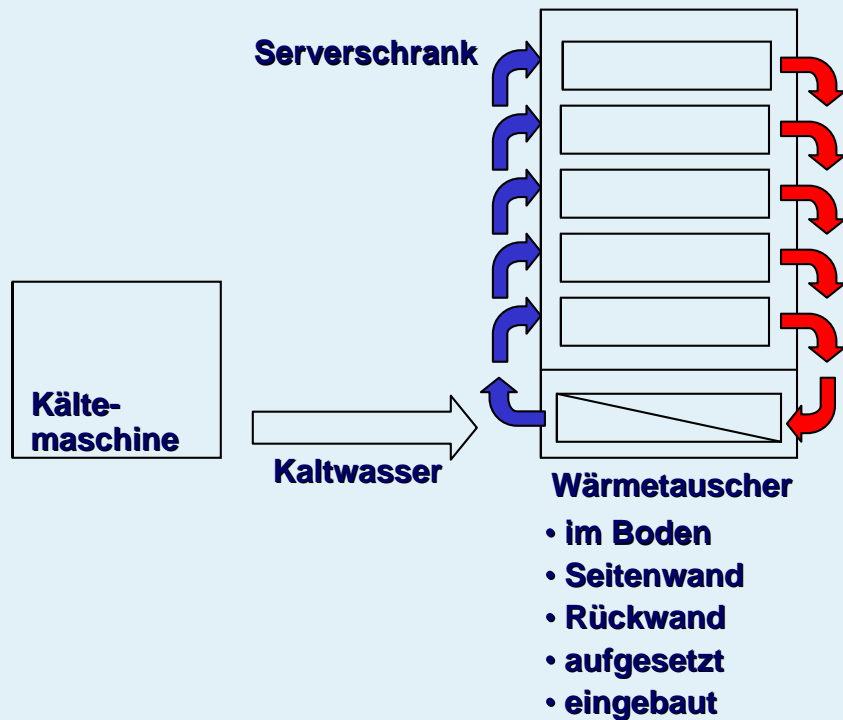
**entspricht ca. 20 Server á 300 W
„Serverschränke ohne aktive Kühlung“**



Das Rackkühlprinzip - Funktion und Anwendungsbereich

Funktion:

Wassergekühlte Serverschränke sind luftgekühlt



Anwendung:

Leistungsdichte > 2.000 W/m²
(Racks mit mehr als 6 kW)
bereits heute als Standardlösungen

verfügbar **35 kW / Rack**
angekündigt **50 kW / Rack**

☀ **Kaltwassererzeugung konventionell im Kaltwassersatz**

Kälte-träger - **meist verbreitet Kaltwasser**

- **alternatives Kältemittel**

Ammoniak
(R 717)

Kohlenwasserstoff
(R 4xx)

Kohlen-dioxid
(R 744)



Formen der Energieeffizienz

Energieeinsparung bei der Primärstromversorgung

- **KWK *1 (Primärenergieträger für Strom- und Wärmeerzeugung (somit Kälteerzeugung) nutzen) wie BHKW*2, Brennstoffzelle**
- **Einsatz alternativer, regenerativer Energien, wie**
 - Solarenergie
 - Windkraft
 - Wasserkraft
 - Biomasse (Biogas)

Wirkungsgrade bis 90% möglich, entgegen normalen Kohle-, Kernkraftwerken mit 30%

Energieeinsparung bei Kälteerzeugung, Rückkühlung

- **Freie Kühlung**
- **Wärmerückgewinnung**
- **Kälte über Wärme aus KWK*1**
- **Kälte über Wärme aus Brennstoffzelle**

Stromverbrauch kann bis zu 30% reduziert werden

*1 KWK = Kälte-Wärme-Kopplung, *2 BHKW = Blockheizkraftwerk



Energieeinsparung durch Virtualisierung

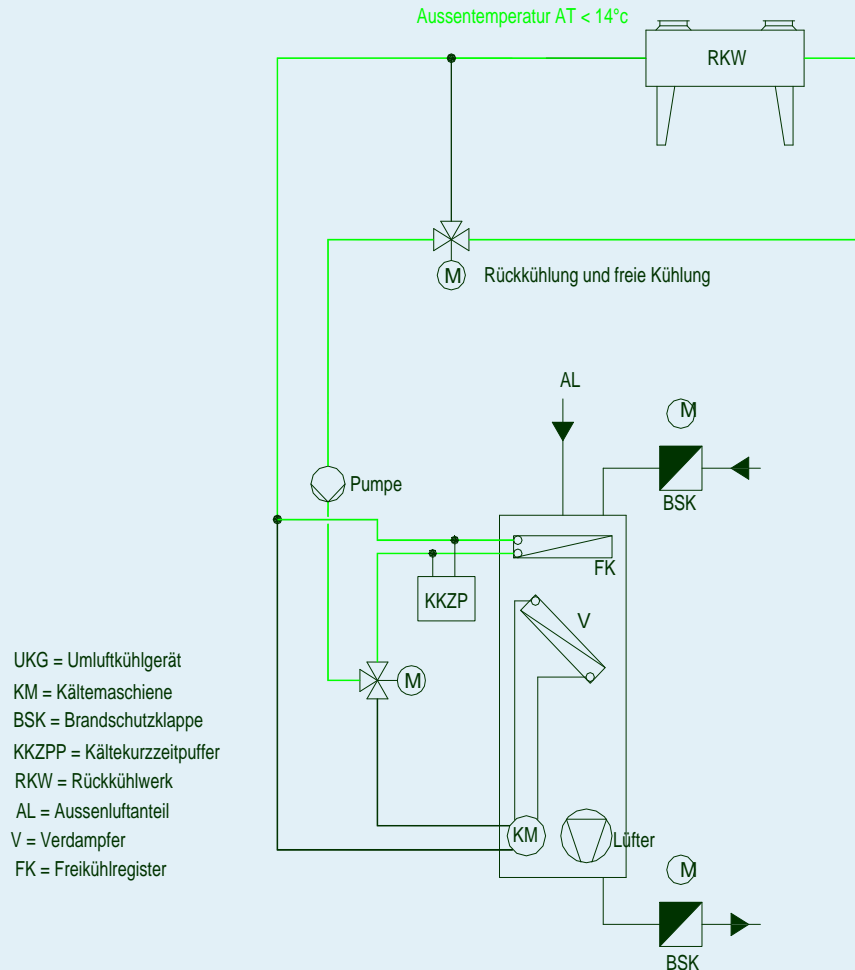
Den Energiebedarf zu reduzieren ist die effektivste Form der Energieeinsparung.

Bei der Virtualisierung in der EDV werden IT- Prozesse software-technisch auf die vorhandene Hardware verteilt.

Dadurch wird erreicht, dass „laufende“ Server optimal ausgelastet werden und nicht durch fixe Zuordnung von Prozessen, Programmen auf installierte Hardware die Rechner nicht wirtschaftlich arbeiten.



Das Prinzip der freien Kühlung

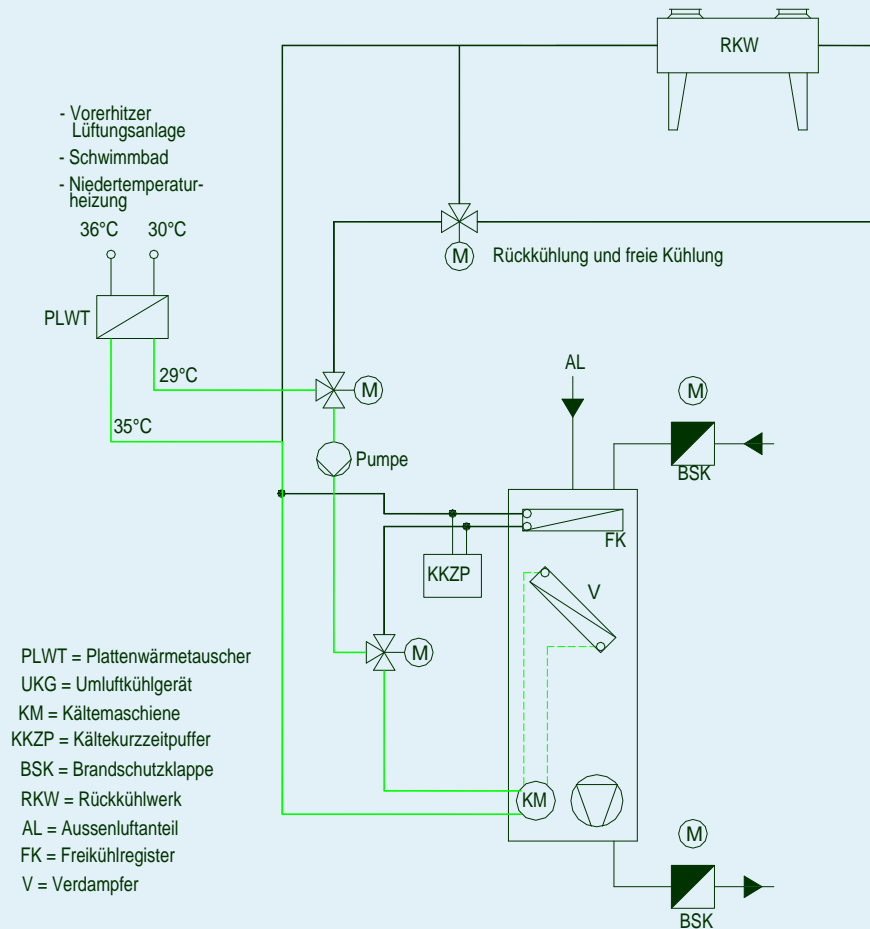


Ab einer Außentemperatur von kleiner 14°C und bei entsprechender Auslegung des Freikühlregisters kann das Kühlwasser bis zu 100% soweit gekühlt werden, dass die Raumkonditionen (22°C, 50% rel. Luftfeuchtigkeit) gehalten werden. Dadurch muss die Kältemaschine (KM) im Umluftkühlgerät (UKG) nicht mehr Kühlung erzeugen, die der größte Stromverbrauch in der Funktionskette ist.

Hiermit ist über das Jahr von ca. Oktober bis April (in Sommermonaten teilweise sogar nachts) bis zu **70% Energieeinsparung möglich.**



Das Prinzip der Wärmerückgewinnung



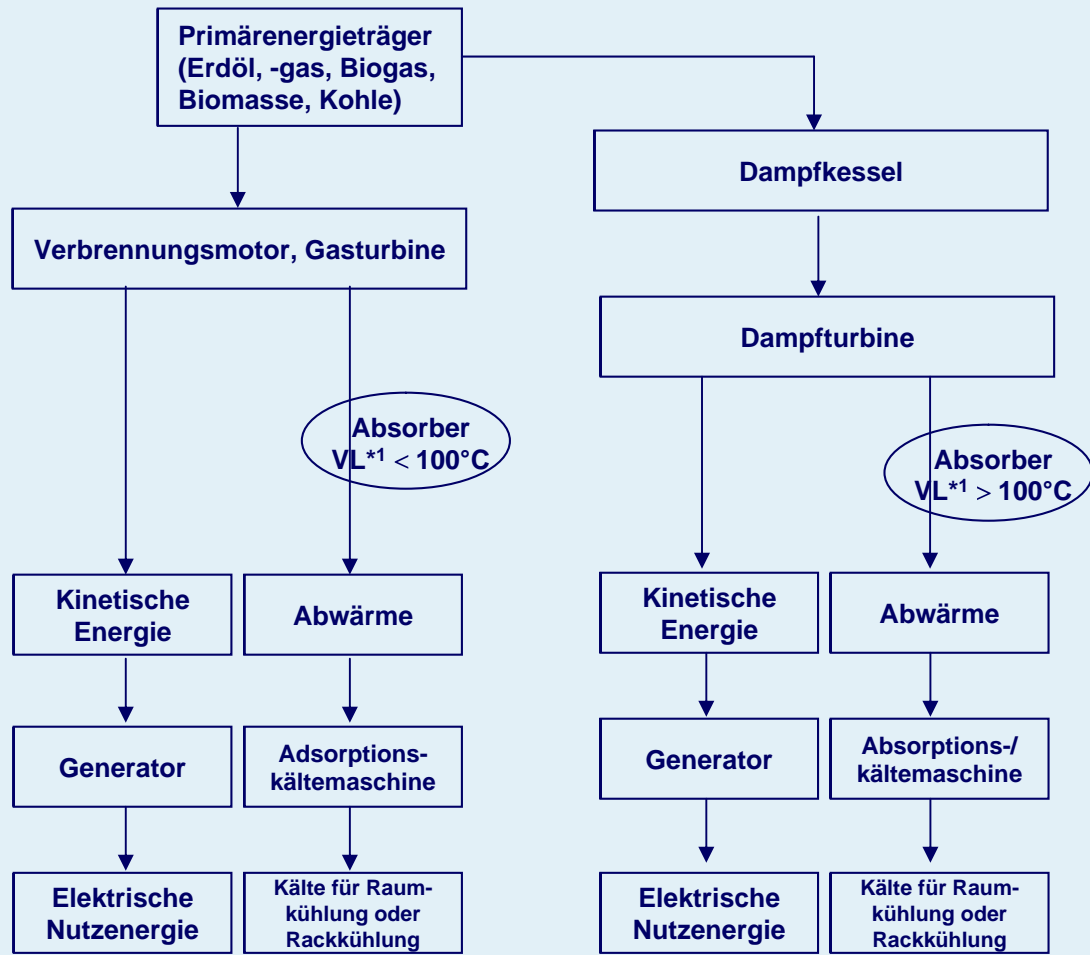
Bei der Nutzung der Wärmerückgewinnung müssen ganzjährig Niedertemperaturverbraucher als Abnehmer zur Verfügung stehen.

Dadurch wird die elektrische Energie der Rückkühlwerke eingespart.

Die Energieeinsparung liegt bei ca. 10 – 20 % und ist nur rentabel, wenn keine freie Kühlung möglich ist.



Das Prinzip der Kraft-Wärme-Koppelung



Bei der Kraft-Wärme-Kopplung wird bei jeder Erzeugung von kinetischer Energie (Drehenergie), die wiederum zur Erzeugung von elektrischer Energie (Generator) benötigt wird, anfallende Abwärme genutzt.

Aus der Abwärme wird über Absorptions-, oder Adsorptions-kältemaschinen mittels eines chemisch-physikalischen Prozesses (umgekehrtes Kühlschranksprinzip) die für die Raum- oder Rackkühlung des Rechenzentrums benötigte Kälteenergie erzeugt.

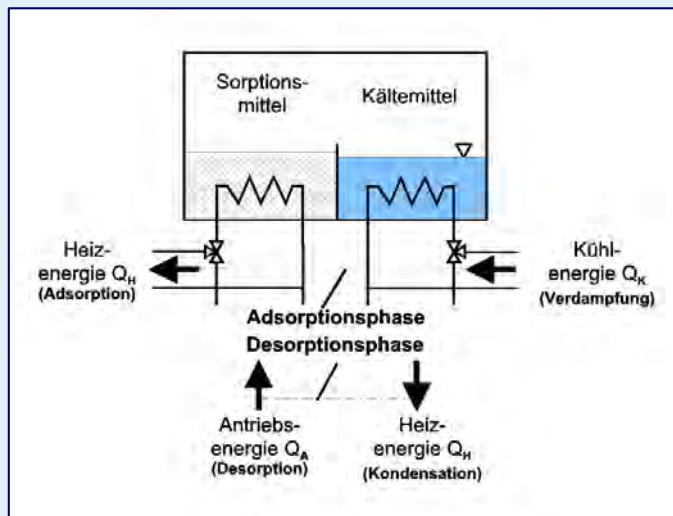
*1 VL = Vorlauf



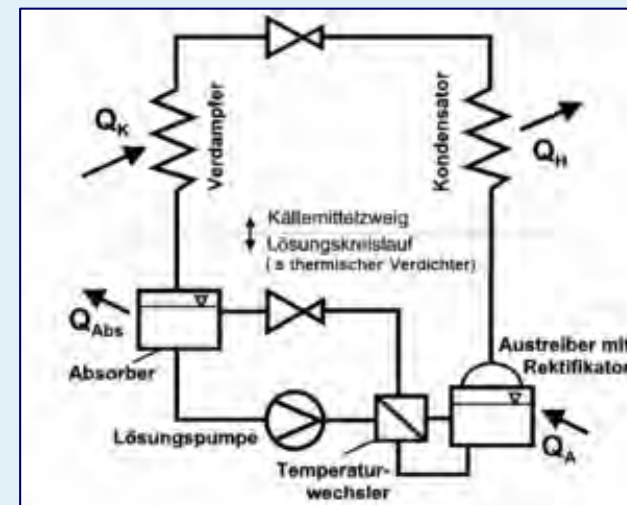
Ad-/ Absorptionskältemaschinen Funktionsprinzipien

Adsorbieren : (lat.) anlagern
Anlagerung von Stoffen an einen Feststoff oder an die (innere) Oberfläche eines anderen Stoffes.

Absorbieren : (lat.) aufsaugen, aufnehmen
Aufnahme von Energie, Gasen oder Dämpfen



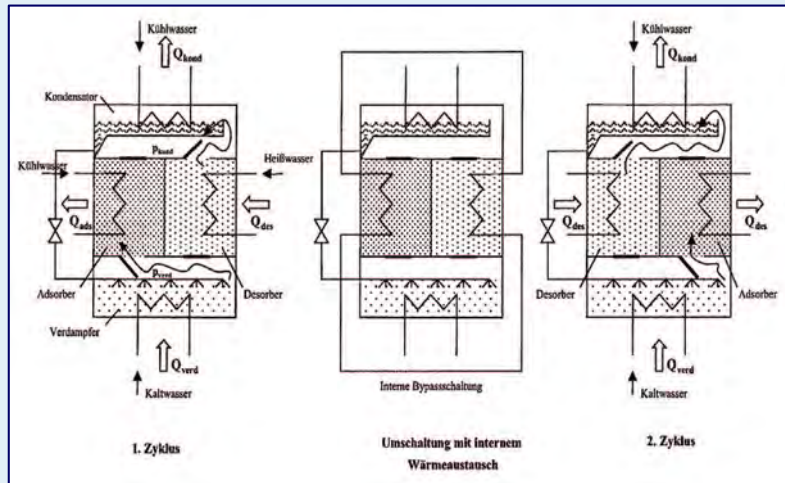
Funktionsprinzip einer diskontinuierlich arbeitenden **Adsorptionskältemaschine**:
Links ist das Sorptionsmittel und rechts der Verdampfer/ Kondensator.



Das Bild zeigt das Prinzipschaltbild einer **Absorptionskältemaschine**.



Ad-/ Absorptionskältemaschinen Funktionsprinzipien

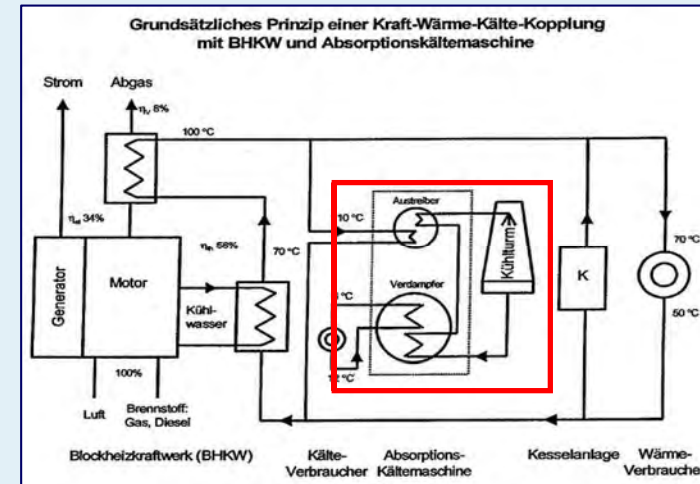


Schematische Darstellung der Phasen des **Adsorptionskältemaschinenprozesses**

Eine **Adsorptionskältemaschine** ist eine Sorptionskältemaschine, die mit einem festen Sorptionsmittel arbeitet. Sie wird vor allem als Kältespeicher eingesetzt.

Sie besteht aus zwei mit Sorptionsmittel gefüllten Arbeitskammern, einem Kondensator und einem Verdampfer. Der Prozess ist diskontinuierlich und geschlossen. (Als Sorptionsmittel wird Silicagel und als Kältemittel Wasser eingesetzt).

Bei Temperatur $< 100^\circ\text{C}$ einsetzbar.



Grundsätzliches Prinzip einer Kraft-Abwärme-Kälte-Kopplung mit BHKW und **Absorptionsmaschine**

Bei einer **Absorptionskältemaschine** erfolgt die Verdichtung durch eine temperaturbeeinflusste Lösung des Kältemittels. Man bezeichnet dies auch als thermischen Verdichter. Das Kältemittel wird in einem Lösungsmittelkreislauf bei geringer Temperatur in einem zweiten Stoff absorbiert und bei höheren Temperaturen desorbiert. Bei dem Prozess wird die Temperaturabhängigkeit der physikalischen Löslichkeit zweier Stoffe genutzt.

Bei Temperatur $> 100^\circ\text{C}$ einsetzbar.

Es ist fast die 2,7-fache Kälteleistung als Rückkühlleistung zu berücksichtigen.



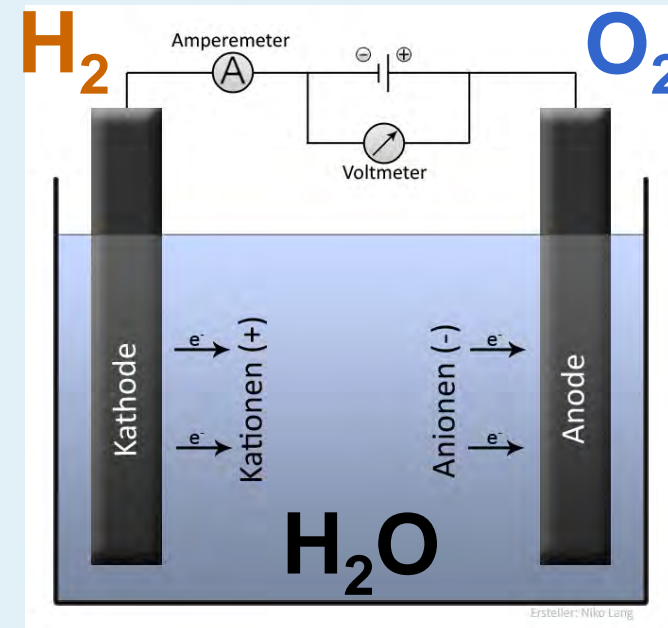
Das Prinzip der Brennstoffzelle

Das Prinzip der Elektrolyse:

Die Brennstoffzelle kehrt den Prozess der aus dem Schulunterricht bekannten Elektrolyse um.

Erinnern wir uns:

Bei der Elektrolyse wird Wasser mit Hilfe elektrischer Energie in die gasförmigen Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt.





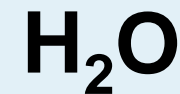
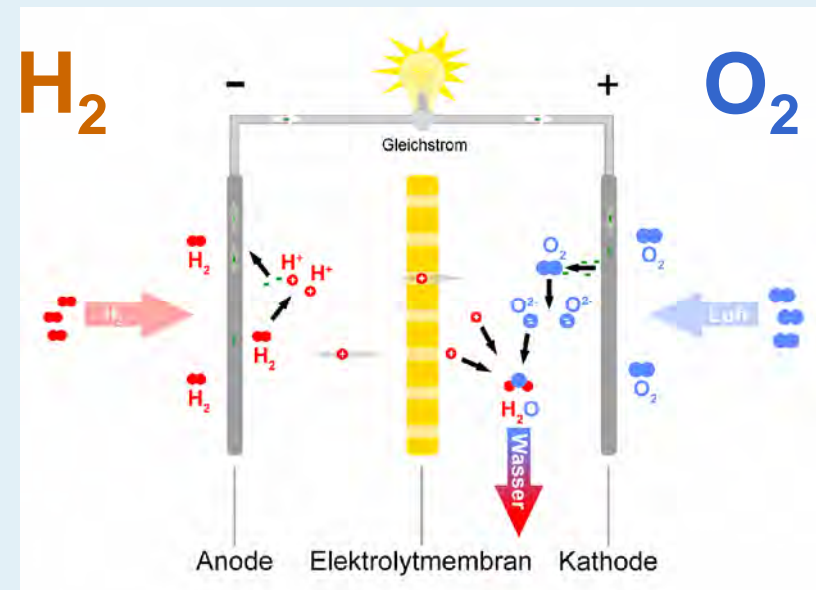
Das Prinzip der Brennstoffzelle

Die Brennstoffzelle kehrt den Prozess der Elektrolyse um und verwandelt Wasserstoff und Sauerstoff wieder in Wasser. Dabei wird theoretisch die Menge elektrischer Energie wieder abgegeben, die bei der Elektrolyse zur Spaltung notwendig war.

In der Praxis führen verschiedene physikalisch-chemische Prozesse zu geringfügigen Verlusten.

Man kann also sagen, die elektrische Energie wird im Wasserstoff gespeichert. Mit dem Wasserstoff haben wir also ein Gas, in dem wir elektrische Energie speichern können und mit der Brennstoffzelle produzieren wir daraus wieder elektrischen Strom.

Die meisten Brennstoffzellen funktionieren mit Luft, so dass der Sauerstoff nicht gespeichert werden muss.

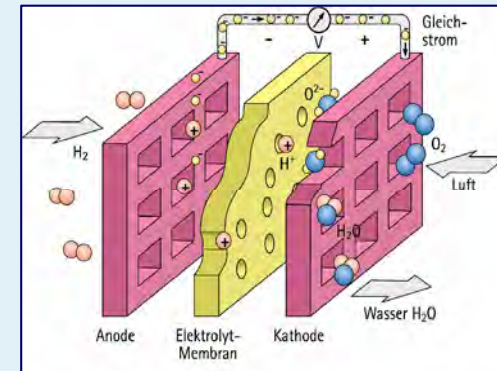
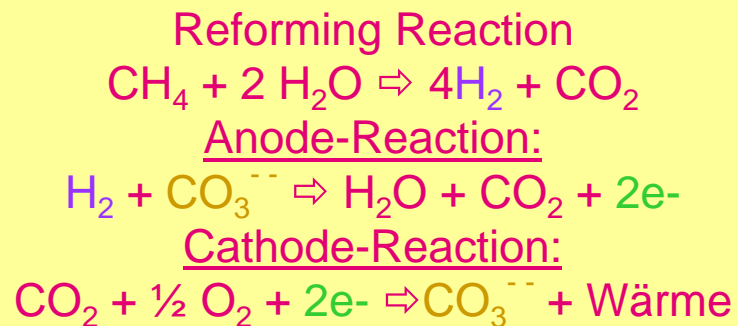




Energie aus der Brennstoffzelle (MCFC)

MCFC = Karbonatschmelzen Brennstoffzelle

- **Biogas besteht vorwiegend aus Methan und Kohlendioxid und entsteht bei der anaeroben Vergärung von organischem Material (z.B. Mais).**
- **Nach Reinigung und Komprimierung gelangt es über die Erdgasleitung in die Brennstoffzelle, wo durch einen chemischen Prozess Strom (Elektronenfluss von Anode zur Kathode) und Wärme entstehen.**



- **Die Brennstoffzelle ist ein kompakter, 8 x 2,5 x 3,2 Meter großer Kubus, mit den drei Komponenten Gasaufbereitung, Brennstoffzelle und Stromspeicherung.**
- **Eine Absorptionskältemaschine wandelt die mehr als 400°C heiße Abwärme in Kälte zur Kühlung der Serverräume um.**



Energie aus der Brennstoffzelle - MCFC-Technik

MCFC = Karbonatschmelzen Brennstoffzelle

Die Karbonatschmelzen Brennstoffzelle - MCFC arbeitet in hohen Temperaturbereichen von 580..660°C.

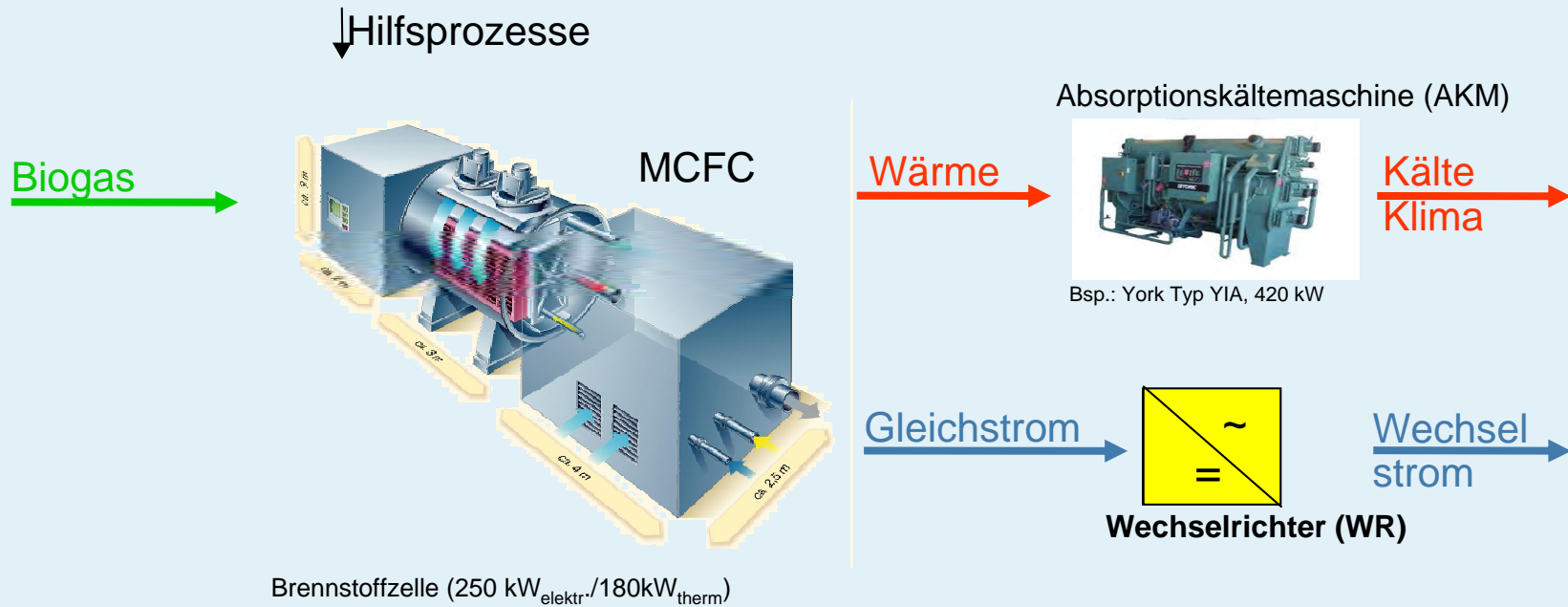
Vorteil dieser Zelle ist, dass die Gasaufbereitung entfällt. Ferner ist sie unempfindlich gegenüber Kohlenmonoxid. Es können direkt und ohne Reformer Erdgas, Kohlegas, Biogas und Synthesegas verwendet werden. Als Elektrolyt dient eine Salzschi-melze aus Alkalikarbonaten (Li_2CO_3 / K_2CO_3).

Es ist ein sehr hoher elektrischer Wirkungsgrad zu erwarten und ein Gesamtwirkungsgrad von 90%.



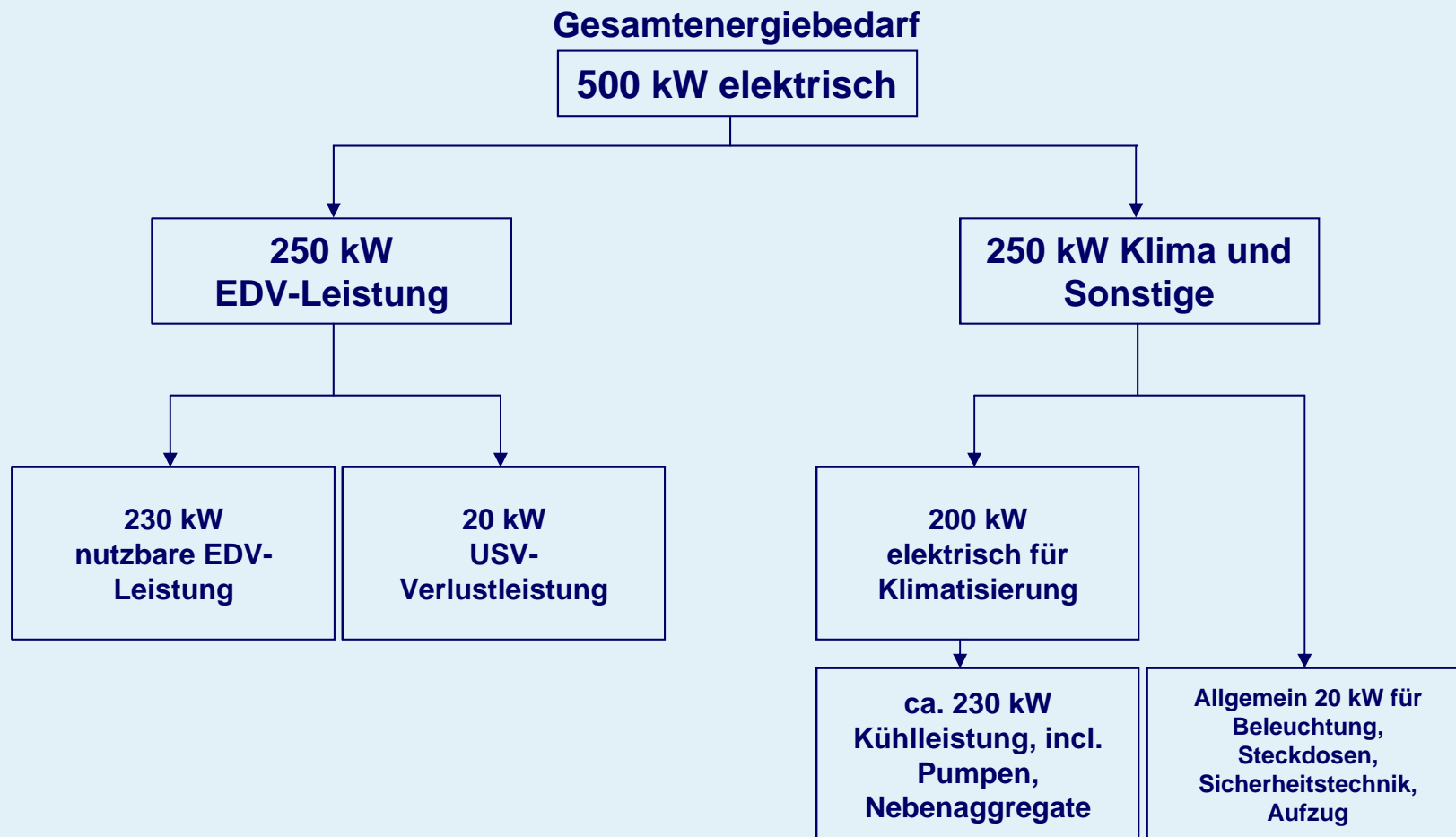


Energie aus der Brennstoffzelle – Übersicht Funktionsweise





Fallbeispiel Rechenzentrum 500kW





Energiebilanz ohne jegliche Einsparung

$$\begin{aligned} 500 \text{ kW} & \quad \times 24 \text{ h/d} & = & \quad 12.000 \text{ kWh am Tag} \\ 12.000 \text{ kWh/d} & \quad \times 365 \text{ d/a} & = & \quad 4.380.000 \text{ kWh im Jahr} \end{aligned}$$

bei einem Energiepreis von 0,10 €/ kWh

⇒ 438.000 € jährliche Energiekosten



Energiebilanz durch Verwendung freier Kühlung

**Einsparung von 50% im Mittel beim Leistungsblock:
„200 kW elektrisch für Klimatisierung“**

über ca. 6 Monate:

$$\begin{array}{rclcl} 100 \text{ kW} & \times & 24 \text{ h/d} & = & 2.400 \text{ kWh am Tag} \\ 2.400 \text{ kWh/d} & \times & 182 \text{ d/a} & = & 436.800 \text{ kWh im Jahr} \end{array}$$

⇒ 43.680 € jährliche Minderkosten

⇒ 394.320 € jährliche Energiekosten



Energiebilanz durch Wärmerückgewinnung

**Einsparung von 15% im Mittel beim Leistungsblock:
„200 kW elektrisch für Klimatisierung“**

über 12 Monate:

$$\begin{array}{rclcl} 30 \text{ kW} & \times & 24 \text{ h/d} & = & 720 \text{ kWh am Tag} \\ 720 \text{ kWh/d} & \times & 365 \text{ d/a} & = & 262.800 \text{ kWh im Jahr} \end{array}$$

⇒ 26.280 € jährliche Minderkosten

⇒ 411.720 € jährliche Energiekosten

Zzgl. Effizienz beim Nutzer Abwärme !



Energiebilanz durch Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung

500 kW ./. 0,8 Wirkungsgrad \triangleq 625 kW Primärbedarf

Quelle Wirkungsgrad: Hersteller KWK, BHKW, MTU

$$\begin{array}{rcl} 625 \text{ kW} & \times 24 \text{ h/d} & = 15.000 \text{ kWh am Tag} \\ 15.000 \text{ kWh/d} & \times 365 \text{ d/a} & = 5.475.000 \text{ kWh im Jahr} \end{array}$$

bei einem Gaspreis von 0,0415 €/kWh

\Rightarrow 210.785 € jährliche Minderkosten

\Rightarrow 227.215 € jährliche Energiekosten

1/2 elektrisch

1/2 thermisch



Energiebilanz durch Einsatz von Brennstoffzellen

500 kW ./. 0,9 Wirkungsgrad \triangleq 556 kW Primärbedarf

Quelle Wirkungsgrad: Hersteller Brennstoffzelle, MTU

556 kW x 24 h/d = 13.344 kWh am Tag
13.344 kWh/d x 365 d/a = 4.870.560 kWh im Jahr

Energieverbrauch (Wasserstoff oder Erdgas) pro kWh = 0,0415 €
(10 kWh \triangleq 1 m³ Gas \triangleq 0,41 €)

\Rightarrow 235.872 € jährliche Minderkosten

\Rightarrow 202.128 € jährliche Energiekosten

2/3 elektrisch

1/3 thermisch

RZ-günstiges Verhältnis



Verfügbarkeit - Hochverfügbarkeit

(Definition nach IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers)

$$\text{Verfügbarkeit} = \frac{\text{Uptime}}{\text{Downtime} + \text{Uptime}}$$

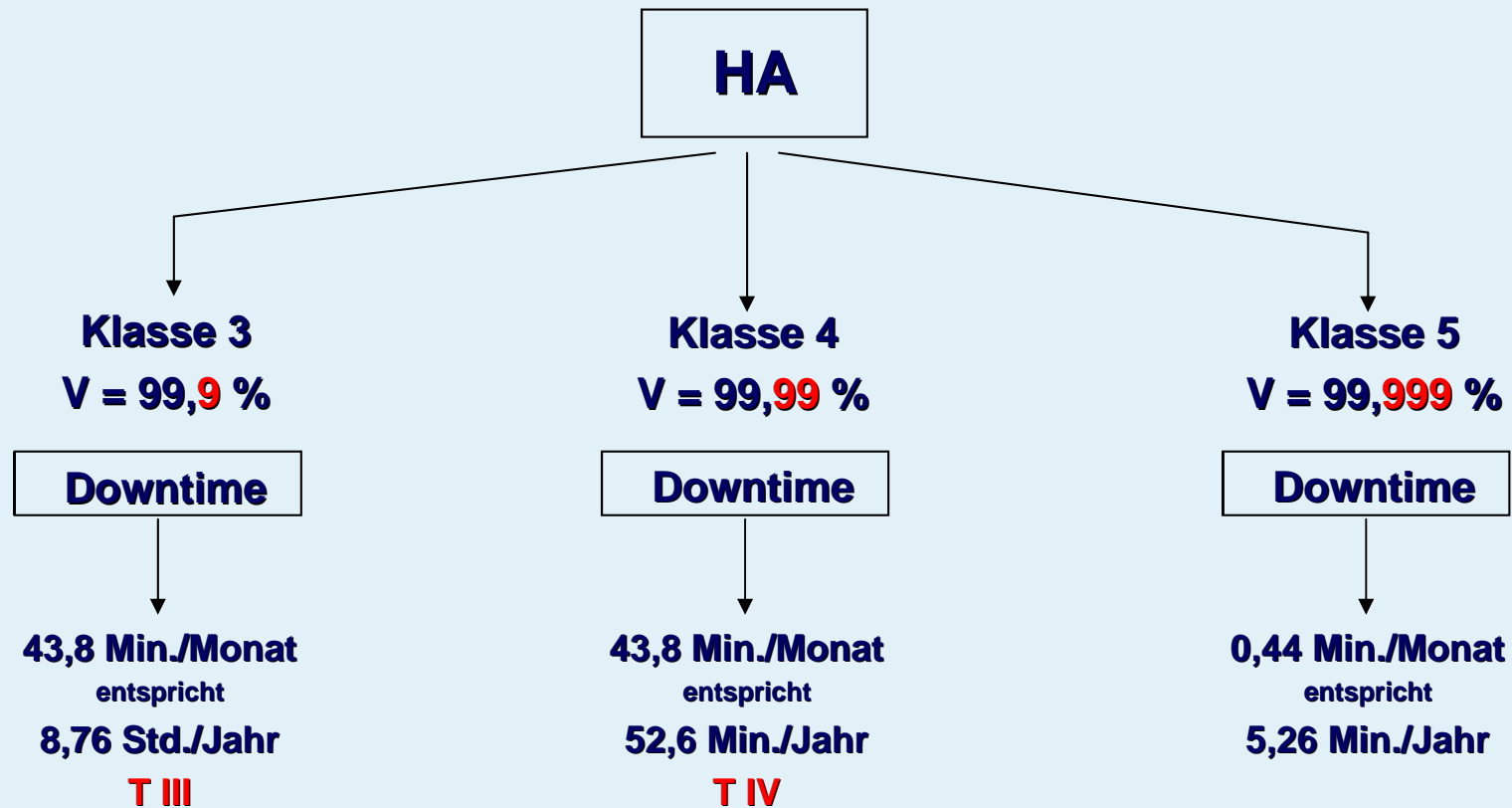
Verfügbarkeit = Wahrscheinlichkeit dass ein System innerhalb eines spezifischen Zeitraumes funktionstüchtig ist

Hochverfügbarkeit = High Availability (HA) = die Fähigkeit eines Systems auch im Fehlerfall funktionstüchtig zu bleiben



Definition der Verfügbarkeit

(Definition nach IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers)





Hochverfügbarkeit in HRG-Klassen (Harvard Research Group)

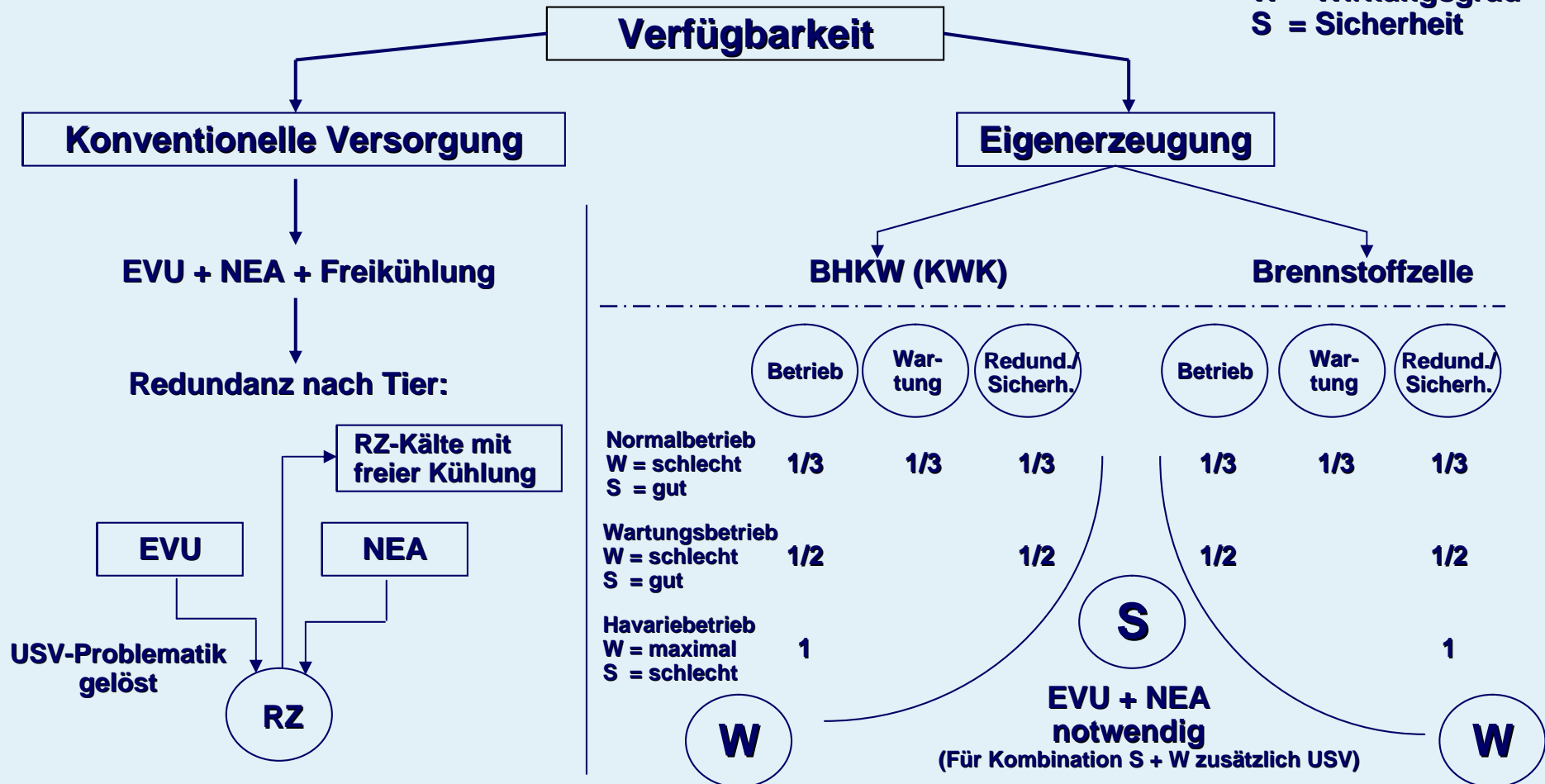
Availability Environment Classification

AEC - 0	AEC - 1	AEC - 2	AEC - 3	AEC - 4	AEC - 5
Conventional	Highly Reliable	High Availability	Fault Resilient	Fault Tolerant	Disaster Tolerant
Funktion kann unterbrochen werden. Datenintegrität nicht essentiell.	Funktion kann unterbrochen werden. Datenintegrität muss jedoch gewährleistet sein.	Funktion darf nur innerhalb festgelegter Zeiten oder zur Hauptbetriebszeit minimal unterbrochen werden.	Funktion muss innerhalb festgelegter Zeiten oder der Hauptbetriebszeit ununterbrochen aufrecht erhalten werden.	Funktion muss ununterbrochen aufrecht erhalten werden. 24 x 7 - Betrieb (24 Stunden, 7 Tage die Woche) muss gewährleistet sein.	Funktion muss unter allen Umständen verfügbar sein.
Tier I	Tier I	Tier II	Tier III	Tier IV	nicht mehr Tier



Fragestellung

W = Wirkungsgrad
S = Sicherheit





Das Freikühlsystem bei Hochverfügbarkeit

Das Freikühlsystem schränkt eine Hochverfügbarkeit nicht ein, weil alle Komponenten für die freie Kühlung, analog der Kälte-, Klimakomponenten selbst, redundant aufgebaut sind und an der Grundstruktur des Systems nichts verändert wird.

Die Effizienzkomponente „freie Kühlung,“ wird dann genutzt, wenn sie vorhanden ist, wenn nicht, erfolgt keine Einschränkung der Verfügbarkeit.



Die Wärmerückgewinnung bei Hochverfügbarkeit

Das System der **Wärmerückgewinnung schränkt eine Hochverfügbarkeit nicht ein, weil alle Komponenten für die Rückgewinnung, analog der Kälte-, Klimakomponenten selbst, redundant aufgebaut sind und an der Grundstruktur des Systems nichts verändert wird.**

Trotz Wärmerückgewinnung (WRG) muss immer Rückkühlung installiert werden, weil an die WRG kein Verfügbarkeitsanspruch gestellt werden kann. Wenn „freie Kühlung“ möglich ist, muss die WRG energetisch nachrangig aktiviert werden.



Die Kraft-Wärme-Kopplung bei Hochverfügbarkeit

Bei der **Kraft-Wärme-Kopplung** ist im Sinne der Hochverfügbarkeit auf folgende Grundsätze zu achten:

- Redundanz
- Modularität
- Keinen „Single Point of Failure“ (SPOF)

Als Redundanz- oder Sicherheitssystem ist immer die öffentliche Netzversorgung bzw. eine eigene Notstromversorgung vorzusehen.

Ebenso ist für die Kälteversorgung ein autarkes Redundanzsystem zu installieren. Kraft-Wärme-Kopplung ist nur eine wirtschaftliche, keine Sicherheits- oder hochverfügbare Komponente bei relativ konstantem Energieverbrauch (Strom, Wärme) über das ganze Jahr.



Die Brennstoffzelle bei Hochverfügbarkeit

Bei der **Brennstoffzelle** ist im Sinne der Hochverfügbarkeit auf folgende Grundsätze zu achten:

- Redundanz
- Modularität
- Keinen „Single Point of Failure“ (SPOF)

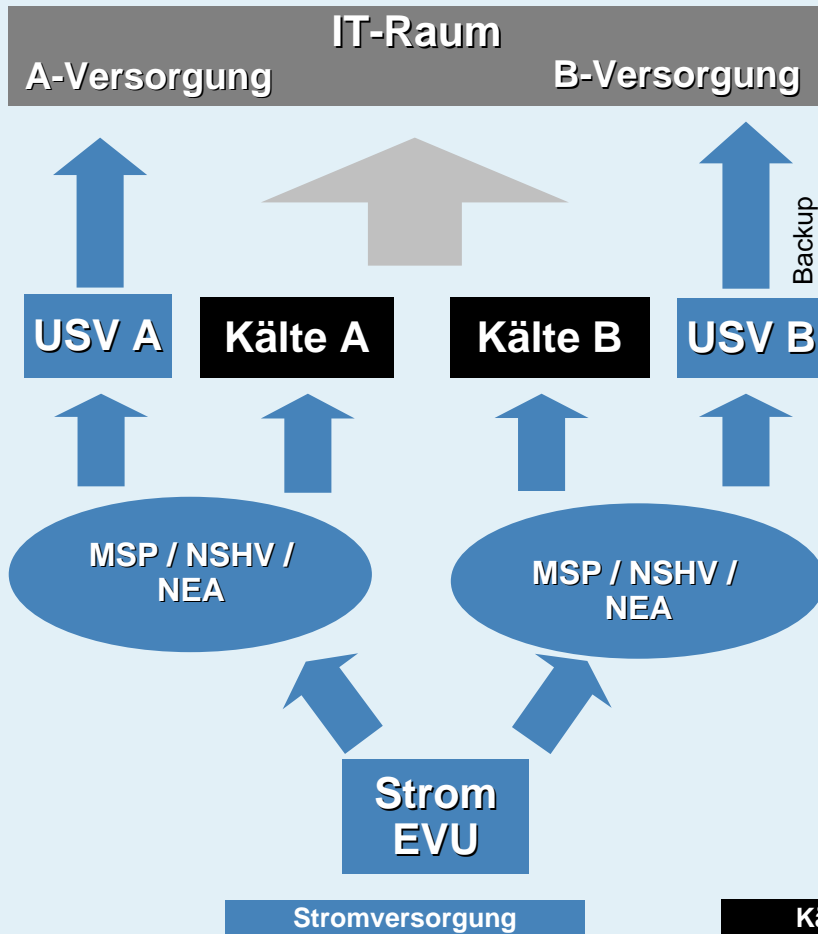
Als Redundanz- oder Sicherheitssystem ist immer die öffentliche Netzversorgung bzw. eine eigene Notstromversorgung vorzusehen.

Ebenso ist für die Kälteversorgung ein autarkes Redundanzsystem zu installieren. Die Brennstoffzelle ist nur eine wirtschaftliche, keine Sicherheits- oder hochverfügbare Komponente bei relativ konstantem Energieverbrauch (Strom, Wärme) über das ganze Jahr.

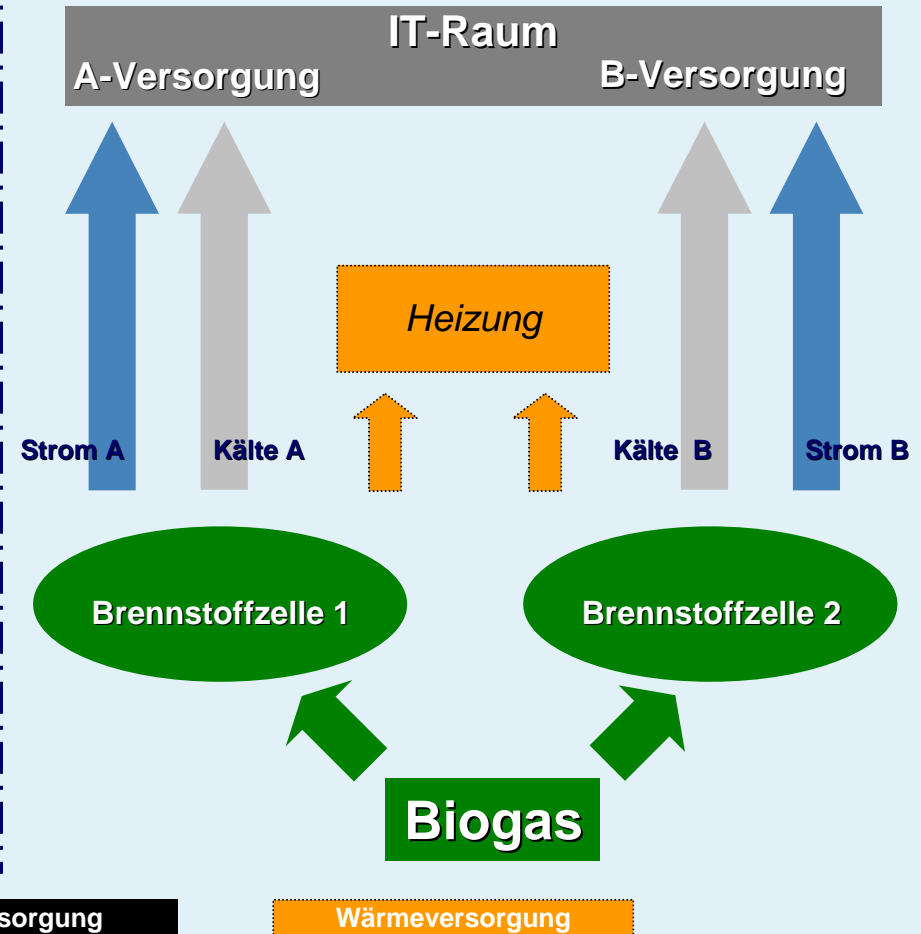


Die Brennstoffzelle bei Hochverfügbarkeit

Konventionelle RZ-Technik:



Alternative Brennstoff - Technik:





Übersicht der Energieeffizienzmodelle

	Basismodell	Freie Kühlung	Wärme- rückgewinnung	Kraft-Wärme- Kopplung	Brennstoffzelle
Energiekosten pro Jahr	438.000 €	394.320 €	411.720 €	227.215 €	202.128 €
Einsparung Energiekosten	0,00	43.680 €	26.280 €	210.785 €	235.872 €
Einsparung Primärenergie	0 %	25 %	10 %	15 - 20 %	20 - 30 %



Fazit

Im Sinne von Wirtschaftlichkeit, Primärenergieverbrauch und CO₂-Haushalt sind als Betriebskomponenten für die Versorgung eines Rechenzentrums die **Kraft-Wärme-Kopplung**, bzw. die **Brennstoffzelle** zu empfehlen, wobei es bei der Brennstoffzelle zumindest aus heutiger Sicht noch an Betriebserfahrung fehlt.

Ebenso ist hierfür ein konstanter Energieverbrauch, möglichst über das Rechenzentrum hinaus für eine ganze Liegenschaft von Vorteil.

Als Redundanz- und Sicherheitskomponenten ist jedoch in jedem Fall ein Versorgungszweig mit konventioneller Technik und den Effizienzkomponenten

- freie Kühlung
- Wärmerückgewinnung
- Brunnenkühlung aufzubauen.

Einsparung bei freier Kühlung und Wärmerückgewinnung sind echte Minderkosten, während die Einsparungen bei KWK und Brennstoffzelle Basis für Amortisationsrechnungen sind (für sicheren Betrieb sind zusätzliche Investitionen notwendig).