

Leistungskennzahlen im Rechenzentrum – Überblick und Beispielanwendung

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	1
2	Kennzahlen.....	1
2.1	Power Usage Effectiveness (PUE).....	1
2.2	Data Center Infrastructure Efficiency (DCiE).....	2
2.3	Cooling Efficiency Ratio (CER).....	2
2.4	Energy Reuse Factor (ERF).....	3
2.5	Renewable Energy Factor (REF).....	3
2.6	Water Usage Effectiveness (WUE).....	4
2.7	Server Idle Energy Coefficient (SIEC).....	4
2.8	Einschränkungen der Indikatoren.....	5
3	Messung der Energieflüsse.....	5
4	Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz	6
5	Messkonzept.....	6
6	Referenzen.....	8
	Abbildung 1: Generisches Messschema für die elektrische Energie.....	7
	Abbildung 2: Generisches Messschema für die thermische Energie.....	8

1 EINLEITUNG

Ziel dieses kurzen Leitfadens ist es eine kurze Einführung in den Dschungel der verschiedenen Kennzahlen im Zusammenhang mit der Energieeffizienz von Rechenzentren zu bringen.

2 KENNZAHLEN

Unterschiedliche Key Performance Indikatoren (KPI) werden zur Bewertung der Ressourceneffizienz von Rechenzentren (RZ) eingesetzt. Nachfolgend die gebräuchlichsten Indikatoren.

2.1 POWER USAGE EFFECTIVENESS (PUE)

Die PUE (*Power Usage Effectiveness*) ist in der EN 50600-4-2¹ definiert. Der KPI PUE steht für das Verhältnis zwischen dem Gesamtenergieverbrauch des Rechenzentrums und für IT-Geräte benötigten Energie.

$$PUE = \left(\frac{\text{Gesamtenergieverbrauch des RZ}}{\text{Energieverbrauch aller IT-Systeme}} \right)$$

Im Allgemeinen weist ein PUE-Wert von knapp über 1,0 darauf hin, dass es sich um ein sehr effizientes Rechenzentrum handelt. PUE wurde von einem Konsortium entwickelt, das sich aus Endnutzern, politischen Entscheidungsträgern, Technologieanbietern, Anlagenarchitekten und Versorgungsunternehmen zusammensetzt, die sich mit der Energieeffizienz in Rechenzentren befassen. Der PUE-Wert von 1,0 ist natürlich nur ein rein theoretischer Zielwert für ein professionelles Rechenzentrum, da ein zusätzlicher Energiebedarf für die Bereitstellung der gesicherten Stromversorgung und notwendige kältetechnische Anlagen unvermeidbar sind. Dieser Mehraufwand muss so gering wie möglich gehalten werden.

Die PUE ist auch für eine kontinuierliche Berechnung des Wertes gedacht, um die jeweilige Effizienz sichtbar zu machen, Verschlechterungen schnell zu erkennen, Maßnahmen gezielt einzusetzen und deren Wirksamkeit zeitnah zu bewerten. Damit kann die PUE bei der Überwachung und Verwaltung des RZ unter zur Hilfenahme von z.B. einer Data Center Infrastructure Management Software als Leitwert genutzt werden.

2.2 DATA CENTER INFRASTRUCTURE EFFICIENCY (DCiE)

Vor einigen Jahren galt DCiE (*Data Center Infrastructure Efficiency*) als ein Art Leitindikator, inzwischen hat die Kennzahl zugunsten der PUE stark an Bedeutung verloren.

Die Kennzahl wird im EU-Code of Conduct for Data Centers (2008) folgendermaßen definiert:

$$DCiE = \left(\frac{\text{Energieverbrauch aller IT-Systeme}}{\text{Gesamtenergieverbrauch des RZ}} \right) \times 100\%$$

Ein DCiE-Wert von knapp unter 100 Prozent weist darauf hin, dass es sich um ein sehr effizientes Rechenzentrum handelt. Bei diesem Indikator handelt es sich also um den Kehrwert der PUE-Kennzahl.

In der praktischen Anwendung unterscheiden sich die beiden Kennzahlen jedoch, da sich der PUE nur auf den Energieverbrauch (kWh) bezieht, während der DCiE auch auf die Leistung (kW) angewendet werden kann. Die DCiE-Leistung kann somit für maximale Lastsituationen und momentanes Leistungsverhalten verwendet werden. Der DCiE-Verbrauch betrachtet wie der PUE den Energieverbrauch über größere Zeiträume wie Jahr, Monat oder Woche.

2.3 COOLING EFFICIENCY RATIO (CER)

Der CER-Wert (*Cooling Efficiency Ratio*) misst die Effizienz der Kühlung und beeinflusst andere wichtige Kennzahlen, wie die PUE, der die Gesamteffizienz des Rechenzentrums angibt. Der CER-Wert zeigt auf, wie viel elektrische Energie gebraucht wird, um die Wärmemenge des Rechenzentrums für 12 Monate zu bewältigen. Die CER ist der EN 50600-4-7²

¹ <https://www.vde-verlag.de/normen/0800596/din-en-50600-4-2-vde-0801-600-4-2-2019-08.html>
Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren, Teil 4-2: Kennzahl zur eingesetzten Energie

² <https://www.vde-verlag.de/normen/0800683/din-en-50600-4-7-vde-0801-600-4-7-2020-08.html>
Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren; Teil 4-7: Wirkungsgrad der Kühlung (CER)

beschrieben und in der ISO/IEC 30134-7:2023 ³ spezifiziert. Im Allgemeinen weist ein hoher CER auf eine hohe Effizienz hin, da wenig Energie für die Kälteerzeugung und -verteilung benötigt wird.

$$CER = \left(\frac{\text{benötigte Kältemenge}}{\text{Energieverbrauch der Kälteerzeugung und Verteilung}} \right)$$

Je nach Baujahr des RZ unterscheiden sich die Anforderungen aus der DIN EN 50600-4-7. Ein RZ benötigt einen CER von mehr als 9, wenn dieses 2024 oder später in Betrieb genommen wird. RZ mit Inbetriebnahme zwischen 2019 und 2023 benötigen einen CER >8. Für RZ, die zwischen 2015 und 2018 in Betrieb gingen, ist ein CER von >7 vorgeschrieben. Und ein RZ, das bis Ende 2014 in Betrieb ging, benötigt ein CER von über 6.

Von den vorgeschriebenen Werten kann ggf. abgewichen werden. So sind z.B. RZ mit Aufgaben im Bereich Co-Location nicht von Anfang an voll ausgelastet und weisen daher geringere Effizienzen auf, die sich in anfänglich niedrigeren CER-Werten niederschlagen als gebäudetechnisch möglich.

2.4 ENERGY REUSE FACTOR (ERF)

Der ERF (*Energy Reuse Factor*) ist eine Kennzahl zur Quantifizierung der Wiederverwendung der im Rechenzentrum verbrauchten Energie. Eine solche Wiederverwendung ist die Abwärmenutzung. In Deutschland müssen sich RZ-Betreiber auf sich immer weiter verschärfende Vorschriften bei der Abwärmenutzung einstellen. Das Energieeffizienzgesetz (EnEfG)⁴ schreibt bereits in vielen Fällen die Abwärmenutzung vor.

Der ERF ist in der ISO/IEC 30134-6:2021⁵ definiert und stellt das Verhältnis der wiederverwendeten Energie zur gesamten Energie, die der Rechenzentrumsbetrieb erfordert, dar.

$$ERF = \left(\frac{\text{Wiederverwendete Energie}}{\text{Gesamtenergieverbrauch des RZ}} \right)$$

Die Grenzbereiche sind Null, keine Energie wird wiederverwendet, und Eins, sämtliche im RZ verbrauchte Energie wird wiederverwendet. Die Energieformen elektrisch, thermisch, mechanisch und chemisch sind hierbei gleichbehandelt. Im RZ sind typischerweise elektrische und thermische Energie die dominierenden Faktoren. Im ERF ist nur die Wiederverwendung der Energie außerhalb des RZ relevant. Die Abwärmenutzung durch angrenzende Bürobereiche oder in anderen Gebäuden auf dem Universitätscampus ist somit im Wert enthalten, die Abwärmenutzung innerhalb des RZ spielt jedoch keine Rolle.

Ebenso wird die Effizienz der Nachnutzung im ERF nicht berücksichtigt, z.B. kann das Temperaturniveau der Abwärme für eine direkte Nachnutzung zu niedrig sein. Der Aufwand für die Temperaturerhöhung der Abwärme würde damit unberücksichtigt bleiben.

2.5 RENEWABLE ENERGY FACTOR (REF)

Durch die Berücksichtigung des Anteils erneuerbarer Energien am Strommix des Energieversorgers kann die Nachhaltigkeit eines RZ zum Ausdruck gebracht werden.

³ <https://www.iso.org/standard/80493.html>

⁴ <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/09/20230921-bundestag-beschliesst-energieeffizienzgesetz.html>

⁵ <https://www.vde-verlag.de/iec-normen/250181/iso-iec-30134-6-2021.html>

$$REF = \left(\frac{\text{erneuerbare Energie}}{\text{Gesamtesamtenergieverbrauch des RZ}} \right)$$

Als erneuerbare Energie wird im REF die Menge anerkannt, für die der RZ-Betreiber das Nutzungsrecht im Sinne der Renewable Energy Certificates⁶ hat. Es spielt also keine Rolle, ob die erneuerbare Energie im Rechenzentrum selbst erzeugt oder von einem Lieferanten bezogen wurde. Der Erwerb von Zertifikaten ist der Eigenerzeugung gleichgestellt.

2.6 WATER USAGE EFFECTIVENESS (WUE)

Andere Umweltfaktoren, wie z. B. die Wasseraufnahme, sind in den zuvor aufgeführten Indikatoren nicht berücksichtigt. Der WUE-Wert (*Water Usage Effectiveness*) ist eine Nachhaltigkeitsmetrik, die 2011 von „The Green Grid“⁷ entwickelt wurde, um zu versuchen, die Menge an Wasser zu bewerten, die von Rechenzentren zum Kühlen ihrer IT-Ressourcen verwendet wird. Wasser in Mehrfachnutzung durch Kreislaufführung innerhalb des RZ wird in der WUE nur einfach berücksichtigt. Relevant ist nur die Menge an Wasser, die das RZ zugeführt wird, z.B. Verbräuche durch Verdunstung oder Ableitung als Abwasser.

$$WUE = \left(\frac{\text{Wasserverbrauch [m}^3\text{]}}{\text{Stromverbrauch aller IT Systeme [MWh]}} \right)$$

2.7 SERVER IDLE ENERGY COEFFICIENT (SIEC)

Die bisher aufgeführten Indikatoren sagen nichts darüber aus, ob das Rechenzentrum bedarfsgerecht ausgestattet ist und ob die Anwendungssoftware die Ressourcen effizient nutzt. Trotz guter Kennzahl ist Stromverschwendung möglich, wenn die IT-Ressourcen nicht sinnvoll eingesetzt werden.

Die Kennzahl SIEC (Server Idle Energy Coefficient)⁸ gibt den Anteil des Energieverbrauchs eines Servers an, der im Betrachtungszeitraum durch Leerlauf des Systems verloren geht.

$$SIEC = \left(\frac{\text{Verbrauch der Server im Leerlauf}}{\text{gesamter Server Verbrauch}} \right) \times 100\%$$

Ein SIEC-Wert von 0% weist darauf hin, dass die Server in diesem Zeitraum nur effektive Arbeit geleistet haben, was einen Volllastbetrieb entspricht.

Die Berücksichtigung des Leerlaufs von Servern beruht auf der Tatsache, dass es kein allgemein anwendbares Maß gibt, mit dem die von einem Rechenzentrum geleistete Arbeit direkt gemessen werden kann. Es ist daher nicht möglich, einen universell anwendbaren Effizienzindikator in der Form "Arbeitseinheit pro Energieeinheit" zu definieren. Bei Servern gibt es jedoch einen identifizierbaren Zustand, der allen Servern unabhängig von Marke, Modell und sogar Architektur gemeinsam ist und der anzeigt, dass der Server keine sinnvolle Arbeitslast zu bewältigen hat. Dieser Zustand ist der Idle-State.

Damit kann der SIEC-Wert jederzeit und kontinuierlich im Produktionsbetrieb gemessen und angezeigt werden. Der Kennwert zeigt Energieeinsparpotenziale im Leerlauf auf. Ziel des RZ-Betreibers muss es sein, ineffiziente Software und Teillastzeiten zu identifizieren und, wenn nicht ganz zu vermeiden, Systeme im Leerlauf so energiesparend wie möglich zu halten.

⁶ http://de.wikipedia.org/wiki/Renewable_Energy_Certificate_System und http://www.aib-net.org/portal/page/portal/AIB_HOME/EECS

⁷ <https://www.thegreengrid.org/>

⁸ <https://www.heise.de/select/ix/2022/13/2206120163825025948>

Der KPI $ITEU_{SV}$ (*IT Equipment Utilization for Servers*) umfasst ebenfalls ausschließlich die CPU-Nutzung eines Servers. Während der $ITEE_{SV}$ -Kennwert (*IT Equipment Efficiency for Server*) die Rechenleistung ein Server in den verschiedenen Bereichen der elektrischen Leistung wiedergibt. Das Messverfahren ist im Einzelnen nicht vorgeben und kann damit dem Anwendungsbereich angepasst werden. Unterschiedliche Benchmark-Verfahren können eingesetzt werden. SPEC.org hat z.B. den *SPECpower* für die Energieeffizienz von Servern definiert. Im Rahmen des *Energy Star Program* der US-amerikanischen Umweltbehörde EPA wird beispielsweise der Benchmark *SERT16* verwendet.

2.8 EINSCHRÄNKUNGEN DER INDIKATOREN

Teilweise können Kennzahlen auch für kürzere Betrachtungszeiträume und/oder begrenzte Anlagenteile verwendet werden. Die *iPUE* (Interim PUE) beschreibt das Verhältnis aus Energiebedarf des RZ zum Energiebedarf der IT in einem bestimmten Messintervall. Wenn die Messdauer für den PUE-Wert nicht zwölf Monate beträgt, dann muss die PUE als *iPUE* gekennzeichnet und die Messdauer angegeben werden. Die *pPUE Elektro* bzw. *pPUE Klima* (Partial PUE) kann zum Beispiel den PUE nur auf die Anlagenteile der elektrischen bzw. klimatechnischen Versorgung beschränken. Mit einem *ipPUE*-Wert kann z.B. die Effizienz von Kälteanlagen monatlich bewertet werden.

Weitere Umweltfaktoren sind z.B. die Nutzungsdauer von IT-Systemen und betriebstechnischen Anlagen oder die Wiederverwertungsquote von ausgemusterten Anlagen oder Komponenten.

Die aufgeführten Kennwerte PUE, DCiE und CER erfasst nicht den Verbrauch auf Rack-Ebene. Die Energie, die für die Infrastruktur auf Rack-Ebene benötigt wird, wird nicht in die Gesamtberechnung einbezogen. Somit werden IT-Systeme besser bewertet, die Teile der Stromaufbereitung und Kälteerzeugung/-Verteilung integriert haben. Typischerweise sind dieses Spannungswandler, Ventilatoren und Pumpen.

Oftmals ist es nicht möglich, die Gesamtleistung exakt zu berechnen oder gar direkt zu messen. Die Genauigkeit der Ermittlung der Verbräuche bzw. der Leistungen bestimmt die Aussagekraft der Kennzahlen.

3 MESSUNG DER ENERGIEFLÜSSE

Voraussetzung für die Berechnung aussagekräftiger Indikatoren ist eine korrekte Verbrauchsmessung.

Das kennzahlenbasierte Rechenzentrums-Management erfordert eine systematische Erfassung der Ressourcenverbräuche (insb. Stromverbrauch) während der gesamten Betriebszeit. Nur dadurch lassen sich zeitlich bedingte Änderungen berücksichtigen. Durch die Betrachtung des Jahresverbrauchs wird sichergestellt, dass Schwankungen der klimatischen Bedingungen (Temperatur, Feuchte) oder nutzungsbedingte Unterschiede in der Auslastung des RZ (Spitzenzeiten, Wartungsarbeiten) die Gesamtbewertung nicht einseitig verfälscht.

Die Erfassung des Stromverbrauchs sollte auf verschiedenen Ebenen der Stromverteilung erfolgen. Vor der Einspeisung in die Anlagen der RZ-Infrastruktur, z.B. Transformatoren, unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) und nach den Anlagen bis direkt vor den einzelnen Servern. Damit lassen sich dann auch die Verluste für die unterschiedlichen Anlagenteile feststellen. Ebenso sollten elektrische Verbräuche der Anlagen der Kälteversorgung gemessen werden. Interessant sind dabei die Verbräuche der Funktionsgruppen Kälteerzeugung (Kaltwassersätze, Rückkühlwerke) und Kälteverteilung (Umluftkühlgeräte, Pumpen) aber auch die thermischen Wärmemengen (Kälte).

In der RZ-Infrastruktur sind häufig bereits Universalmessgeräte installiert. Gegebenenfalls müssen zusätzliche Messstellen vom Infrastrukturbetreiber bereitgestellt werden. In den IT-Racks des RZ haben sich Smart Power Distribution Units (PDUs) als intelligente Stromverteilungseinheiten als Standardausrüstung zur Messung des Stromverbrauchs der IT-Komponenten durchgesetzt. Diese PDUs ermöglichen Messungen direkt am Stecker der IT-Systeme, egal ob es sich um Server, Netzwerkkomponenten oder Speichersysteme handelt. Damit kann der Stromverbrauch direkt den einzelnen Geräten/Gerätegruppen zugeordnet werden und ggf. die Verbräuche Nicht-IT-Geräte, z.B. Kühltüren oder dezentrale USV, herausgerechnet werden.

Wichtig ist, dass alle Messwerte zyklisch in sinnvollen Zeitabständen gespeichert und z.B. in einer Data Center Infrastructure Management Software weiterverarbeitet werden. Die Werte müssen mit einer ausreichenden Genauigkeit an den richtigen Stellen gemessen werden

4 MASSNAHMEN ZUR VERBESSERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ

Um den PUE näher an 1,0 heranzuführen, kommen die u.A. folgenden Maßnahmen in Frage:

Gezieltes Kühlen: Thermische Optimierungen kann den PUE-Wert deutlich senken. Möglichst hohe Temperaturen im Rücklauf der Kühlung ermöglichen, um maximal viel freie Kühlung und Abwärmenutzung zu ermöglichen. Durchmischung der Luft von warmen und kalten Bereichen verhindern. Ventilatorleistung reduzieren durch größere Ventilatordurchmesser, geringe Strömungsgeschwindigkeiten und kürzere Lufttransportwege. Anlagen mit unterschiedlichen Betriebsmodi verwenden, z.B. können zu bestimmten Jahreszeiten auch niedrige Vorlauf-Temperaturen durch freie Kühlung ohne Verdichter erzeugt werden.

Ein Vermeiden von gegeneinander Wirken der Be- und Entfeuchtungsanlagen verringert sowohl den Energiebedarf als auch den Wasserverbrauch.

Wettervorhersagegeführte Befeuchtung von adiabatischen Rückkühlwerken und eine Optimierung von Spülvorgängen reduziert den Wasserverbrauch.

Optimierung der Bereithaltung von Energie verbrauchenden Redundanzen. Abwägung von situativ benötigten Grad der Redundanz, erwarteter Auslastung, Aspekte des Anlagenschutzes und Verbrauch. Einsatz von z.B. effizienter USV-Technologie.

Permanent zu betreibende Anlagen vermeiden. Z.B. Sauerstoff Reduktion vs. Löschgas-Einsatz, bedarfsgesteuerte Beleuchtung und Zufuhr von Frischluft,

Optimierung der Ausführungssteuerung von Anwendungen. Z.B. SLURM, Virtualisierung von Systemdiensten. Ziel ist Volllast auf den Servern durch Verdichten der vorhandenen Anwendungen.

5 MESSKONZEPT

Das Messkonzept für die elektrischen Anlagen umfasst die folgenden Funktionsgruppen und die zugehörigen Messpunkte:

- Stromversorgung
 - Transformatoren
 - Notstromgenerator

- Stromverteilung
 - Niederspannungshauptverteilungen
 - Redundante Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)
- IT-Systeme, jeweils redundant versorgt
 - Rechnersysteme
 - Speichersysteme
 - Netzwerkkomponenten
- Kühlsysteme
 - Kaltwassersätze (Verdichter)
 - Rückkühlwerke (ggf. adiabatische Hybridkühler)
 - Pumpen
 - Umluftkühlgeräte der IT-Räume und Technik-Räume
 - Sonstige Anlagen
- Interne Kühlung der IT-Systeme
 - Ventilatoren für die Luftkühlung innerhalb der IT-Systemen
 - Pumpen für
- Sonstige RZ-Anlagen

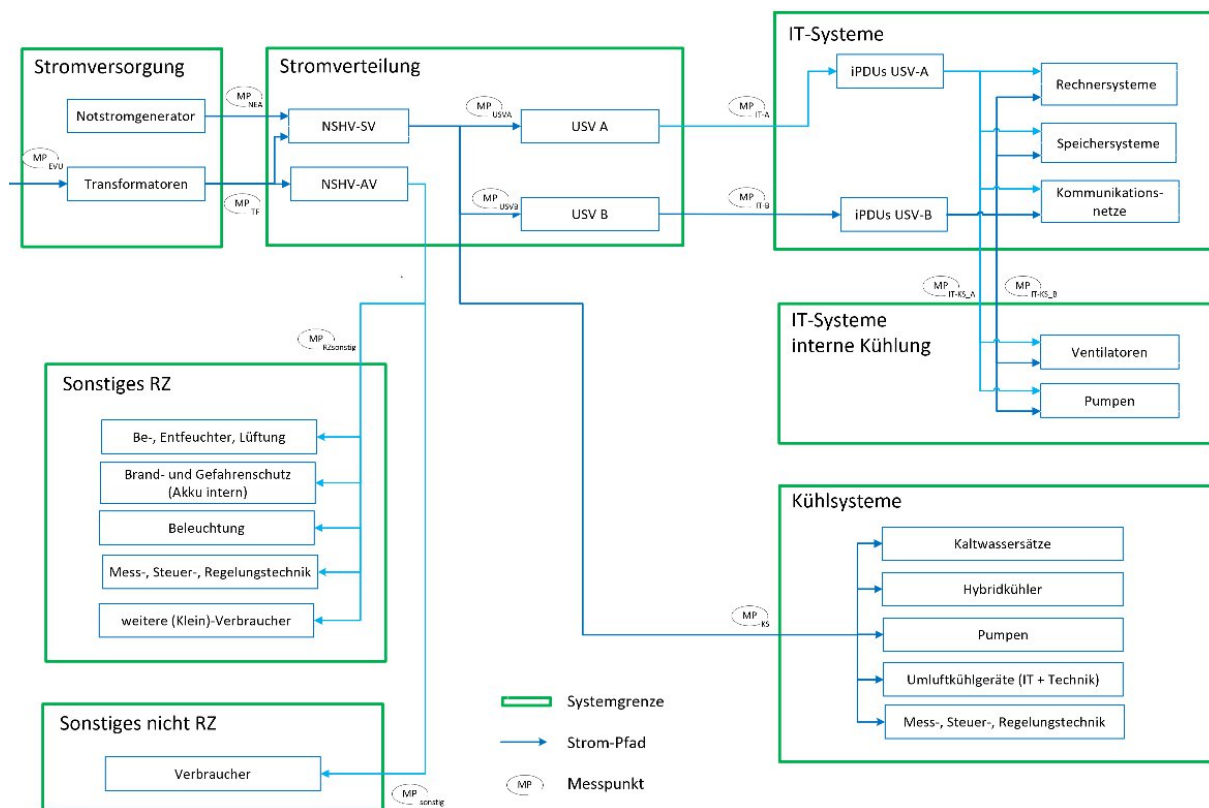


Abbildung 1: Generisches Messschema für die elektrische Energie

Das Messkonzept für die kälte- und wärmetechnischen Anlagen umfasst die folgenden Funktionsgruppen und die zugehörigen Messpunkte:

- Kälteerzeugung mit unterschiedlichen Temperaturniveaus
 - Kaltwassersätze (Verdichter)
 - Rückkühlwerke (ggf. adiabatische Hybridkühler)
- Kälteverteilung
 - Wärmetauscher
 - Kältespeicher

- Kälteverbraucher IT-Systeme
 - Direkte Wasserkühlung in IT-Systeme
 - Kühler in Rack-Türen und zwischen den Racks mit IT-Systeme
 - Umluftkühlgeräte zur Rechnerraumkühlung
- Kälteverbraucher Technikanlagen
 - Umluftkühlgeräte in den Technikbereichen
- Kältenutzung im RZ und in Gebäude und (Ab)Wärmenutzung in Gebäude
 - Gebäudekühlung
 - Gebäudeheizung
- Wärmeerzeugung
 - Z.B. Wärmepumpe

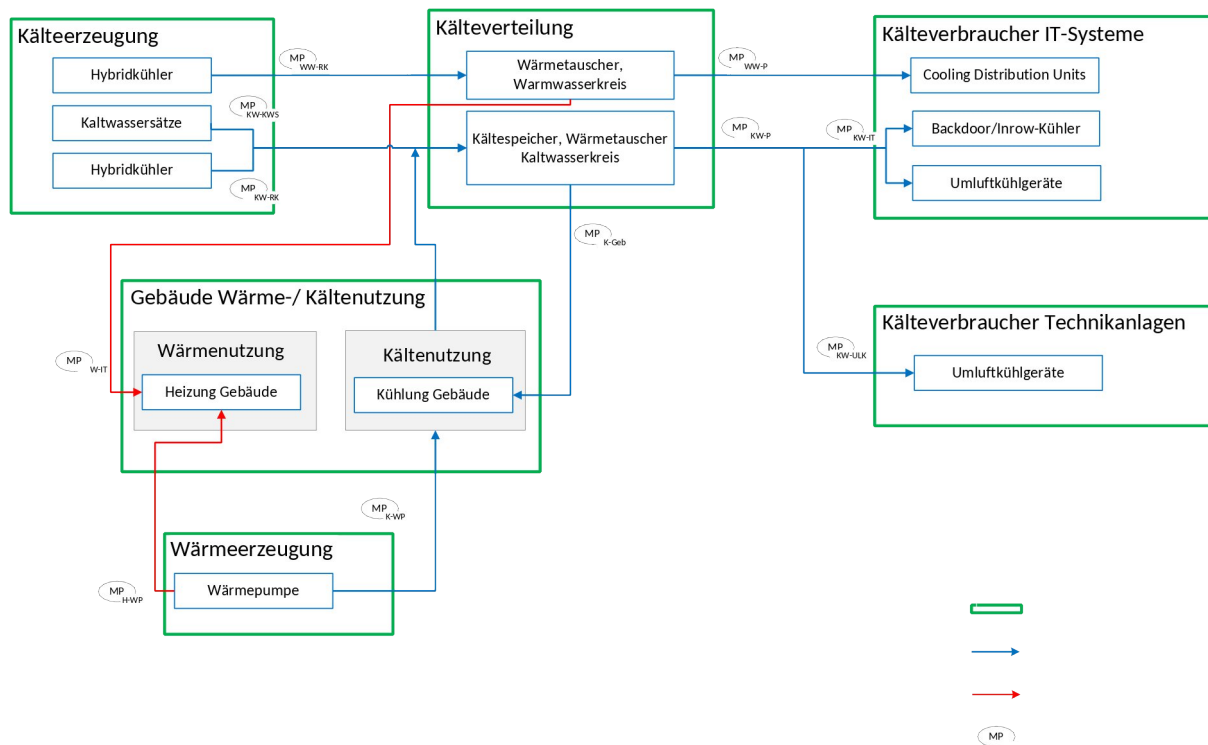


Abbildung 2: Generisches Messschema für die thermische Energie

6 REFERENZEN

- <https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/2022/10/EDNA-Studies-Metrics-for-data-centre-efficiency-Final.pdf>
- https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-02-23_texte_19-2018_ressourceneffizienz-rechenzentren.pdf
- <https://www.bitkom.org/sites/main/files/file/import/150911-LF-Energieeffizienz-in-RZ.pdf>
- [PUE: A Comprehensive Examination of the Metric, The Green Grid, 2012](#)