

# Nachhaltige Rechenzentren Leitfaden



# Rechenzentren der Zukunft



Die industrielle Revolution hat in die Industriegesellschaft geführt, die digitale Revolution wird in eine digitale Welt führen. Die analoge Welt, in der ich selbst aufgewachsen bin, wird verloren gehen. Der Digitale Wandel bringt große Vorteile in unserem täglichen Leben und hat die Art, wie wir kommunizieren und arbeiten grundlegend verändert. Die Digitalisierung ist vor allem ein dynamischer Prozess.

Baden-Württemberg hat sich als Ziel gesetzt eine Leitregion des digitalen Wandels zu werden. Dafür hat das Land die Digitalisierungsstrategie digital@bw erarbeitet. Das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft gestaltet den Digitalisierungsprozess aktiv mit. Denn Digitalisierung bedeutet auch Ressourcenverbrauch. Deshalb hat es unter anderem das Forschungsprojekt „Nachhaltige Rechenzentren“ initiiert und gefördert. Nachhaltige Rechenzentren sollen Energie nicht nur effizient einsetzen, sondern gezielt dazu beitragen, die Ziele des Landes bei der Energiepolitik und beim Klimaschutz zu erreichen.

Das Forschungsprojekt hat neue Erkenntnisse für eine umwelt- und klimaschonende Datenverwaltung geliefert. Die erstellten Konzepte zur Abwärmenutzung, die Bewertung von Standortfaktoren sowie Konzepte zur Integration von erneuerbaren Energien geben wichtige Impulse für eine effiziente Energie- und Ressourcennutzung. Was sich trocken anhört, ist deshalb ein wesentlicher Teil einer nachhaltigen Digitalisierung.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'F. Untersteller'.

Franz Untersteller MdL  
Minister für Umwelt, Klima und  
Energiewirtschaft Baden-Württemberg

# Praxisnaher Leitfaden

Das Konsortium des Projektes „Nachhaltige Rechenzentren Baden-Württemberg“ hat in den letzten drei Jahren an Maßnahmen für mehr Nachhaltigkeit im Kontext von Rechenzentren geforscht.

Das unverkennbare Wachstum der Digitalisierung und der zugrundeliegenden Infrastruktur wird sowohl von Unternehmen als auch der Gesellschaft ambivalent wahrgenommen. Positive Aspekte wie Ressourcen-Schonung durch digitale Alternativen zu analogen Prozessen stehen konträr zum steigenden Energiehunger unserer digitalen Welt.

Die Lösung ist, die Wertschöpfung „Rechenzentrum“ als Herzkammer der deutschen Wirtschaft und Zukunftsträger, vom Energieverbrauch zu entkoppeln und den Nachhaltigkeitsgedanken sowohl organisatorisch als auch technologisch konsequent in Rechenzentren zu verankern – ohne die positiven Effekte einer digitalen Welt einzuschränken.

Gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft konnte ein praxisnaher Leitfaden entwickelt werden, um eine Nachhaltigkeitssteigerung zu erreichen und Betreiber und Entscheider das komplexe Thema „Nachhaltigkeit & Rechenzentrum“ strukturiert näherzubringen.

Praxistauglichkeit und Verständlichkeit war ein zentrales Zielkriterium des Forschungsprojektes, da Rechenzentren verschiedene Fachrichtungen vereinigen und eine breite Wissensbasis aller Parteien eine Grundvoraussetzung ist, um Veränderungen umsetzen zu können.



Prof. Dr. Radgen  
Projektleitung Nachhaltige Rechenzentren  
IER, Universität Stuttgart



# Begriffserklärung

# Nachhaltigkeit

## ÖKOLOGISCH, ÖKONOMISCH UND SOZIAL TRAGFÄHIG

Nachhaltiges Handeln entspricht einer Handlungsweise, die dauerhaft betrieben werden kann, weil sie ökologisch, ökonomisch und sozial tragfähig ist. Ökologisch heißt, die Natur nur in dem Maße zu nutzen, dass sie nicht zerstört wird. Ökonomisch heißt, wirtschaftlich nicht über unsere Verhältnisse zu leben, da dies zwangsläufig zu einer schlechteren Ausgangslage für die folgenden Generationen führt. Sozial heißt, dass alle Menschen, auch unsere Nachkommen, dieselben Chancen und Möglichkeiten und denselben Zugang zu den natürlichen Ressourcen haben sollen.

Im Jahr 2015 haben die Vereinten Nationen bei ihrem Gipfeltreffen in New York die sogenannte Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung beschlossen. Erstmals konnte man sich auf feste Ziele einigen. Die 17 Nachhaltigkeitsziele werden auch als „Sustainable Development Goals“, kurz SDGs, bezeichnet. Zu den SDGs zählen unter anderem die Beseitigung von Hunger und Armut sowie die weltweite Versorgung mit sauberer Energie.

## SDG 13 MASSNAHMEN ZUM KLIMASCHUTZ



Der Klimawandel und der Schutz des globalen Klimas stellt eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts dar. Deutschland ist Vorreiter im Bereich Energiewende und kann diese Rolle im Sinne der nachhaltigen Entwicklung weltweit weiter stärken. Nachhaltige Rechenzentren können sich an den Maßnahmen zum Klimaschutz wirksam durch die Reduzierung ihres CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks beteiligen.

## SDG 9 INDUSTRIE, INNOVATION UND INFRASTRUKTUR



Investitionen in Infrastruktur und Innovation sind entscheidende Triebkräfte für Wirtschaftswachstum und Entwicklung. Umwelt-effiziente Maßnahmen können dazu beitragen, unsere Lebens- und Arbeitswelt nachhaltig zu verbessern. Dazu zählt auch zwangsläufig der Ausbau des Internets, denn für die Förderung von Innovation und Unternehmertum ist der Zugang zu Informationen und Wissen elementar.

## SDG 7 BEZAHLBARE UND SAUBERE ENERGIE



Ohne Energie ist Entwicklung nicht möglich. Die Weltgemeinschaft steht vor einer großen Herausforderung: Der weltweite Energieverbrauch muss insgesamt sinken und erneuerbare Energiequellen müssen noch viel intensiver genutzt werden, als bisher. Beispielsweise, wenn Rechenzentren mit Strom aus erneuerbaren Energien beliefert werden und die Abwärme der Zentren sinnvoll genutzt wird.

# Ökonomische, ökologische und soziale Relevanz

Im Bereich der Rechenzentren sind in Deutschland ca. 130.000 Personen beschäftigt. Darüber hinaus sind 85.000 weitere Arbeitsplätze direkt von Rechenzentren abhängig.

Rechenzentren bieten sowohl hochqualifizierten Fachkräften als auch Arbeitnehmern mit einer breiten Vielfalt anderer Qualifikationen einen zukunftssicheren Arbeitsplatz. Rechenzentren sind technologischer Ursprung der Digitalisierung und leisten einen Beitrag zur Qualifikation von digital-kompetentem Fachpersonal. Neben der sozialen Verantwortung im Inland kommt den Rechenzentren auch eine internationale soziale und ökologische Verantwortung zu, da für die Herstellung der IT-Hardware umfangreiche Mengen, auch seltener Rohstoffe, meist in ärmeren Ländern gewonnen werden müssen. Entsprechende Anforderungen sollten deshalb im Beschaffungsprozess klar formuliert werden.

Die Investitionen in die Rechenzentrumsinfrastruktur in Deutschland liegt seit 2016 bei jährlich über 1 Milliarde Euro. Die zusätzlichen Investitionen in IT-Hardware lagen 2016 bei 7,3 Mrd. Euro. Der europäische Bedarf an Rechenzentrumsfläche wurde 2015 mit einem Marktanteil von 25 % aus Deutschland gedeckt. Die Abhängigkeit von digitalen Produkten und Dienstleistungen trifft immer mehr Unternehmen und Branchen. Datensouveränität als Baustein einer starken nationalen IT-Branche ist nicht nur die Basis einer offenen und freien Gesellschaft, sondern auch für Unternehmen unerlässlich, die im Spannungsfeld nationaler und internationaler gesetzlicher Regelungen bestehen müssen. Die langfristigen Möglichkeiten, in Baden-Württemberg Rechenzentren ökonomisch zu betreiben reduziert die

Abhängigkeit von Infrastrukturen, die einer anderen, insbesondere amerikanischen Rechtsprechung unterliegen und schafft Zukunftssicherheit für Unternehmen, die für ihre Geschäftsmodelle auf Rechtssicherheit und Datenschutz angewiesen sind.

## VORBILD BEI ENERGIEEFFIZIENZ UND NACHHALTIGKEIT

Im internationalen Vergleich zählen deutsche Rechenzentren zu den energieeffizientesten der Welt, und dies obwohl die klimatischen Bedingungen in vielen anderen Ländern günstiger sind. Dennoch liegt ihr Energieverbrauch in Deutschland bei ca. 12,4 TWh jährlich. Prognosen gehen derzeit davon aus, dass der Verbrauch im Jahr 2025 auf 16,3 TWh steigen wird. Um die Vorbildfunktion im Bereich der Energieeffizienz und Nachhaltigkeit dauerhaft zu erhalten, müssen die ökologischen Optimierungspotenziale identifiziert und erschlossen werden.

Rechenzentren in Deutschland:



> 200.000  
Arbeitsplätze



8,3 Mrd. €  
Investitionen jährlich



12,4 Mrd. kWh  
Energieverbrauch jährlich

(entspricht in etwa der Stromerzeugung von  
700 Windkraftanlagen à 5 MW)



01

Einführung:  
Indikatoren und  
Kennzahlen

## Indikatoren, Leistungskennzahlen oder Kennzahlen sind in allen Bereichen eines Rechenzentrums verfügbar. Eine Literaturübersicht ergab über 110 verschiedene Kennwerte.

Die Kennwerte reichen von Kennzahlen auf technischer Ebene wie der Rezirkulationsrate der Lüftungssysteme bis hin zu Kennzahlen der Organisationsebene wie dem Recyclinganteil der Hardware.

Der bekannteste Kennwert ist der PUE (Power Usage Effectiveness). PUE ist ein Maß für die Energieeffizienz der Rechenzentrums-Infrastruktur. Die Berechnung des PUE-Wertes wurde in der Norm DIN EN 50600-4-2 als das Verhältnis aus dem Energieverbrauch des Rechenzentrums zum Energieverbrauch der IT-Systeme festgelegt. Der PUE ermöglicht somit nur eine Beurteilung der Effizienz der Nicht-IT-Systeme und gibt keine Informationen über die Effizienz der IT-Hardware oder deren Nutzen.

Eine ganzheitliche Betrachtung der Nachhaltigkeit eines Rechenzentrums und deren Quantifizierung in einem Indikatorensystem benötigt verschiedene Kennzahlen aus den relevanten Bereichen. Um dies zu ermöglichen, wurden ein Indikatorenset basierend auf den drei Säulen der Nachhaltigkeit entwickelt. Dabei wurde darauf geachtet, soweit möglich, auf existierende Kennzahlen aufzubauen. Neben den Leistungsindikatoren wurden auch Standortindikatoren entwickelt, da eine Standortoptimierung Teil einer langfristigen und ganzheitlichen Optimierung ist.

Bemühungen, die Nachhaltigkeit von Rechenzentren zu steigern, können dokumentiert und auch zertifiziert werden. Diese Zertifizierungen können in der Kundenakquise als Differenzierungsmerkmal zur Konkurrenz eingesetzt werden und helfen, die Bemühungen und Maßnahmen öffentlichkeitswirksam zu kommunizieren. Im deutschsprachigen Raum vereint der „Blaue Engel“ für Rechenzentren die meisten Nachhaltigkeitsaspekte. Die Vergabekriterien wurden seit seiner Einführung 2011 mehrfach überarbeitet und fordern in den Vergabekriterien Stand 2019 unter anderem konkrete Mindestauslastungen von Servern und das Einhalten von Effizienzgrenzwerten von IT-Geräten im Leerlauf.

Das Bewertungsinstrumentarium der Leistungsbewertung, welches im Rahmen des Projektes entwickelt wurde, ist als Eigen-Benchmark zu verstehen und sollte nicht als Vergleichssystem mit anderen Rechenzentren gesehen werden. Die Heterogenität von Rechenzentren macht einen branchenübergreifenden Vergleich unmöglich, da Aspekte wie höhere Sicherheit und Verfügbarkeit auf Kosten von Effizienz erreicht werden.



# Ökonomische Indikatoren



## Rechenzentrum

Der Aspekt der ökonomischen Nachhaltigkeit eines Rechenzentrums lässt sich nicht auf drei Indikatoren reduzieren. Trotzdem können mit den folgenden Indikatoren die ökonomischen Aussichten abgeschätzt werden. Diese Kennzahlen helfen dabei, Kosteneinsparungen oder Effizienzpotenziale im Rechenzentrum zu identifizieren.

### INFRASTRUKTUREFFIZIENZ (PUE)

Die Strompreise für einen durchschnittlichen Industriekunden sind in Deutschland höher als in allen anderen EU-Staaten. Stromkosten machen für Rechenzentren über die Hälfte der Betriebskosten aus. Der Stromverbrauch ist somit neben ökologischen Belangen auch ökonomisch, vor allem für deutsche Rechenzentren, von zentraler Bedeutung. Der PUE (Power Usage Effectiveness) beschreibt das Verhältnis aus Stromverbrauch des gesamten Rechenzentrums zum Stromverbrauch der IT. Je geringer der PUE, umso geringer sind die Stromkosten, um das IT-System mit Energie zu versorgen.

### HARDWAREAUSLASTUNG (ITEU)

Ist ein Server eingeschaltet, wird aber nicht verwendet, verbraucht er trotzdem ca. 40 % seines Spitzenenergieverbrauchs. Das sind Energiekosten ohne wirtschaftlichen Nutzen. Die ITEU (IT Equipment Utilisation) bestimmt als Auslastungsmaß der Server, wie viel Prozent der IT-Kapazität im Schnitt genutzt wird.

### INFRASTRUKTURMANAGEMENT (DCIM)

DCIM (Data Center Infrastructure Management) ist keine Leistungskennzahl, sondern vielmehr eine Frage des Habens oder Nicht-Habens. DCIMs sind Systeme, die relevante Komponenten im Rechenzentrum überwachen oder sogar steuern und somit den Betreiber in die Lage versetzen, einen Überblick über die Energieverbraucher im Rechenzentrum zu bekommen. Frei nach Peter Drucker „Was man nicht messen kann, kann man nicht lenken/verbessern“.

$$PUE = \frac{\text{Energieverbrauch}_{\text{gesamt}}}{\text{Energieverbrauch}_{IT}}$$

## Standort

Der Standort ist nicht nur für den Einzelhandel ein entscheidender Faktor für ökonomischen Erfolg. Auch für Rechenzentren ist der Standort eine Einflussgröße, die zu berücksichtigen ist. Folgende drei Faktoren beeinflussen die Eignung eines Rechenzentrumstandorts.

### STROMPREIS

Die Liberalisierung des Strommarktes im Jahr 1998 reduzierte die innerdeutschen Strompreisunterschiede, da der Stromanbieter jetzt frei gewählt werden konnte. Im europäischen Vergleich zählt Deutschland zwar zu den teuersten Stromländern, dennoch gibt es auf Gemeindeebene relevante Preisunterschiede. Diese basieren auf den unterschiedlichen Netzentgelten und können in Baden-Württemberg einen Preisunterschied von 2,79 ct/kWh bedeuten. Bei einem Betriebskostenanteil von 50 % können selbst kleine Unterschiede im Strompreis signifikante Einsparungen bedeuten.

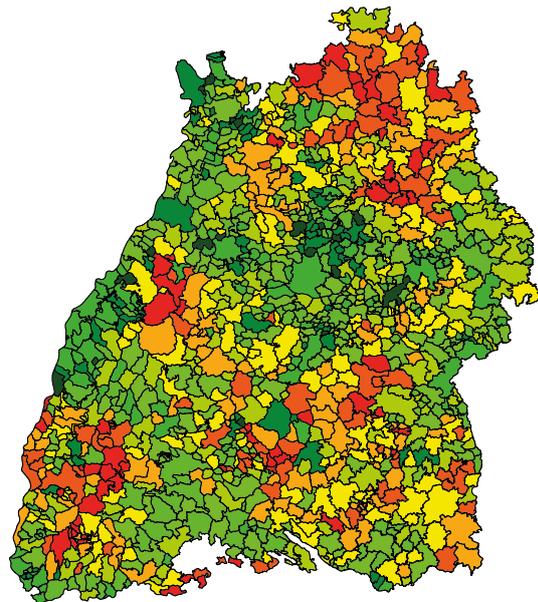
### BREITBANDVERFÜGBARKEIT

Der Zugang zu einem Glasfasernetz mit ausreichender Bandbreite ist für Rechenzentren eine essentielle Infrastruktur, die häufig redundant vorhanden sein muss. Die Verfügbarkeit dieser Infrastruktur unterscheidet sich innerhalb von Baden-Württemberg jedoch stark. Digital gut erschlossene Gebiete sind für eine wachsende Anzahl von Branchen ein wichtiger Faktor. Für Rechenzentren sind sie so relevant, dass sie zu einem Ausschlusskriterium werden.

### STEUERN

Über den Hebesatz der Gewerbesteuer unterscheidet sich die Steuerlast eines Unternehmens abhängig davon, in welcher Gemeinde es sich befindet. Der höchste Hebesatz in Baden-Württemberg liegt bei 450 % der niedrigste bei 265 %.

Ökonomische Standortbewertung  
(relative Bewertung in 20% Schritten)



Die Abbildung zeigt die ökonomische Standortbewertung. Die Eignung bezieht sich auf die Summe der drei erwähnten Faktoren und ihrer Einschätzung relativ zu den anderen Gemeinden in Baden-Württemberg.

- sehr geringe Eignung
- geringe Eignung
- mittlere Eignung
- gute Eignung
- sehr gute Eignung

# Ökologische Indikatoren



## Rechenzentrum

Der Aspekt der ökologischen Nachhaltigkeit eines Rechenzentrums umfasst eine Vielzahl von Faktoren, die einen Einfluss auf die lokale Umgebung bis hin zu Einflüssen auf das globale Klima haben. Für Rechenzentren sind neben anderen Indikatoren folgende drei essentiell für die ökologische Nachhaltigkeit.

### ANTEIL ERNEUERBARER ENERGIE (REF)

Rechenzentren benötigen große Mengen an elektrischer Energie. Aus welchen Quellen diese Energie kommt ist für die Nachhaltigkeit entscheidend. Der REF (Renewable Energy Factor) gibt an, wie groß der Anteil an erneuerbarer Energie im Strombezug eines Rechenzentrums ist. Große Abnehmer von Strom können sogar über sog. Power-Purchase-Agreements (PPA) erneuerbare Energie direkt lokal beziehen. Erneuerbare Energie lässt sich jedoch auch einfach über den Stromanbieter beziehen. Handelt es sich nicht um Grünstrom, verursacht jede kWh Strom im Mittel 474 Gramm Kohlendioxid (Stand 2018).

### ABWÄRMENUTZUNGSANTEIL (ERF)

Thermodynamisch betrachtet wandelt ein Rechenzentrum primär nur elektrischen Strom in Wärme um. Diese Wärme muss aus dem Rechenzentrum entfernt werden, um ein Überhitzen der Server zu verhindern. Doch Wärme wird vielerorts benötigt und die Abwärme eines Rechenzentrums kann als Quelle genutzt werden. Der ERF (Energy Reuse Factor) weist den Anteil der verwendeten Wärme im Verhältnis zum Stromverbrauch der IT aus und gibt somit einen Hinweis darauf wie nachhaltig das „Abfallprodukt“ Wärme genutzt wird.

### MRECYCLINGANTEIL (MRR)

Die durchschnittliche Nutzungsdauer eines Servers liegt bei drei Jahren. Danach wird das Gerät getauscht. Als rohstoffintensive Halbleitertechnik ist der Umgang mit Altgeräten aus Rechenzentren somit ökologisch höchst relevant. Häufig wäre eine Weiterverwendung von Teilkomponenten oder Gesamtsystemen an anderer Stelle möglich. Die Entscheidung darüber liegt beim Rechenzentrumsbetreiber, wird häufig aber aus Sorge um Unternehmensdaten auf den Geräten zu Ungunsten der Wiederverwendung getroffen. Die Zerstörung ist häufig die bevorzugte Art der Entsorgung. Die MRR (Material Recycling Rule) gibt an, welchen Freiheitsgrad ein Entsorger im Umgang mit IT-Komponenten hat und bewertet somit den Grad der nachhaltigen Nutzung.

Deutschland produziert  
jährlich 1,7 Millionen Tonnen  
Elektroschrott –  
darunter auch Komponenten  
aus Rechenzentren



## Standort

Neben dem Betrieb hat der Standort eines Rechenzentrums Einfluss auf die ökologische Nachhaltigkeit.

### UMGEBUNGSTEMPERATUR

Ab einer bestimmten Grenztemperatur (üblicherweise 21°C) lassen sich Rechenzentren nicht mehr alleine mit der effizienten freien Kühlung betreiben. Dann muss Kompressionskälte eingesetzt werden, welche zuverlässig, aber unter hohem Energieaufwand ein Rechenzentrum mit Kälte versorgt. Temperaturunterschiede in Baden-Württemberg bedeuten somit, dass an einem guten Standort die freie Kühlung über 1.000 Stunden länger im Jahr betrieben werden kann als an einem schlechten Standort. Neben Energie für die Kühlung werden auch Kosten eingespart.

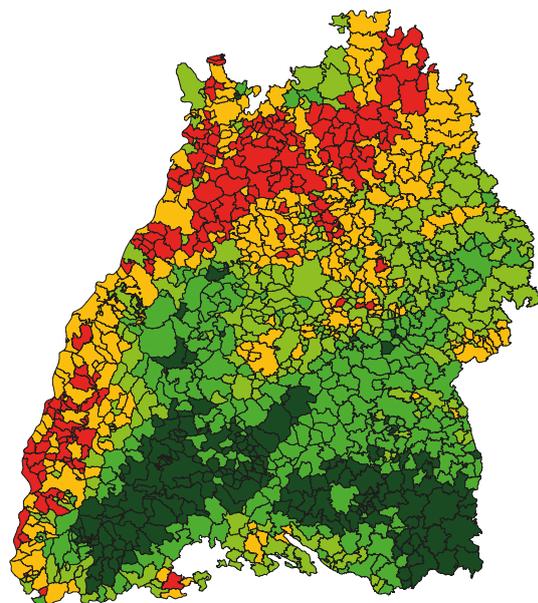
### WÄRMEABNEHMER

Um die Abwärme aus einem Rechenzentrum zu nutzen, muss ein räumlich naher Wärmeabnehmer gefunden werden, welcher die Wärme möglichst ganzjährig benötigt und nutzen kann. Dies können Heizungen für Wohnhäuser, aber auch Anwendungen in Gewerbe, Handel oder öffentlichen Einrichtungen wie z. B. Schwimmbäder oder Gartenbaubetriebe sein.

### WÄRMESENKEN

Grundwasser und fließende Gewässer können als Wärmesenken für die Kühlung eingesetzt werden. Die Temperatur von Flüssen ist niedriger als die umgebende Lufttemperatur und lässt somit technisch in Baden-Württemberg nahezu ganzjährig eine Kühlung ohne Einsatz von Kältemaschinen zu. In Frankreich wird diese Art der Kühlung bereits für Rechenzentren eingesetzt. Aufgrund der komplexen Rechtslage wird dieses Potenzial in Baden-Württemberg noch nicht genutzt.

Ökologische Standortbewertung  
(relative Bewertung in 20% Schritten)



Die Abbildung zeigt die ökologische Standortbewertung. Die Eignung bezieht sich auf die Summe der drei erwähnten Faktoren und ihrer Einschätzung relativ zu den anderen Gemeinden in Baden-Württemberg.

- sehr geringe Eignung
- geringe Eignung
- mittlere Eignung
- gute Eignung
- sehr gute Eignung

# Soziale Indikatoren



## Rechenzentrum

Die dritte Säule der Nachhaltigkeit besteht aus der sozialen Nachhaltigkeit. Der Aspekt der sozialen Nachhaltigkeit hat sowohl eine lokale als auch eine internationale Komponente. Durch die internationalen Produktketten, insbesondere für IT-Hardware, erstreckt sich soziale Nachhaltigkeit von Rechenzentren auch auf die Länder, in denen z. B. seltene Erden abgebaut werden, beispielsweise im Kongo.

### MITARBEITERZUFRIEDENHEIT

Die Mitarbeiterzufriedenheit (Staff Moral, SM) ist besonders für moderne Arbeitsplätze eine wichtige Komponente eines sozial nachhaltigen Betriebs. Allerdings ist eine genaue und zuverlässige Erhebung schwierig.

### WEITERBILDUNGSRATE

Die IT-Branche verändert und entwickelt sich schneller als jede andere Branche. Die Qualifizierung und Weiterbildung der eigenen Mitarbeiter ist somit entscheidend für den langfristigen wirtschaftlichen Erfolg. Die Kenntnisse und Fähigkeiten des eigenen Personals zu stärken sichert auch langfristig die Arbeitsplätze der Mitarbeiter. Die Weiterbildungsrate (Further Education Ratio, FER) gibt an, wie viele Weiterbildungstage pro Jahr jeder Mitarbeiter im Durchschnitt erhält.

### VERFÜGBARKEIT VON AUSBILDUNGSPLÄTZEN

Der Fachkräftemangel beschäftigt die IT-Branche seit einigen Jahren. Besonders im Bereich des Rechenzentrums wird qualifiziertes Personal gesucht, jedoch selten selbst ausgebildet. Teil der sozialen Nachhaltigkeit ist, durch Ausbildung den Fachkräftemangel in Baden-Württemberg abzubauen. Das Verhältnis aus aktuellen Mitarbeitern, die im eigenen ausgebildet wurden / werden zur Gesamtanzahl der Mitarbeiter, kann hier als Leitwert herangezogen werden.

### KONFLIKTFREIE ROHSTOFFE

Die Rohstoffgewinnung für Halbleiterprodukte steht in der Kritik, bewaffnete Konflikte in den Ursprungsländern der Rohstoffe zu finanzieren (z. B. Kongo). Auf internationaler Ebene werden Anstrengungen unternommen, die Konfliktfreiheit verschiedener Ausgangsrohstoffe zu garantieren. Als Teil eines sozial nachhaltigen Einkaufs sollten Rechenzentrumsbetreiber auf entsprechende Zertifizierungen bei der Beschaffung von IT-Hardware achten.

### SOZIALE STANDARDS BEI DER HARDWARE-HERSTELLUNG

Auch die Herstellung und Verarbeitung von IT-Komponenten erfolgt meist außerhalb der deutschen / europäischen Einflussgebiete. Internationale Standards (wie z. B. SA8000) bieten Einkäufern die Möglichkeit, die Einhaltung von Sozialstandards für Arbeiter in den Produktionsketten zu prüfen / einzufordern, beispielsweise den Verzicht auf Kinderarbeit. Auch diese Aspekte sollten für einen sozial-nachhaltigen Einkauf von IT-Hardware berücksichtigt werden.

## Standort

Rechenzentren sind, wie jedes Unternehmen, Teil des sozialen-wirtschaftlichen Gefüges. Entsprechend müssen auch sozial bezogene Standortfaktoren bei einer Standortwahl berücksichtigt werden. Für die Bewertung der sozialen Nachhaltigkeit eines Standorts sind hier insbesondere die folgenden Indikatoren von Bedeutung:

### VERKEHRSANBINDUNG

Sowohl für die Mitarbeiter eines Rechenzentrums als auch die Kunden und Serviceunternehmen ist die schnelle und einfache Erreichbarkeit ein wichtiger sozialer Aspekt. Steigende Fahrtzeiten zum Arbeitsplatz (derzeit im Schnitt 44 Minuten pro Tag) führen zu mehr Unfällen und weniger Freizeit für Mitarbeiter. Infrastrukturell gut erschlossene Gebiete weisen neben kürzeren Arbeitswegen meist auch einen besser ausgebauten öffentlichen Personennahverkehr auf.

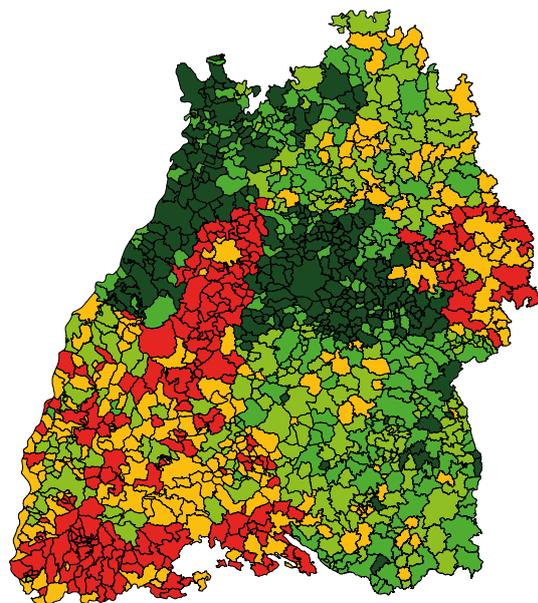
### FACHPERSONAL

Die Rechenzentrumsbranche ist auf branchenspezifisch ausgebildetes Fachpersonal angewiesen, unter anderem: Fachinformatiker, Systemadministratoren, Systemintegratoren, aber auch Elektriker sowie Kälte- und Klimatechniker, die den Betrieb des Rechenzentrums gewährleisten. Die Verfügbarkeit dieses Fachpersonals ist ortsabhängig und kann sich, basierend auf lokaler Unternehmens-Hochschul- und Universitätslandschaft stark unterscheiden. Standorte mit hohem Fachkräftepotenzial können leichter Fachkräfte gewinnen. Diese müssen dafür seltener ihr soziales Umfeld wechseln.

### KUNDENNÄHE

Für Unternehmensrechenzentren ist der Kunde das eigene Unternehmen. Colocation und Cloud-Rechenzentren bieten ihre Leistungen externen Kunden an. Die räumliche Nähe zum Kunden bedeutet geringere Latenzzeiten bei der Datenverarbeitung. Räumliche Nähe hat darüber hinaus auch soziale Vorteile. Kundentermine sind mit weniger Reiseaufwand verbunden und kürzere Wege ermöglichen Synergieeffekte zwischen Anwender und Betreiber. Zudem wird die Nutzung von Shared Services vereinfacht.

Soziale Standortbewertung  
(relative Bewertung in 20% Schritten)

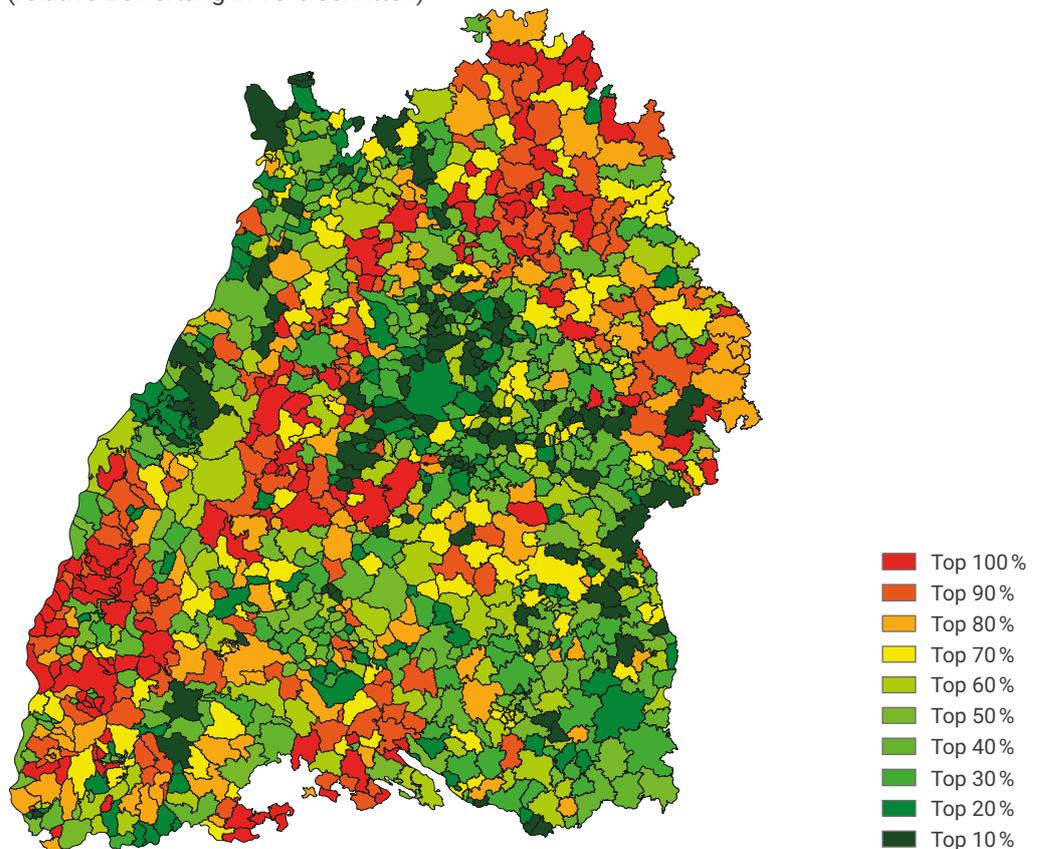


Die Abbildung zeigt die soziale Standortbewertung. Die Eignung bezieht sich auf die Summe der drei erwähnten Faktoren und ihrer Einschätzung relativ zu den anderen Gemeinden in Baden-Württemberg.

- sehr geringe Eignung
- geringe Eignung
- mittlere Eignung
- gute Eignung
- sehr gute Eignung

# Gesamtbewertung der Standorte in Baden-Württemberg

Gesamtbewertung der Standorte in Baden-Württemberg  
(relative Bewertung in 10% Schritten)



Werden die drei Aspekte der Nachhaltigkeit (Ökonomisch, Ökologisch und Sozial) der Standorte in Baden-Württemberg in gleicher Gewichtung zusammengezählt ergibt sich eine Gesamtbewertung der Standortnachhaltigkeit. In der Abbildung sehen Sie das Ergebnis dieser Gesamtbewertung relativ zueinander farblich markiert. Das heißt die besten 10 % der Standorte sind dunkelgrün und jeder Schritt in das rote Farbspektrum schließt weiter 10 % der Rangliste ein. Je nach Anforderungsprofil an das Rechenzentrum

fällt die Standortentscheidung jedoch für jedes Rechenzentrum anders aus. Zu den besten Standorten für Rechenzentren zählen die Städte Mannheim und Ulm sowie die umgebenden Gemeinden der Landeshauptstadt Stuttgart. Eine ausführliche Erklärung zum Standortbewertungssystem und den Leistungsindikatoren können Sie dem Abschlussbericht EcoRZ entnehmen. Ein Tool zur Bewertung Ihres Rechenzentrums und des Standorts steht als Download auf der Projektwebsite zur Verfügung.

# Interview

## Rechenzentren aus der Sicht der Rechenzentrumsbetreiber

Interview mit Jens Peter Müller,  
Landesleiter Deutschland Keppel Data Centers

### Herr Müller, welche Bedeutung hat der Rechenzentrumsstandort Deutschland für Ihr Unternehmen?

Frankfurt ist für die meisten internationalen Colocation-Anbieter wie Keppel Datacenters einer von 5 Hub-Lokationen in Europa, an denen man aus strategischen Gründen vertreten sein muss (sog. FLAPD-Markets = Frankfurt, London, Amsterdam, Paris, Dublin). Diese zeichnen sich durch eine hohe Netzwerkdichte, den Finanzplatz-Status und eine große Ansiedlung von europäischen Enterprise Headquarters aus. Zudem spielen diese Standorte auch in der Nutzer-Abdeckung der Cloud-Giganten wie Amazon, Facebook, Microsoft etc. eine bedeutende Rolle, die das Marktwachstum befeuern.

### Welche Rolle spielt der nachhaltige und umweltfreundliche Betrieb für Ihre Kunden?

Kunden fragen mehr denn je ein nachhaltiges und klimaneutrales Betreibermodell beim RZ-Provider an (Mindestanforderung = Nutzung von 100 % Grünstrom) – schon um damit ihre eigene Umweltbilanz aufzubessern, denn die Energie wird ja beim Geschäftsmodell Colokation in erster Linie von der IT-Hardware des Kunden verbraucht. Neben diesen zertifikatbasierten Bezugsnachweisen für den Strom spielt aber natürlich auch der energieeffiziente Betrieb der Peripherie wie Kühlung und USV durch den Provider eine Rolle, der sich in den Energiegesamtkosten für den Kunden und der Umweltbilanz für den Provider niederschlägt

(Stichwort Power Usage Effectiveness (PUE)-Optimierung). Schließlich fällt auch bei einem weitgehend optimalen PUE noch Abwärme als „Abfall“ des RZ-Betriebs an, die idealerweise für andere Zwecke genutzt werden kann.

### Gibt es in Ihrem Unternehmen derzeit Überlegungen zur Abwärmenutzung aus dem Rechenzentrum? Was müsste passieren, damit die Abwärmenutzung für Sie attraktiver wäre?

Im kleineren Maßstab wird die Abwärme an unserem Frankfurter Standort bereits genutzt, um damit die Büros zu heizen, allerdings bleibt der Großteil der Abwärme – wie bei nahezu allen Wettbewerbern auch – mangels nahegelegener, geeigneter Großabnehmer wie z. B. Schwimmbäder ungenutzt. Auch fehlt es in Deutschland an den allermeisten Standorten leider an Fernwärmenetzen, in die die Betreiber ihre Abwärme einspeisen könnten.

Um die Abwärmenutzung attraktiver zu machen müssten die beiden größten heutigen Probleme beseitigt werden:

- Fehlender finanzieller Anreiz, das geringe Temperaturniveau der Abwärme von rund 35 auf 70 °C zu erhöhen und damit „transportfähig“ zu machen (Strom für Wärmepumpen ist auch mit EEG-Umlage und anderen Abgaben belegt).
- Umgekehrter „Anschluss- und Benutzungszwang“ für Fernwärmenetze – d. h. Pflicht des Netzbetreibers zur ggf. kostenfreien Abnahme der Abwärme vom RZ-Betreiber an der „Haustür“.



02

Analyse der  
Rechenzentrenlandschaft  
in Baden-Württemberg



## Eine Datenanalyse des Betriebs verschiedener Rechenzentren in Baden-Württemberg liefert Aufschluss über den Einsatz nachhaltiger Technologien und Praktiken und zeigt mögliche Entwicklungstrends auf.

Die Bereitschaft zum nachhaltigen, grünen Betrieb der Rechenzentren in Baden-Württemberg ist auf Seiten der Verantwortlichen in einigen Bereichen durchaus erkennbar. Die Analyse ergab, dass vor allem im industriellen Umfeld, wo ein energieschonender Betrieb ebenfalls im ökonomischen Interesse liegt, State-of-the-Art-Technologien wie Rack-Einhausungen oder Nutzung freier Kühlung in neueren Rechenzentren nahezu immer vorhanden sind. Ebenfalls gaben viele Betreiber an, ihren Strombedarf zu 100% mit Ökostrom zu decken, wobei meist jedoch keine Aussage über dahinterstehende Zertifikate gemacht wurden. Gründe für die Ökostromnutzung über Zertifikate stehen stets im Zusammenhang mit dem gewünschten Unternehmensimage bei gleichzeitiger einfacher unbürokratischer Umsetzung oder einem gewünschtem Beitrag zum Umweltschutz.

Auf der anderen Seite zeigte sich, dass viele kleinere Rechenzentren, oft aus dem öffentlichen Sektor, häufig energieeffiziente Maßnahmen im Betrieb nicht einsetzen. Gründe dafür liegen in beschränkten finanziellen Ressourcen und dem Problem der verschiedenen Haushaltbudgets und Verantwortlichkeiten für Gebäudebetrieb und Gebäudeunterhalt, was energieeffiziente, teurere Bauvorhaben auf der einen und niedrigere Betriebskosten auf der anderen Seite betrifft.

Aus der Analyse ergab sich weiterhin ein erkennbarer Trend zur Verschiebung der IT-Infrastruktur bei mittelständischen Unternehmen aus selbst betriebenen kleinen Rechenzentren hin zu großen Rechenzentren aus dem Cloud- bzw. Colocation-Bereich. Ebenfalls zeigt sich in der Analyse, dass große industrielle Colocation-Betreiber (Leistungsaufnahme > 10 MW) Standorte im Großraum Frankfurt am Main gegenüber Standorten in Baden-Württemberg bevorzugen. Grund dafür dürfte die nahtlose Anbindung und die vorhandene Infrastruktur am Internetknoten DeCix in Frankfurt sein. Schließlich muss konstatiert werden, dass eine Nutzung der Abwärme aus Rechenzentren bis auf wenige Ausnahmefälle nicht gegeben ist.

Neben der weiter fortschreitenden Zentralisierung in Richtung größerer Rechenzentren wird ebenfalls mit dem Aufkommen dezentral verteilter Kleinst-Rechenzentren gerechnet. Für Baden-Württemberg relevante Anwendungsfälle in diesem Bereich sind das „autonome Fahren“, „Industrie 4.0“ oder die „Smart City“.

# Hemmnisse und Optionen auf IT-Seite

## PROBLEME UND MÖGLICHKEITEN DER VERBESSERUNG

Um einen nachhaltigen, energieeffizienten und performanten Betrieb der IT-Infrastruktur heute und morgen gewährleisten zu können, sollte sich der Administrator oder Techniker sowohl über typische Probleme und Hemmnisse im heutigen Betrieb als auch über mögliche Zukunftsoptionen im Klaren sein.

## PROBLEMFELDER TYPISCHER BESTANDSRECHENZENTREN

- Die Effizienz von Servernetzteilen wird im Einkauf nicht berücksichtigt.
- Gruppierung von IT-Komponenten mit unterschiedlichen Wärmelastgrenzen in Racks, was zu einer Minderung der Kühleffizienz führt.
- Falls vorhanden, nicht „smarte“ und damit verbunden nicht energieeffiziente Nutzung von Virtualisierungskonzepten.
- Geringe Serverauslastung.
- Nutzung einer ineffizienten Speicherhierarchie, z. B. kein effizientes Management über Software und keine sinnvolle Aufteilung der Daten auf verschiedene Speichermedien (SSDs, HDDs und Magnetbänder).
- Wahl zu niedriger Einlass-Temperaturen aus Angst bzw. konservativem Denken.
- „Zombie-Server“ werden nicht abgeschaltet oder entfernt.
- Rudimentäre Überwachung der IT-Infrastruktur.

## HEUTIGE UND ZUKÜNFTIGE VERBESSERUNGSOPTIONEN

- Teil- oder vollautomatisierter Einsatz von Virtualisierungskonzepten wie flexible Anpassung der virtualisierten Komponenten an die Last oder Hochverfügbarkeit der Applikation.
- Teil- oder vollautomatisierte Konsolidierung virtueller Server unter Berücksichtigung eines ausbalancierten Verhältnisses von Energieeffizienz und Leistungsfähigkeit.
- Softwaregestütztes, automatisiertes Management der gespeicherten Daten mit potenzieller Unterstützung eines Data-Analytics-Engine oder einer KI-Anwendung.
- Speicherung der Daten mit ausbalanciertem Energie-Performanz-Verhältnis auf verschiedene Speichermedien (SSDs, HDDs, Magnetbänder).
- Vollumfassende Überwachung der IT-Infrastruktur und Inkenntnissetzung in Störfällen (z. B. Anomalien im Netzwerk, Überlastungen einzelner Server, Lokalisierung von Zombie-Servern).
- Größtmögliche Auswahl neuer IT-Komponenten aus Pool energieeffizient zertifizierter Hardware.
- Refurbishment überholter Komponenten nach Durchführung zertifizierter u. U. DSGVO-konformer Datenlöschverfahren.



# Hemmnisse und Optionen auf Infrastruktur-Seite

## EFFIZIENTE KÜHLUNG UND STROMVERSORGUNG

Um einen nachhaltigen, energieeffizienten und performanten Betrieb der Kühlung und Stromversorgung heute und morgen gewährleisten zu können, sollte sich der Rechenzentrumsbetreiber bzw. Infrastruktur-Verantwortliche sowohl über typische Probleme und Hemmnisse im heutigen Betrieb als auch über mögliche Zukunftsoptionen im Klaren sein.

## PROBLEMFELDER TYPISCHER BESTANDSRECHENZENTREN

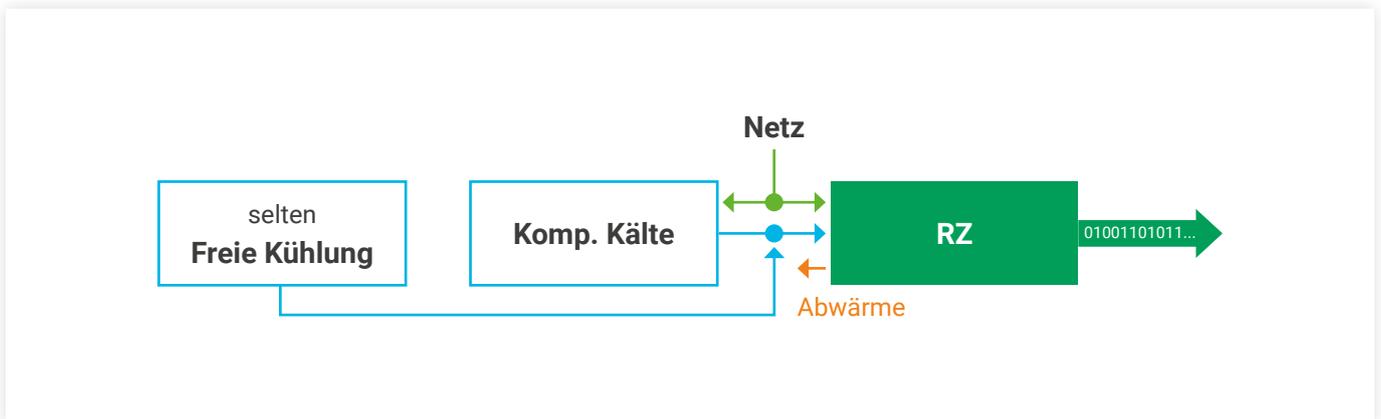
- Zuluft-Temperaturen liegen häufig weit unterhalb der zulässigen Temperatur – damit weniger freie Kühlstunden.
- Ineffiziente raumbasierte Kühlverfahren führen zu thermischen Hotspots, keine saubere Kalt-Warmluft-Trennung.
- In manchen Racks werden IT-Komponenten mit unterschiedlichen Wärmelastgrenzen gruppiert, was zu einer Minderung der Kühl-effizienz führt.
- Abwärmenutzung wird unter anderem aus technischen Gründen (niedrige Rücklauftemperaturen), ökonomischen (hohe Betriebskosten für mögliche Wärmepumpen) und regulatorischen Gründen (keine zugesicherte Abnahme der Abwärme) noch nicht mit berücksichtigt, vorhandene Potenziale werden dadurch nicht erkannt und erschlossen.
- Der CO<sub>2</sub>-Footprint des genutzten Stroms ist hoch, da die Stromversorgung aus konventioneller Erzeugung stammt.

## VERBESSERUNGSOPTIONEN

- Deckung des Strombedarfs über Ökostrom-einkauf (Power Purchase Agreements mit Wind, PV oder Wasserkraft Energieanlagen).
- Bedarfsgerecht dimensionierte USV Leistungsgrößen mit aktivem Management, effiziente PDUs und PSUs steigert die Effizienz der Stromversorgung.
- Verbesserte Lüftungs- und Klimatechnik-Komponenten mit höherer Wärmetauscherleistung und Rückkühlerleistung, was zu erhöhter Wärmeübertragungseffizienz zwischen Außentemperatur und Server-Zulufttemperatur führt.
- Die Kaltluftverteilung unter Verwendung eines Doppelbodens mit zentralem Kühlsystem mit CRAH (Computer Room Air Handler) anstatt CRAC (Computer Room Air Conditioner) im Serverraum. Verwendung eines vollständig geführten Kaltgangs und eines lokal geführten Warmgangs wird dringend für RZs mit einer Gesamtleistung von mehr als 50 kW und einer Rackleistung von mehr als 6 kW empfohlen.
- Nutzung Freier Kühlung bis zu 20 °C Außenlufttemperatur (durch einen Rückkühler) und zusätzlich einer Kompressionskältemaschine für Sommerzeiten.
- Alternativ könnte, wenn die politischen und regulatorischen Bedingungen hierfür vorliegen, die Kompressionskältemaschine durch eine Wärmepumpe ersetzt und die thermisch aufgewertete Abwärme in das Heizungsnetz eingespeist werden.
- Erhöhung der Ein- und Ausgangstemperaturen in den Servern durch Umstellung auf wassergekühlte IT-Komponenten würden die Energieeffizienz weiter steigern und ermöglichen erhöhte freie Kühlung oder direkte nutzbare Abwärme.

# Gegenüberstellung Rechenzentren gestern, heute und morgen

## Bestandsrechenzentrum



### STECKBRIEF

#### ENERGIE-INFRASTRUKTUR

- IT-Leistung 200 kW
- Kompressionskühlung
- Power Usage Effectiveness PUE = 1,7
- Serverzuluft 20 °C, Serverabluft 35 °C

#### ENERGIEQUELLEN UND ABWÄRMENUTZUNG

- Verwendung des deutschen Strommix
- keine Abwärmennutzung (ERF = 0)

#### IT-TECHNOLOGIEN

- simple Virtualisierungstechniken ohne Automatisierung
- Speicherhierarchie und -medien konventionell und unflexibel

### BEWERTUNG UND INDIKATOREN



#### ÖKONOMISCHE BEWERTUNG

- niedriger Invest ++
- hohe Betriebskosten --
- geringe Serverauslastung --



#### ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG

- Energiebedarf hoch, CO<sub>2</sub>-Anteil hoch --
- keine Abwärmennutzung --



#### SOZIALE BEWERTUNG

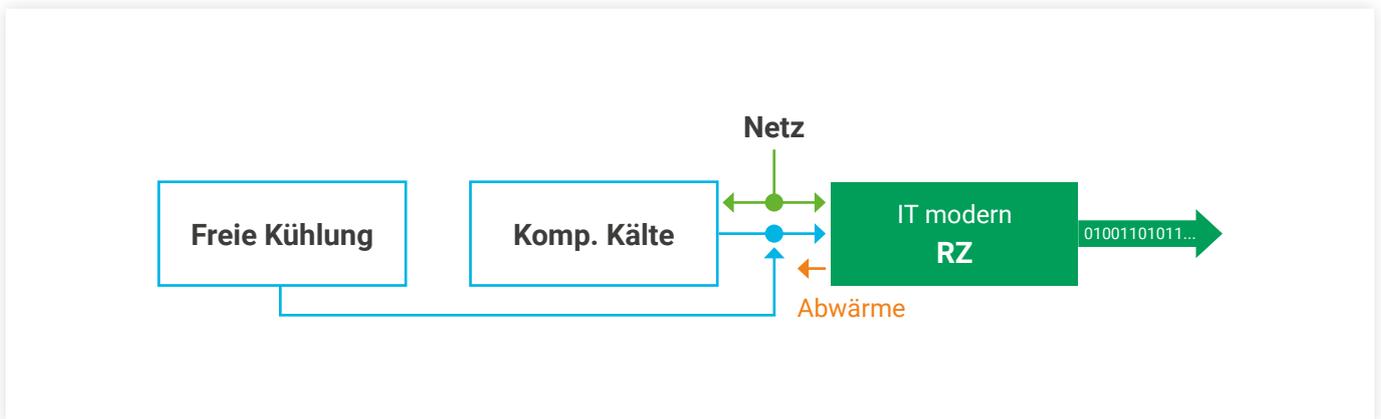
- keine Beschaffungsrichtlinien --
- keine Ausbildungsplätze --
- keine Fortbildungspläne für Mitarbeiter --

++ (sehr gut) + (gut) +/- (neutral) - (schlecht) -- (sehr schlecht)

Die Wertschöpfung von Rechenzentren erfolgt über die IT-Dienstleistung. Betriebssicherheit hat eine hohe Priorität und Energiekosten spielen eine untergeordnete Rolle. Dabei wird eine zeitweise geringe Serverauslastung toleriert, um in Spitzenzeiten Einschränkungen zu vermeiden. Ziel der folgenden Gegenüberstellung ist zu zeigen, wie durch Einsatz moderner Technologien, alternativer Energiebereitstellung und Abwärmenutzung der CO<sub>2</sub>-Footprint verringert und das Rechenzentrum systemdienlich eingesetzt werden kann. Als Beispiel dient ein typisches Rechenzentrum mittlerer Größe mit einer elektrischen Leistung von 200 kW. Ein Bestandsrechenzentrum dieser Größe wird im besten Fall mit einer Kombination aus

freier Kühlung und einer Kompressionskältemaschine gekühlt. Häufig wird die freie Kühlung nicht genutzt, obwohl diese in unseren Breiten für 75 % der Jahresstunden ausreichend ist. Eine Erhöhung des Anteils freier Kühlung kann erreicht werden durch IT-Komponenten, die einen höhere Zulufttemperatur erlauben. Die größten Hebel für die Nachhaltigkeit eines Rechenzentrums bestehen in der Nutzung von Elektrizität aus erneuerbaren Energien, in der Abwärmenutzung, dem Einsatz von effizienten IT-Komponenten und IT-Lösungen, der stetigen hohen Auslastung der Komponenten bzw. dem Vermeiden der Überdimensionierung von Rechenzentren.

## Modernes Rechenzentrum



### STECKBRIEF

#### ENERGIE-INFRASTRUKTUR

- IT-Leistung 200 kW
- freie Kühlung und Kompressionskühlung
- Power Usage Effectiveness PUE = 1,3
- Zuluft 25 °C, Abluft 40 °C, Einhausung

#### ENERGIEQUELLEN UND ABWÄRMENUTZUNG

- Nutzung von Ökostrom über Zertifikate
- keine oder geringe Abwärmenutzung für Büroheizung: ERF < 0,1

#### IT-TECHNOLOGIEN

- teilautomatisierte, intelligente Virtualisierungstechniken
- heterogene Speichermedien und software-gestützte Verwaltung
- VM-Konsolidierung, Abschalten von „Zombies“ in Rechenzentren

### BEWERTUNG UND INDIKATOREN



#### ÖKONOMISCHE BEWERTUNG

- moderater Invest +
- Betriebskosten reduziert -
- gesteigerte Serverauslastung +/-



#### ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG

- CO<sub>2</sub>-Anteil des RZ-Stroms bilanziell niedrig +
- keine Abwärmenutzung --

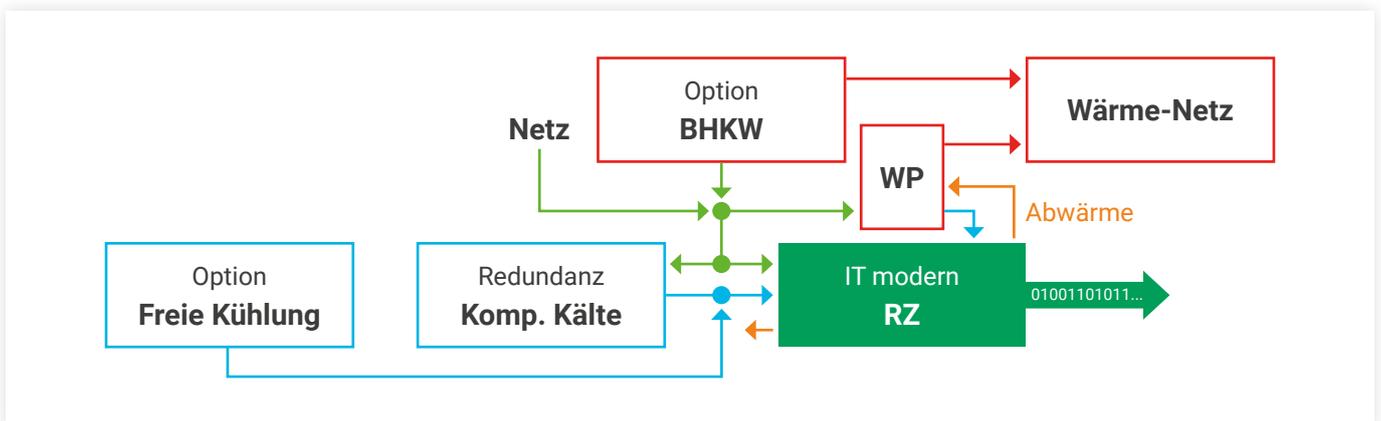


#### SOZIALE BEWERTUNG

- Effizienz und soziale Faktoren sind Teil der Beschaffungskriterien +
- keine Ausbildung eigener Fachkräfte --
- Fortbildungspläne für Mitarbeiter ++

++ (sehr gut) + (gut) +/- (neutral) - (schlecht) -- (sehr schlecht)

## Optimiertes Rechenzentrum



### STECKBRIEF

#### ENERGIE-INFRASTRUKTUR

- IT-Leistung > 200 kW (durch Konsolidierung von Rechenzentren)
- freie Kühlung und Wärmepumpe (WP)
- z. B. PUE = 1,5, ERF = 0,5
- Zuluft 25 °C, Abluft 40 °C, Einhausung

#### ENERGIEQUELLEN UND ABWÄRMENUTZUNG

- Ökostromnutzung über PPA (Power Purchase Agreement)
- Reststrom optional aus BHKW
- Abwärmenutzung im Wärmenetz

#### IT-TECHNOLOGIEN

- vollautomatisierte, intelligente Virtualisierungstechniken
- heterogene Speichermedien und softwaregestützte Verwaltung
- 

### BEWERTUNG UND INDIKATOREN



#### ÖKONOMISCHE BEWERTUNG

- hoher Invest --
- Betriebskosten moderat +/-
- maximale Serverauslastung ++



#### ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG

- Beitrag zur Sektorenkopplung, CO<sub>2</sub>-Fußabdruck moderat ++
- Abwärmenutzung ++



#### SOZIALE BEWERTUNG

- Effizienz und soziale Faktoren sind maßgeblich bei der Beschaffung ++
- Ausbildung eigener Fachkräfte ++
- verpflichtende Fortbildungspläne für Mitarbeiter ++

++ (sehr gut) + (gut) +/- (neutral) - (schlecht) -- (sehr schlecht)

# Abwärmenutzung

Im nachhaltigen Energiesystem müssen alle Sektoren betrachtet werden. Die bei der Stromerzeugung bzw. beim Stromverbrauch entstehende Abwärme muss daher konsequent genutzt werden.

Das als Beispiel auf Seite 20 bis 21 betrachtete typische Rechenzentrum mit 200 kW IT-Anschlussleistung verbraucht im Jahr rund 1.473 MWh<sub>el</sub> Strom. Dies entspricht dem elektrischen Energiebedarf von rund 600 Haushalten – ohne deren Bedarf an Wärme. Die Energiemenge in kWh<sub>el</sub> an Strom, die ins Rechenzentrum fließt, steht „nach getaner Arbeit“ als thermische Energie (gemessen in kWh<sub>th</sub>) in Form von Abwärme auf einem Temperaturniveau von 35 bis 40 °C zur Verfügung.

Diese enorme Wärmemenge gilt es nutzbar zu machen. Im Projekt durchgeführte Simulationen zeigen, dass eine Wärmepumpe aus der Abwärme des Rechenzentrums pro Jahr 2300 MWh<sub>th</sub> an nutzbarer Wärme auf einem Temperaturniveau von 80 °C zur Einspeisung in ein Wärmenetz erzeugen kann. Würde man die Abwärme ganzjährig nutzen, werden für den Betrieb der Wärmepumpe zwar rund 640 MWh<sub>el</sub> mehr Strom benötigt als mit konventioneller Kältemaschinennutzung. Dadurch steigt der PUE-Wert. Jedoch übersteigt der Gewinn durch einen positiven ERF (Energy Reuse Factor) den Verlust durch den erhöhten PUE.

Sofern die Abwärme auf einem niedrigeren Temperaturniveau genutzt werden kann, etwa in einem modernen Niedertemperaturwärmenetz, sinkt der Strombedarf der Wärmepumpe und dadurch die CO<sub>2</sub>-Belastung der entstehenden Nutzwärme. Die CO<sub>2</sub>-Belastung der entstehenden Nutzwärme ist selbst beim aktuellen deutschen Strommix deutlich geringer als die Wärmeerzeugung aus fossilen Brennstoffen und sinkt bei der Nutzung von erhöhten Anteilen an erneuerbarem Strom weiter.

Da es üblich ist, in Rechenzentren Kältemaschinen redundant vorzuhalten, würde eine Kompressionskältemaschine neben der Wärmepumpe parallel installiert. Falls die entstehende Abwärme jahreszeitbedingt keinen Abnehmer findet, wird nicht die Wärmepumpe, sondern die Kompressionskältemaschine oder eine zusätzliche Freiluftkühlung genutzt. Letztere kann mit geringerem Strombedarf die Abwärme des Rechenzentrums abführen.

Wird das Rechenzentrum zeitweise oder vollständig über ein Blockheizkraftwerk mit Strom versorgt, ist die Nutzung der Abwärme aus dem Blockheizkraftwerk, die mit rund 90 °C anfällt, besonders wichtig um den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck für das Gesamtsystem zu senken.

# Vision für ein nachhaltiges digitales Ökosystem

Ein persönlicher Standpunkt von Peter Radgen und Holger Zultner

## HERVORRAGENDE VERNETZUNG

Baden-Württemberg ist das Land der Weltmarktführer, und in den Genen des Landes und deren Unternehmen ist der Innovationsgedanke seit Generationen verankert. Die nationale und internationale Vernetzung des Landes ist hervorragend und sollte in einer gemeinsamen Initiative aus Land, Forschung und Industrie um ein digitales Ökosystem als Teil der nachhaltigen Entwicklung erweitert werden. Baden-Württemberg sollte sich zum Hotspot der Digitalwirtschaft entwickeln, indem Rechenzentren als Grundbaustein Teil des städtischen Ökosystems werden. Erste Schritte zum Aufbau eines digitalen Ökosystems sind mit der Gründung des Cyber-Valleys durch die Universitäten Stuttgart und Tübingen mit der Max Planck Gesellschaft bereits erfolgt. Am Höchstleistungsrechenzentrum der Universität Stuttgart steht der derzeit schnellste Supercomputer Europas mit einer maximalen Rechenleistung von 26 Peta-FLOPS.

## DATEN WERDEN ZUM ROHSTOFF

Um nachhaltige digitale Infrastrukturen für die Zukunft zu entwickeln, könnte man diese auf Basis der Gartenstädte planen: ein Netzwerk digitaler Standorte rund um die Stadt, bestens vernetzt und integriert, attraktiv für alle Akteure der digitalen Welt. Die Nachfrage nach Rechenleistung, die Internet-of-Things-Strategien der Unternehmen oder das autonome Fahren – dies alles wird die Welt verändern. In Zukunft werden die Daten zum Rohstoff, aus dem die Zukunft geformt wird. Baden-Württemberg sollte sich daher als innovativer Partner für digitale Geschäftsmodelle und digitalen Infrastrukturen auf Basis nachhaltiger Infrastrukturen positionieren.

## VORBILD GARTENSTÄDTE

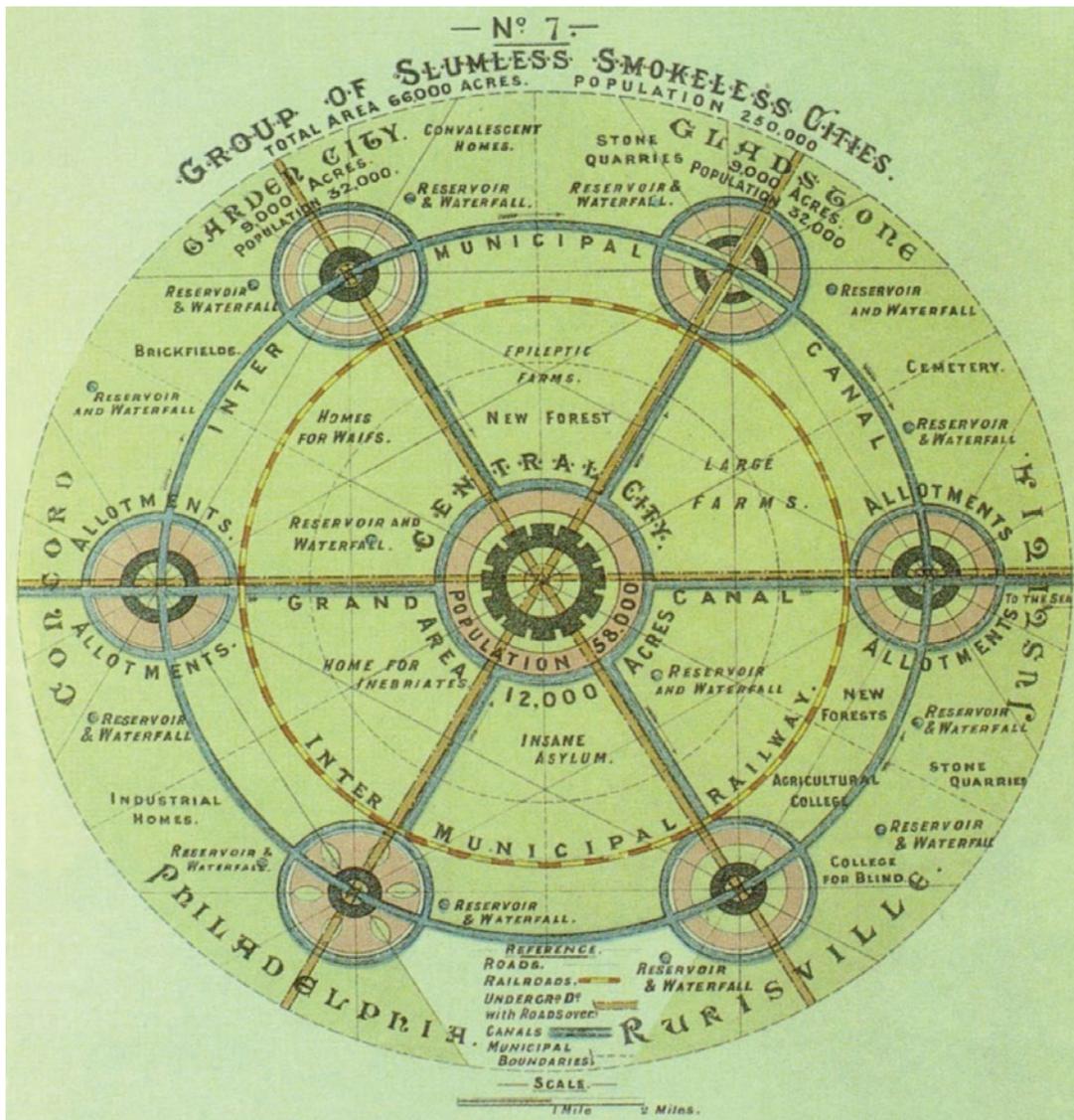
Baden-Württemberg ist mit der Welt vernetzt und muss die eigene Vernetzung stärken. Als Vorlage für die Vision einer vernetzten digitalen Stadt können die durch den Engländer Ebenezer Howard vor mehr als 100 Jahren entwickelten Gartenstadtkonzepte dienen. Nach Howards Idee sollten neue städtische Siedlungen im Umkreis von Großstädten errichtet werden, um diese zu entlasten. Er entwarf eine Siedlungsstruktur samt Agrargürtel, von Grünflächen durchzogen, aufgelockert und planmäßig durch Straßen in Nachbarschaften gegliedert, jeweils mit räumlicher Trennung wichtiger Funktionen und durch Eisenbahnen miteinander verbunden. Aufgehoben die strikte Trennung von Stadt und Land, um die Nachteile der Großstadt zu vermeiden und von ihren Vorteilen zu profitieren.

## BADEN-WÜRTTEMBERG AUF GUTEM WEG

Das Projekt Nachhaltige Rechenzentren (EcoRZ) hat gezeigt, dass Baden-Württemberg über alle erforderlichen Voraussetzungen für nachhaltige digitale Infrastrukturen verfügt. Besonders geeignete Rechenzentrumsstandorte sollten daher identifiziert und bewertet werden und für diese Standorte effiziente Design- und Wämerückgewinnungskonzepte entwickelt werden, die eine Einbindung in Wärmenetze ermöglichen.

## NACHHALTIGE CITY DATA PARKS

Unter den Weltmarktführern im Land befinden sich viele „Hidden Champions“. Mit dem Konzeptansatz der City Data Parks könnte sich Baden-Württemberg aus dem Schatten der Mainmetrople Frankfurt bewegen. Mit Agilität und schnell umsetzbaren Maßnahmen bei der Entwicklung, Vermarktung und Anwendung



Gartenstadtkonzept von Ebenezer mit Verkehrsinfrastrukturen

Quelle: Garden Cities of tomorrow, Sonnenschein publishing, 1902.

neuer Energie- und Umwelttechnologien im Bereich der Rechenzentren könnte sich Baden-Württemberg zu einem ebenbürtigen Wettbewerber entwickeln. Der weitere Ausbau des digitalen Ökosystems in Frankfurt stößt aktuell an infrastrukturelle Grenzen, ein guter Zeitpunkt also, um mit neuen Ansätzen, wie z. B. den nachhaltigen City Datacenter Parks die Umwelt trotz weiterem Wachstum der Rechenzentren zu entlasten und die Wertschöpfung digitaler Geschäftsmodelle ins Land zu holen. Ein Netz aus Rechenzentren, das aus Core Data Centern und Edge Data Centern besteht, kann auch für latenzzeitkritische Anwendungen eine nachhaltige und umweltfreundliche Infrastrukturlandschaft bereitstellen.

#### GENEHMIGUNGSPROZESSE BESCHLEUNIGEN

Für die Errichtung der City Data Parks gilt es, die Verfügbarkeit von grünem Strom, schnellen Datenleitungen und Konnektivitäten an geeigneten Standorten als wesentlichen Wettbewerbsvorteil zu begreifen. Um die Vorgaben des „Time-to-Market“ für digitale Infrastrukturen zu erfüllen, müssen Behörden und Bauämter proaktiv vorgehen und Genehmigungsprozesse beschleunigen. Das Land sollte diese Chancen für den Aufbau nachhaltiger digitaler Ökosysteme in Baden-Württemberg nutzen.

03

# Handlungsempfehlungen



## Um einen nachhaltigen Betrieb der Rechenzentren in Baden-Württemberg zukünftig zu sichern, hat sich das Projekt Nachhaltige Rechenzentren zum Ziel gesetzt, konkrete Handlungsempfehlungen zu erarbeiten und zu präsentieren.

Damit Rechenzentren ihren Beitrag zur Dekarbonisierung der Industrie, Sektorkopplung im Energiebereich, zum nachhaltigen Umgang mit Ressourcen und Arbeitskräften und zu einem energieeffizienten Betrieb leisten können, muss den Betreibern klar sein, welche damit verbundene Maßnahmen beim Um- bzw. Neubau von Rechenzentren umgesetzt werden sollten.

Allgemein wird empfohlen, Maßnahmen zu ergreifen, die zur Verbesserung der im Projekt definierten Leistungs- und Standortindikatoren im Falle eines Rechenzentrumsbaus führen. Im Falle eines Neubaus sollten höchstmögliche Werte der Indikatoren angestrebt werden. Um dies zu erreichen, ist ein konstruktives, Blockaden auflösendes Vorgehen von Seiten der Rechenzentrenbetreiber durch Maßnahmen auf IT- und Infrastrukturseite, von Seiten der Rechenzentrenplaner mittels Integration nachhaltiger Baukonzepte und von Seiten der Politik durch Auflösung und Lockerung regulatorischer Hemmnisse nötig. Folglich sollten in einem konsistenten Gesamtkontext für alle Interessensgruppen Handlungsempfehlungen definiert und kommuniziert werden.

Natürlich besitzen die im Folgenden definierten Empfehlungen keine Allgemeingültigkeit, da immer Abhängigkeiten vom speziellen Anwendungsfall, von ökonomischen Möglichkeiten des Betreibers und rechtliche bzw. regulatorische Hindernisse bei Neubauten bestehen. Aus diesem Grund sollten alle Interessensgruppen die Handlungsempfehlungen als Orientierungshilfe für das Ergreifen und Umsetzen von Maßnahmen ansehen, die dem nachhaltigen, effizienten und ressourcenschonenden Betrieb der Rechenzentren dienen.

# Handlungsempfehlungen für IT-Verantwortliche

## NACHHALTIG UND ENERGIEEFFIZIENT

Für IT-Verantwortliche lassen sich in den Bereichen Virtualisierung, Speicherung, Interaktion mit der Kühlinfrastruktur und beim Einkauf bzw. der Entsorgung von Hardware Handlungsempfehlungen für einen nachhaltigen, energieeffizienten Betrieb aussprechen.

## HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN IM BEREICH VIRTUALISIERUNG

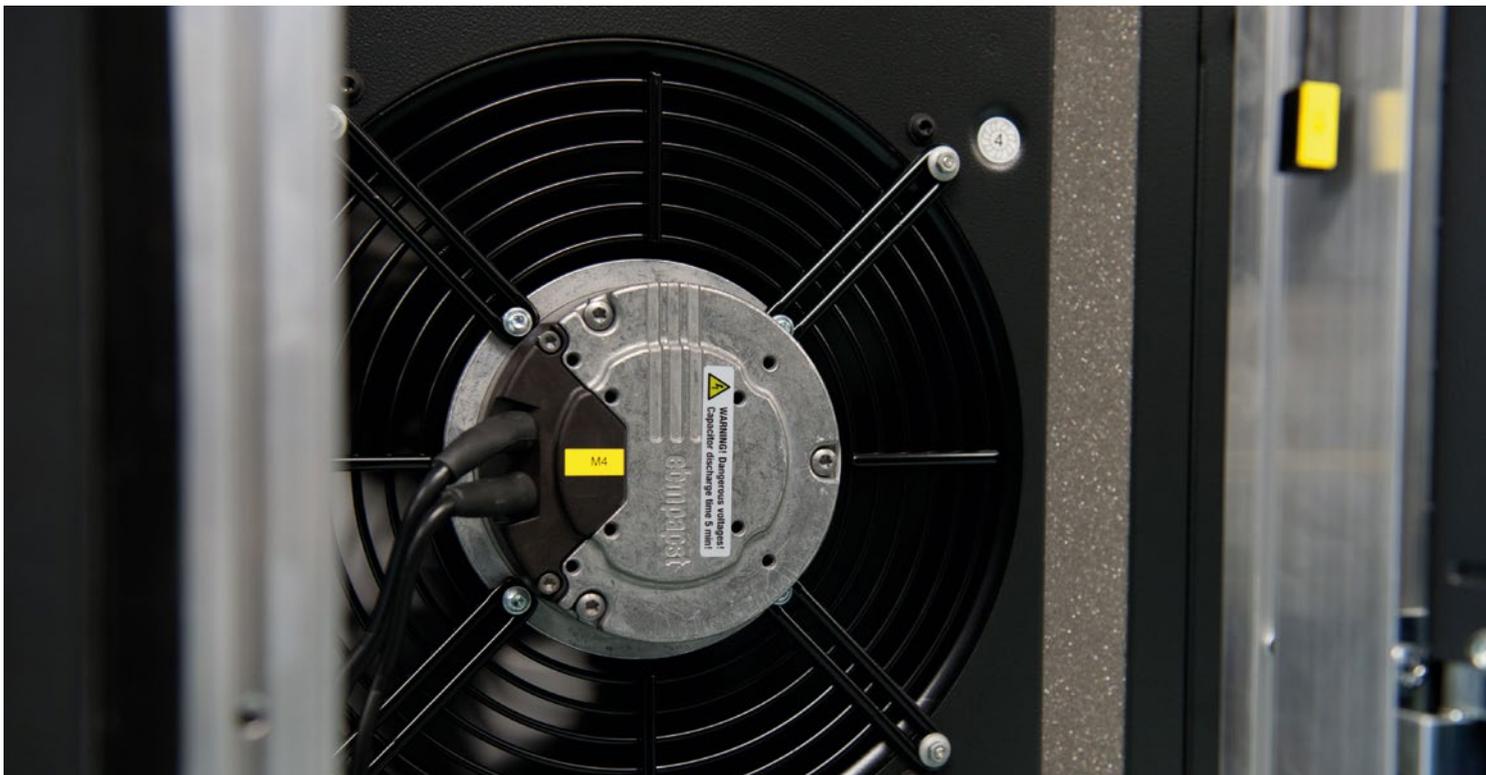
Vorteile wie erhöhte Flexibilität und einfachere Wartbarkeit machen Virtualisierungstechnologien schon heute zu festen Bestandteilen von Rechenzentren. Eine effiziente Nutzung und eine damit verbundene Anwendung moderner Cloud-Paradigmen wie Skalierbarkeit oder Elastizität der virtualisierten Komponenten ist oft nicht gegeben.

Eine vollautomatisierte Adaption der Anzahl virtueller Maschinen an den aktuellen Workload und die Konsolidierung dieser auf so wenig physikalische Server wie möglich, eröffnet beispielsweise die Möglichkeit des gezielten Abschaltens nicht benutzter Server und eröffnet Spielräume zur Energieeinsparung. Kommt es auf den höher ausgelasteten Servern in der Folge zu Performanzeinbußen, sollten im Sinne eines elastischen Virtualisierungsmanagements wieder virtuelle Maschinen von dem Server abgezogen und

auf weniger ausgelasteten Servern platziert werden. Es wird empfohlen, sich mit erwähnten modernen Virtualisierungskonzepten auseinanderzusetzen und diese in Abhängigkeit der gegebenen Rahmenbedingungen, auch mit Hilfe von Drittanbietern, zu implementieren. Ziel sollte sein, ein Virtualisierungsmanagement zu betreiben, welches ein ausbalanciertes Maß an hoher Verfügbarkeit der Anwendungen und einem energieeffizientem Betrieb gewährleistet.

Eine weitere Option ist, Teile der IT-Infrastruktur an große internationale Cloud-Dienstleister auszulagern. Als Empfehlung kann hier nur die auf den Einzelfall bezogene straffällige Prüfung des Nutzens einer solchen Migration ausgesprochen werden. Auf der einen Seite sind deren Rechenzentren führend im Bereich Energieeffizienz und Infrastrukturadministration. Auf der anderen Seite stehen unter Umständen hohe Kosten, rechtliche und Datenschutzfragen (Stichwort DSGVO und US CLOUD Act) sowie ein nicht notwendigerweise nachhaltiger Betrieb der eigenen IT-Ressourcen.“ Aus ökonomischer Sicht kann es für diese Betreiber Sinn machen, virtuelle Maschinen, welche sich lange Zeit im „Idle-Zustand“ befinden, nicht zu konsolidieren bzw. herunterzufahren, da Kunden auch für diesen ineffizienten Zustand bezahlen müssen.





#### **HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN IM BEREICH SPEICHERMANAGEMENT**

Es wird empfohlen, ein effizientes, softwaregestütztes Speichermanagement mit hohem Automatisierungsgrad zu betreiben. Im Speziellen sollten, abhängig von geforderten Zugriffszeiten und Häufigkeiten, „heiße Daten“ auf schnellen, teuren SSDs, „warme Daten“ auf HDDs mit variablen Lüfterfrequenzen und Rotationsgeschwindigkeiten und „kalte Daten“ auf langsamen, energieeffizienten Magnetbändern platziert werden. Dateninseln sollten vermieden und Komponenten mit Lüfterfrequenzen, die sich der thermischen bzw. elektrischen Last anpassen, gewählt werden.

#### **HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN IM BEREICH INTERAKTION MIT DER KÜHLUNG**

Das Gruppieren der IT-Komponenten in Racks sollte derart erfolgen, dass Komponenten mit ähnlichen bis gleichen thermischen Lastgrenzen in denselben Racks untergebracht werden. Grund dafür ist die Ausrichtung der Einlasstemperatur nach der Komponente mit den restriktivsten thermischen Bedingungen. Zur Steigerung der Kühleffizienz wird empfohlen, die Betriebsrahmenbedingungen derart zu gestalten, dass höchstmögliche Servereinlasstemperaturen ermöglicht werden.

#### **HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN IM BEREICH EINKAUF UND ENTSORGUNG VON HARDWARE**

Abhängig von ökonomischen Möglichkeiten und Anwendungsfall sollten energieeffiziente Servermodelle, beispielsweise mit Energy-Star-Zertifizierung, und Netzteile, beispielsweise mit höchstmöglichem 80-Plus-Label gewählt werden. Aus Gründen der Nachhaltigkeit sollte ein Refurbishment überholter IT-Komponenten in Betracht gezogen werden. Voraussetzung für die Weiterverwendung der Komponenten sollte ein zertifiziertes, und bei Vorliegen rechtlicher Verpflichtungen, DSGVO-konformes Datenlöschverfahren sein. Dabei stellt das Auslagern der beaufsichtigten Durchführung dieser Löschverfahrens und des anschließenden Weitervertriebs durch einen externen Dienstleister eine sinnvolle Option dar.

#### **WEITERE HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN**

Es wird empfohlen, die IT-Infrastruktur mit passenden Software-Werkzeugen so umfassend wie möglich zu überwachen. Dadurch lassen sich beispielsweise Ineffizienzen bei der Auslastung der Server oder Sicherheitsrisiken wie Anomalien im Netzwerk frühzeitig erkennen und beheben. Im Allgemeinen sollten immer Maßnahmen in Erwägung gezogen werden, welche die Auslastung der Server erhöhen, ohne die Anwendungsperformanz signifikant zu beeinträchtigen.

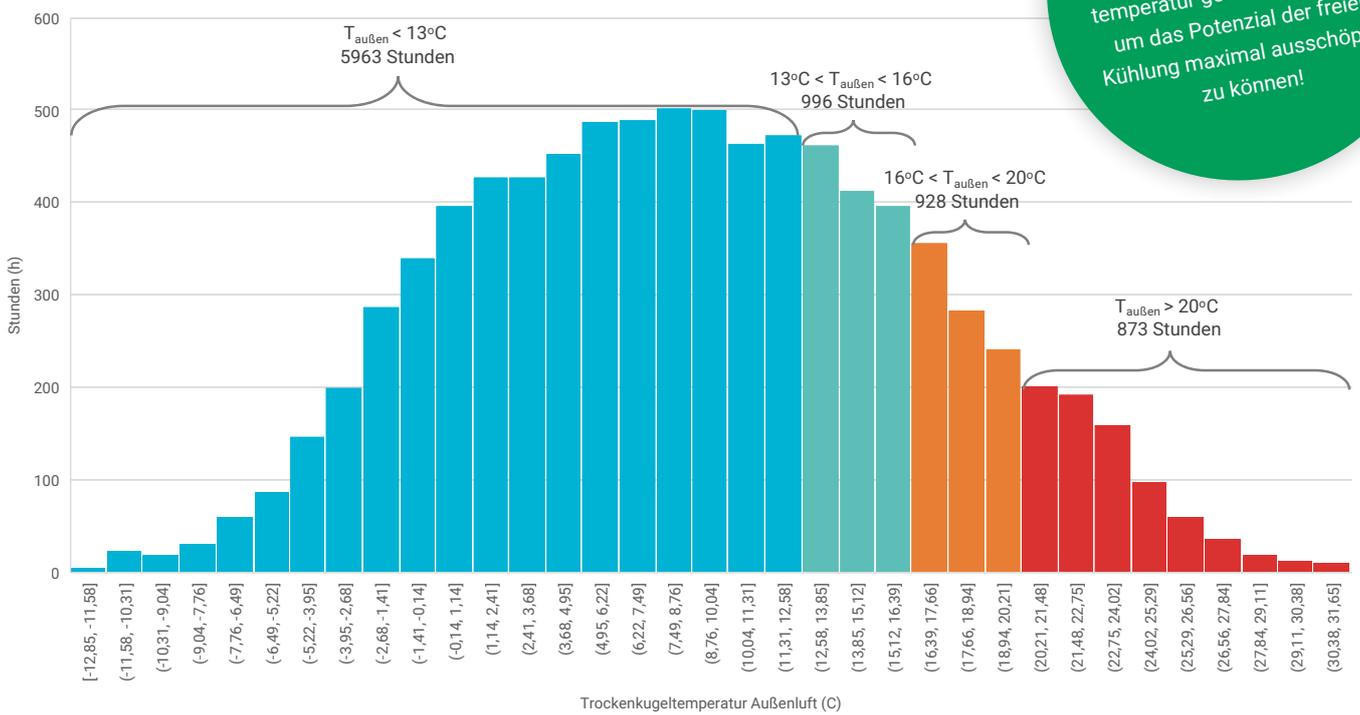
# Handlungsempfehlungen für Infrastrukturbetreiber

**ERHÖHTE FREIE KÜHLUNG DURCH ERHÖHTE RACK-EINTRITTSTEMPERATUR**  
 Nach dem Standard ASHRAE TC.9.9 2016 und den Normen VDI 2054 & EN 50600 ist eine Zulufttemperatur zum Rack von maximal 27 °C zulässig. Mit einer gut ausgelegten Architektur

der freien Kühlung kann bei 20 °C Außenluft ein Wert von 25 bis 27 °C gut erreicht werden. Im Idealfall gehen im Rückkühler 2 °C, im Wasser-Luft-Wärmetauscher 2 °C sowie in den Leitungen und vor der Pumpe 1 bis 2 °C verloren.

Sprechen Sie mit Ihrem IT-Verantwortlichen, ob die maximal zulässige Zulufttemperatur gewählt worden ist, um das Potenzial der freien Kühlung maximal ausschöpfen zu können!

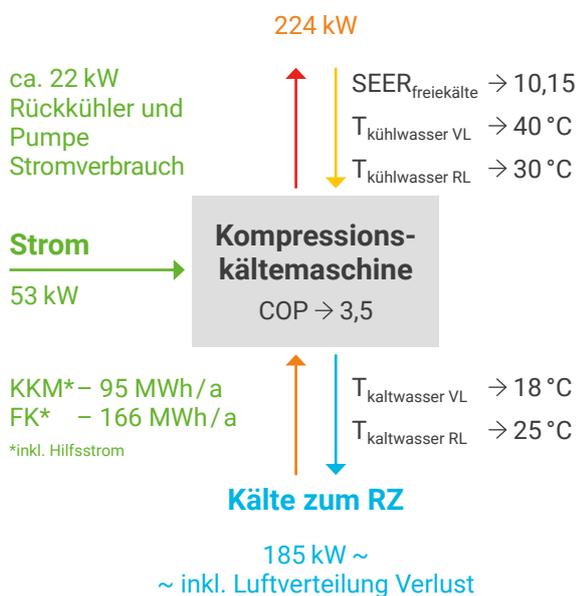
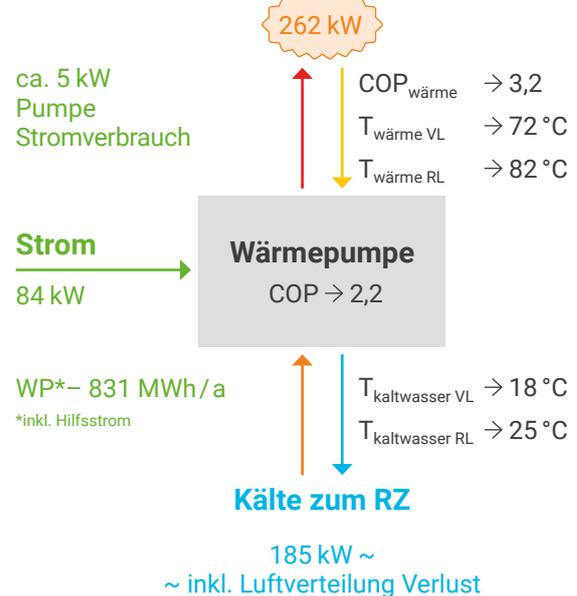
Histogramm der Außenlufttemperatur (trocken) – Stuttgart



**KOMPRESSIONSKÄLTE VS. WÄRMEPUMPE**

Der Ersatz der Kompressionskältemaschine durch eine Wärmepumpe bringt auch bei niedrigem COP Vorteile durch die Erzeugung hochwertiger nutzbarer Abwärme. Ökonomisch betrachtet sind Wärmepumpen derzeit ohne Förderung der Politik jedoch nicht konkurrenzfähig gegenüber einer Kombination aus Kältemaschine und Freier Kühlung (siehe Abbildung unten).

**Wussten Sie schon?** Ein kleines Quartier wie Stöckach in Stuttgart mit 150 Gebäuden hat einen Jahreswärmebedarf von 32 GWh mit einer 1 MW Wärmelast im Sommer und 10 MW im Winter. Das heißt selbst im Sommer wäre die Abwärme eines Rechenzentrums als Wärmequelle nutzbar.

**Kompressionskälte oder Wärmepumpe****Wärmeabfuhr an die Außenluft****Abwärmenutzung Wärmenetzeinspeisung**

Wärmepumpe Investitionskosten (ohne Zuschüsse)

→ 250.000 € (ca. 1.000 €/kW) + ca. 20.000 € Wärmenetzeinspeisung-Infrastruktur

Kompressionskältemaschine-Kosten (inklusive Trockenkühler)

→ 70.000 € (ca. 280 €/kW)

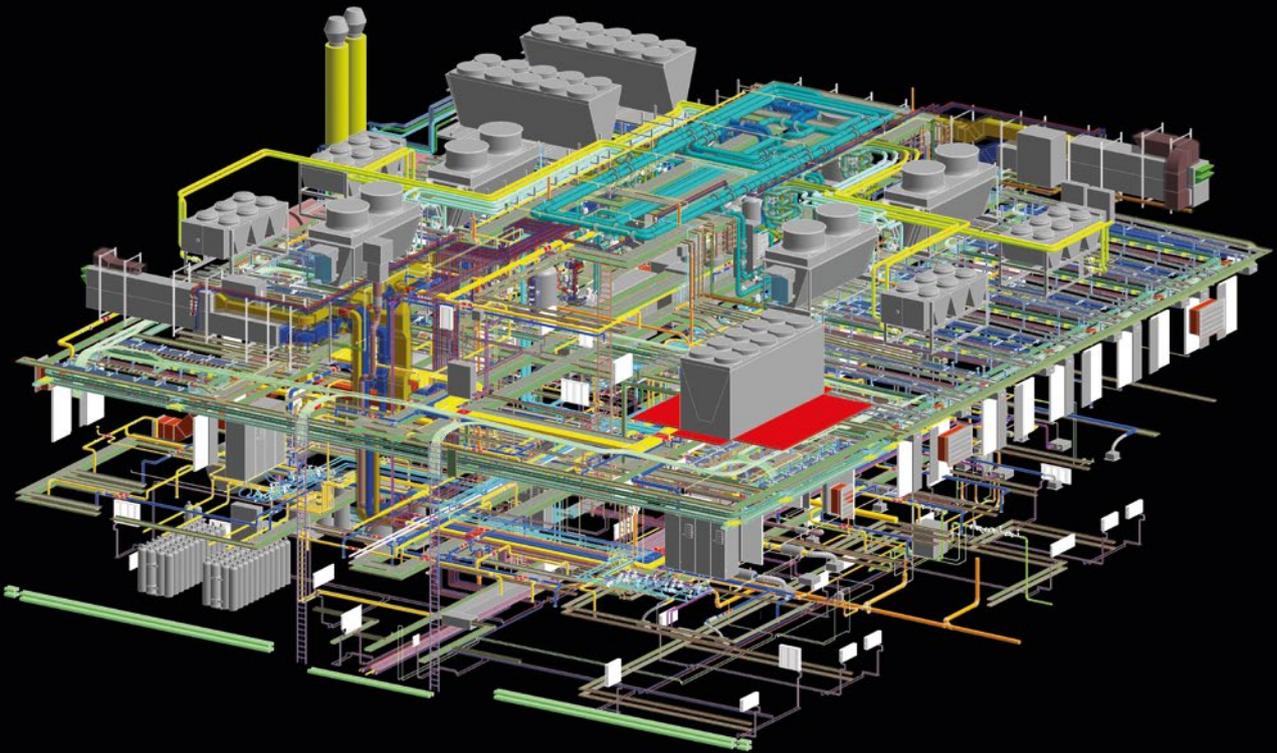
**2581 MWh<sub>th</sub> Wärme @ 0,032 €/KWh<sub>th</sub> → 82.592 €/Jahr**

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

KKM + FK <sup>#</sup>	→	387 MWh <sub>el</sub> Strom (mit EEG-Umlage)	@ 0,172 €/kWh <sub>el</sub>	→ 66.564 €/Jahr
WP <sup>#</sup>	→	831 MWh <sub>el</sub> Strom (mit EEG-Umlage)	@ 0,172 €/kWh <sub>el</sub>	→ 142.932 €/Jahr
	→	831 MWh <sub>el</sub> Strom (mit 444 MWh <sub>el</sub> Differenz Strom ohne EEG-Umlage)	@ 0,104 €/kWh <sub>el</sub>	→ 112.740 €/Jahr

\*inkl. CRAH

# Handlungsempfehlungen für Rechenzentrumsplaner



## VARIABLEN FÜR DIE PLANUNG

Planer nehmen beim Design von neuen Rechenzentren Einfluss auf den zukünftigen Betrieb von Rechenzentren. Bereits die Standortwahl sollte als Variable in die Planung mit aufgenommen werden. Denn unter Einbeziehung der zukünftigen Umgebung des Rechenzentrums können Synergien, wie z. B. eine Abwärmee-nutzung, identifiziert werden. Dadurch können Planer verschiedene Modelle vorschlagen, die den zukünftigen Betrieb des Rechenzentrums wirtschaftlicher und nachhaltiger werden lassen. Hierbei sollten die Lebenszykluskosten (TCO = Total Cost of Ownership) anstelle

der Investitionskosten priorisiert werden, da oftmals nachhaltige Lösungen zwar höhere Investitionskosten, dafür aber niedrige Betriebskosten besitzen. Des Weiteren sollte im Sinne der Nachhaltigkeit Überdimensionierung vermieden werden.

Außerdem kann die Energieversorgung durch den Einsatz eines Blockheizkraftwerks (BHKW) sowohl sichergestellt als auch im Hinblick auf reduzierte operative Kosten realisiert werden, allerdings nur, wenn eine Nutzung der Wärme gewährleistet werden kann.

**WÄRMENUTZUNG**

Für die Bereitstellung der benötigten Kälte sollte neben dem Einsatz einer freien Kühlung auch der Einsatz einer Wärmepumpe geprüft werden. Mit ihr können – durch Einnahmen für die Bereitstellung von Wärme – Betriebskosten, die ansonsten bei der Erzeugung von Kälte entstehen, reduziert werden. Wärmepumpen erzeugen Kälte und ermöglichen die im Rechenzentrum entstehende Wärme weiterzuverwenden. Auch hierfür ist es empfehlenswert, dass der Planer bei der Standortwahl die Verfügbarkeit eines Wärmenetzes untersucht. Da es bei Wärmenetzen keinen Anspruch auf Einspeisung für Erzeuger gibt, ist eine vertragliche Vereinbarung bzgl. der Wärmeeinspeisung mit dem Wärmenetzbetreiber erforderlich. Bei Bedarf sind entsprechende Technikräume und Anschlüsse für die hierzu notwendigen Anlagen, neben einer Wärmepumpe auch eine Wärmeübergabestation, vorzusehen. Durch die Weiterverwertung der Abwärme werden CO<sub>2</sub>-Emissionen an anderen Stellen, durch z. B. verringerten Einsatz von Heizanlagen, vermieden.

**NACHHALTIGE ENERGIEVERSORGUNG**

Eine Photovoltaik-Anlage (PV) kann zur nachhaltigen Stromversorgung des Rechenzentrums dienen. Jedoch ist die Deckung des hohen Strombedarfs des Rechenzentrums durch eine PV-Anlage nur zu einem geringen Anteil (< 5 %) möglich. Die Leistungserzeugung einer PV-Anlage kann zu einem gewissen Anteil auch Netzbezugsspitzen reduzieren. Da Dachflächen in der Regel für die Rückkühltechnik benötigt werden, ist die Ausrichtung des Gebäudes und die Wahl der Gebäudehülle für die Maximierung des potenziellen Ertrags einer bauwerksintegrierten PV-Anlage entscheidend.

Außerdem ist die gleichzeitige Verwendung als Lärmschutz möglich. Für diese Aufgaben ist es ratsam, in der Planungsphase frühzeitig ein hierauf spezialisiertes Unternehmen mit einzubinden. Als alternative Energieversorgung kann auch ein BHKW eingesetzt werden, das zudem als Netzersatzanlage verwendet werden könnte. Insbesondere unter Beachtung auf zukünftige fluktuierende Einspeisung von erneuerbaren Quellen wäre hiermit eine flexible Teilnahme am Strommarkt möglich. Die beim Betrieb eines BHKWs entstehende Wärme sollte ebenso wie die Wärme des Rechenzentrums für mehr Nachhaltigkeit an anderer Stelle verwendet werden.

**NETZDIENLICHE BETRIEBSMITTELNUTZUNG**

Im Hinblick auf die spätere Nutzung von Netzersatz- und USV-Anlagen kann der Planer den zukünftigen Betreiber darauf hinweisen, dass diese z. B. für netzdienliche Maßnahmen zur Verfügung gestellt werden können. Zwar lassen sich hierdurch die Betriebskosten reduzieren, jedoch ist auf potenziell zusätzliche Emissionen zu achten.

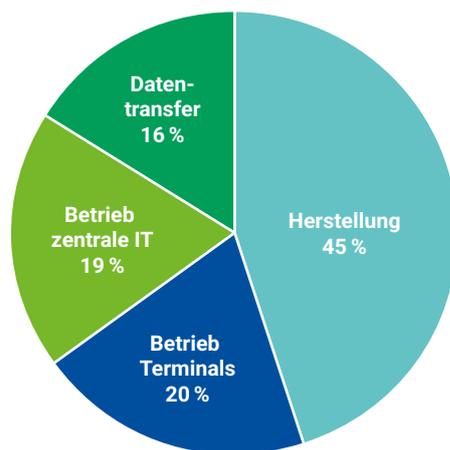
Die beschriebenen Synergietechnologien bezüglich der Abwärmenutzung, der Netzdienlichkeit und der Eigenversorgung/Eigenenerzeugung bieten sich für Planer an, diese als Kompetenz aufzunehmen. Alternativ besteht sowohl für die Bereitstellung von Strom als auch von Kälte im späteren Betrieb die Option, ein anderes Unternehmen mit diesen Aufgaben zu beauftragen (Contracting). Dies ist z. B. bei Auftraggebern, die sich nur auf die Bereitstellung der IT-Dienstleistungen konzentrieren wollen, in Erwägung zu ziehen.

# Handlungsempfehlungen für die Politik

## KNACKPUNKT TREIBHAUSGASEMISSIONEN

Moderne IT-Dienstleistungen und rasch ansteigender Konsum von elektronischer Unterhaltung und Werbung lässt die Treibhausgasemissionen (THG) um überraschende 9 % pro Jahr ansteigen. Die Herstellung und der Betrieb von IT-Komponenten verursachte im Jahr 2018 bereits 3,7 % der weltweiten Treibhausgasemissionen<sup>1</sup> und damit fast halb so viel wie der viel stärker sichtbare Verkehr, der für alle Autos und Motorräder in Summe 8 % der THG-Emissionen verursachte. Videostreaming allein verursacht 80 % des Energiebedarfs für Datentransfer.

Anteile an den THG-Emissionen für IT-Komponenten in Herstellung und Betrieb



Die Nutzung von datenhungrigen IT-Dienstleistungen könnten bspw. mit entsprechenden Gebühren belegt werden, um deren Klimaeinfluss bewusst zu machen. Ungefragt startende Werbevideos auf Webseiten und ineffiziente Verteilung von Software-Updates sollten regulativ eingeschränkt werden.

## WÄRMENUTZUNG

Im Rechenzentrum entstehen große Mengen an Abwärme bei rund 40 °C. Angehoben auf ein gewünschtes Temperaturniveau über eine Wärmepumpe und verteilt über ein entsprechendes Niedertemperatur- oder konventionelles Wärmenetz, kann diese Wärme je nach Größe und Art des versorgten Quartiers ganzjährig oder zumindest für ein Teil des Jahres nutzbar gemacht werden. Gegenwärtig rechnet sich die Wärmenutzung jedoch in den seltensten Fällen. Bei der Standortentscheidung muss die mögliche Wärmenutzung trotzdem zu einem wichtigen Kriterium werden und durch entsprechende Regulierung (Anspruch auf Wärmeeinspeisung, EEG-Befreiung für Wärmepumpen-Strom) ermöglicht und angereizt werden.

## BESCHAFFUNGSRICHTLINIEN

Es gibt wenig Anreiz, auf die Energieeffizienz der Komponenten beim Einkauf zu achten. Bei der Beschaffung von IT-Komponenten aus öffentlichen Mitteln gilt vielfach die Vorgabe, mit den eingesetzten Mitteln Komponenten einzukaufen, die ein Maximum an Rechenleistung liefern. Dies erschwert den Einkauf von etwas teureren, jedoch energieeffizienteren Komponenten. Die Politik ist aufgefordert, bei der Beschaffung die Pflicht zum Einkauf energieeffizienter Komponenten zu verankern. Dies kann durch einzuhaltende Standards für die IT-Infrastruktur geschehen, wobei der PUE-Wert allein nicht ausreicht, da er den Verlust in der Peripherie (Kühlung, USV) erfasst, aber beispielsweise nicht ineffiziente Netzteile in IT-Komponenten.

<sup>1</sup> CT Report Shift Project, March 2019

**ZENTRALISIERUNG UND KONSOLIDIERUNG**

Die Zentralisierung von Rechenzentren unterstützt effizienten Betrieb durch Skalierung und hohe Auslastung der Komponenten über die Vielzahl der Nutzer. Ein professioneller Cloud-Anbieter kann eine sichere Datenverarbeitung und -speicherung bei stets aktueller Software mit hoher Qualität und hoher Datensicherheit anbieten. Dezentrale Rechenzentren die für einzelne Nutzer und deren Spitzenbedarfe ausgelegt sind, werden über große Zeiträume nicht ausgelastet. Zudem ist die regelmäßige Aktualisierung und der sichere Betrieb auch kleiner Einheiten sicherzustellen. Es wird daher empfohlen, die Zentralisierung durch die Förderung von Rechenzentrumsinfrastruktur in Baden-Württemberg, Deutschland oder der EU zu unterstützen.

**DIGITALISIERUNG UND AUSBILDUNG**

Der Bedarf an IT-Fachkräften ist hoch, entsprechend muss die zielgerichtete Ausbildung im gewerblichen Bereich und Hochschulbereich gefördert werden. Weiterhin wird die Unterstützung von Unternehmen beim Aufbau geeigneter IT-Infrastruktur bzw. bei der effizienten Auswahl von IT-Dienstleistern durch Landesinstitute, Hochschulen oder Universitäten empfohlen. Für die kostenlose Beratung von Unternehmen könnten entsprechend dotierte Beratungsschecks zur Verfügung gestellt werden.

**ERNEUERBARER STROM PER PPA BZW.****LOKAL BEZOGEN**

Die lokale Nutzung von Solarstrom aus einer PV-Anlage auf dem Dach eines Rechenzentrums deckt weniger als 5 % eines mittleren Rechenzentrums. Die Dachfläche ist gering und wird zusätzlich für die Kühlaggregate zur freien Kühlung teilweise bedeckt. Es wird empfohlen vorgeschrieben werden, zusätzlich zu lokal erzeugten Stromanteilen, den Strom des Rechenzentrums über Power-Purchase-Agreements (PPA) aus EE-Anlagen zu beziehen. Grünstrom über Zertifikate bilanziell dem Rechenzentrum gutzuschreiben, führt nicht zu einer CO<sub>2</sub>-Reduktion im Gesamtsystem.

**WEITERE ANSÄTZE ZUR REGULIERUNG**

Um überholte IT-Komponenten zumindest teilweise wiederverwerten zu können, müssen im Zusammenspiel von Politik, Rechenzentrumsbetreibern und Hardware-Herstellern entsprechende technische, datenschutzrechtliche und ökonomische Rahmenbedingungen geschaffen werden. Hardware-Hersteller sollten dazu animiert werden, IT-Komponenten herzustellen, die auch bei höherer Server-Einlasstemperatur eine ausreichende Lebensdauer haben. Cloud-Betreiber sollten Bedingungen vorfinden, die sie ökonomisch dazu animieren, mit gebuchten Kunden-IT-Ressourcen energiesparender umzugehen. Bisher besteht ein Vorteil, vom Kunden gebuchte, seit längerer Zeit im „Idle-Zustand“ befindliche virtuelle Maschinen nicht zu konsolidieren oder dazugehörige physikalische Server abzuschalten.

# Interviews



## Rechenzentren aus Sicht der kommunalen Politik

Interview mit Klaus Schindling,  
Bürgermeister Stadt Hattersheim am Main

**Herr Schindling, das Bauleitverfahren ist für einen schnellen Bau besonders für Rechenzentren sehr relevant. Wie unterscheiden sich die Gemeinden voneinander?**

In den meisten Fällen ist für den Bau von Rechenzentren ein Bauleitplanverfahren erforderlich. Das Bauleitplanverfahren an sich ist durch das Baugesetzbuch in seiner Ausgestaltung vorgeschrieben und reglementiert. Daraus ergeben sich Verfahrensschritte, die gleichermaßen von allen Gemeinden einzuhalten sind und auch ihre Zeit in Anspruch nehmen. Daneben sind in diesem Zusammenhang nicht selten auch parallele Verfahren auf übergeordneter Ebene erforderlich – wie z. B. für Hattersheim am Main etwaige Änderungsverfahren vom Regionalen Flächennutzungsplan 2010 – vor allem, um neue Standorte zu entwickeln. Die gesetzlichen Vorgaben und die sich daraus ergebenden Handlungserfordernisse sind für alle Kommunen, ob Groß- oder Kleinstadt zu beachten.

**Gibt es einen Unterschied zwischen großen und kleineren Städten?**

Der Unterschied liegt darin, wie eine Gemeinde das Verfahren angeht. Hier haben kleinere Kommunen aufgrund der kurzen Verwaltungswege sowie schnelleren Abstimmungs- und Entscheidungsprozessen einen Vorteil gegenüber Großstädten. Zudem haben Projekte mit diesen Dimensionen für eine kleinere Stadt eine größere Bedeutung und werden daher mit oberster Priorität – sozusagen als Chefsache des Bürgermeisters – behandelt. Auch das Investitionsvolumen

beim Bau von Rechenzentren spielt eine Rolle. Diese belaufen sich auf mehrere Hundert Millionen Euro und sind für kleinere Kommunen eine große Chance zur Stärkung des Wirtschaftsstandortes.

**In Deutschland wächst das Nachhaltigkeitsbewusstsein und es wird immer öfter über die Abwärmenutzung aus Rechenzentren diskutiert. Doch häufig ist die Wirtschaftlichkeit (anders als in Schweden) nicht gegeben. Sehen Sie hier Handlungsbedarf von Seiten der Politik?**

Ich sehe einen Handlungsbedarf nicht nur von Seiten der Politik. Im Rahmen des Baus und des Betriebs von Rechenzentren sind alle Beteiligten gefordert, Lösungen zu finden. Wir haben in Hattersheim kürzlich eine Unternehmensbefragung durchgeführt. Bei der Frage nach der Wichtigkeit von bestimmten Themen für die Ausrichtung des Unternehmens wurde der TOP-Wert für das Stichwort Nachhaltigkeit erzielt.

Im kleinen Hattersheim haben wir keine Fachleute, die sich tiefgründig mit technischen Innovationen zu der Nutzung von Abwärme auskennen und beschäftigen. Wir vertrauen aber auf die Wissenschaft und insbesondere auch auf die Betreiber selbst. Es ist ja quasi bereits Standard, dass Rechenzentrumsbetreiber die Abwärme für die eigenen Gebäude nutzen. Darüber hinaus müssen aber Lösungen gefunden werden, dass die Abwärme nicht einfach in den Himmel geblasen wird. Wir diskutieren gerade aktuell mit unseren Partnern in Hattersheim, den Betreibern der Rechenzentren, wie deren Abwärme in direkt angrenzenden Liegenschaften verwendet werden kann.

## Rechenzentren aus der Sicht eines Rechenzentrumsbetreibers

Interview mit Erik Rylander,  
Head of Stockholm Data Parks at Stockholm  
Exergy

**Herr Rylander, die Wärmerückgewinnung in den Stockholmer Rechenzentren ist auf dem Vormarsch. Was macht die Stadt so geeignet für die Niedertemperatur-Wärmerückgewinnung aus Rechenzentren?**

Die Wärmerücknutzung wird durch das riesige Fernwärmenetz in Stockholm ermöglicht, an das fast 90 % der Gebäude angeschlossen sind. Zudem sind die Kosten für die Wärme-  
produktion aus anderen Energieträgern höher als die Kosten für die Rückgewinnung von Wärme. Heute basiert unser Geschäftsmodell auf einer Liefertemperatur der Abwärme zwischen 68–80 °C.

**Es ist offensichtlich, dass Fernwärme aus Rechenzentren in Schweden stärker verbreitet ist als in anderen europäischen Ländern. Was sind die wichtigsten gesetzlichen oder regulatorischen Unterschiede im Vergleich zu Deutschland?**

Es handelt sich wahrscheinlich nicht um eine regulatorische Angelegenheit. In jeder Stadt, die über ein Fernwärmenetz verfügt oder den Bau eines solchen plant, ist die Wärmerückgewinnung höchstwahrscheinlich machbar. Die Wärmerückgewinnung hängt davon ab, dass es eine Möglichkeit gibt, die Wärme zu verteilen, und die Kosten für ein solches Netzwerk wären unerschwinglich, wenn sie lediglich von einem oder wenigen Rechenzentren getragen werden müssten und nicht mit allen Nutzern des Wärmenetzes geteilt werden können.

Geringe Komplexität führt zu Sicherheit, und Sicherheit ist eines der Hauptanliegen eines Rechenzentrums. Warum sollte oder würde ein Rechenzentrum die Komplexität eines Systems erhöhen, indem es zusätzliche Technologie und Beteiligte hinzufügt, die den Betrieb gefährden könnten?

Dies ist eine Befürchtung, die wir widerlegen konnten. Bei der Fernwärme gibt es eine sehr klar definierte Schnittstelle zwischen dem Rechenzentrum und dem Fernwärmenetz. Die Flüssigkeiten in den beiden Netzwerken vermischen sich nie und werden durch einen Wärmetauscher oder eine Wärmepumpe getrennt. Alle Betreiber haben die Möglichkeit, alternativ die Wärme an die Atmosphäre abzugeben, typischerweise durch Trockenkühler, falls das Fernwärmenetz nicht verfügbar wäre. Somit werden keine Risiken hinzugefügt.

**Was war der Hauptantrieb für die Implementierung der Abwärmenutzung für Ihr Rechenzentrum?**

Rechenzentren in Stockholm implementieren die Wärmerückgewinnung aus zwei Gründen. Erstens gibt es einen Business Case, da sie für ihre Abwärme bezahlt werden, wodurch die Lebenszykluskosten des Rechenzentrums für die Kühlung niedriger sind als die der Alternative. Zweitens können Rechenzentren durch Wärmerückgewinnung netto kohlenstoffpositiv werden, da die zurückgewonnene Wärme andere Brennstoffe für die Wärme-  
produktion mit einem höheren CO<sub>2</sub>-Gehalt ersetzt.



04

# Einführung Best-Practices Zukunftsvision



## Die Themen Energieeffizienz, Abwärmenutzung und Nachhaltigkeit bewegen derzeit die ganze Branche, aber noch scheinen die Herausforderungen zu groß, um verfügbare Lösungen im verstärkten Maße umzusetzen.

Allein in Deutschland werden über 50.000 Serverräume oder Rechenzentren betrieben. Innovative Technologien und Konzepte werden in den unterschiedlichsten Bereichen des Rechenzentrums erprobt und eingesetzt. Auch international werden immer wieder Leuchtturmprojekte umgesetzt, die mit einer Zeitverzögerung den Markt verändern und neuen Technologien zum Durchbruch verhelfen.

Das Technologie-Portfolio der Rechenzentrumsbranche befindet sich so stark wie keine andere Branche in einem agilen, extrem schnellen und vor allem konstantem Wandel. Betreiber reagieren auf diese neuen Technologien und Konzepte jedoch meist zurückhaltend, denn sie können die erforderliche schnelle Umsetzung von Projekten verzögern. Die Betreiber fragen deshalb zuerst nach Referenzprojekten, bevor sie selbst den Technologiewechsel durchführen. Agile Märkte in Kombination mit defensiver Adaption bergen jedoch die Gefahr, dass Optimierungspotenziale durch technologischen Wandel nicht oder zu spät genutzt werden.

Mit Hilfe der Best-Practices-Beispiele möchten wir Ihnen innovative Ansätze vorstellen und einen Ausblick darauf geben, welche Chancen in der weiteren Entwicklung liegen und wie Sie davon profitieren können.

Die vorgestellten Beispiele sind (in Baden-Württemberg) innovative bzw. einzigartige Umsetzungen, die den Markt noch nicht durchdrungen haben. Eine fehlende Marktdurchdringung liegt hier jedoch nicht an hohen Technologiekosten (Innovationskosten), welche in frühen Phasen einer Technologie die Adaption wirtschaftlich unrentabel machen. Die vorgestellten Best-Practices werden teilweise seit 50 Jahren eingesetzt. Vielmehr sind die Rahmenbedingungen (Betriebserlaubnis, Strom- und Betriebskosten) unzureichend oder die Maßnahmen werden von den Rechenzentrumsbetreibern nicht als Kernaufgabe bzw. negative Beeinträchtigung der Kernaufgabe angesehen.

Aufgrund externer Einflüsse/Standorte sind nicht alle Rechenzentrumsbetreiber in der Lage, die vorgestellten Best-Practices in bestehenden Anlagen umzusetzen. Auf der Technologie- bzw. Organisationsebene bestehen jedoch in jedem Rechenzentrum ortsunabhängige Optimierungspotenziale. Eine rentabilitätsgestaffelte Umsetzung dieser Optimierungen ist in jedem Fall zu empfehlen. Die Adaption von beispielsweise Einhausungen der Racks ist derzeit in Baden-Württemberg noch nicht flächendeckend umgesetzt – obwohl die Amortisation anlagenabhängig bei unter einem Jahr liegen kann.

# Best-Practices

## **POTENZIAL DES STANDORTS AUSSCHÖPFEN**

Die folgenden Beispiele zeigen erfolgreiche Projekte, die einen nachhaltigeren Rechenzentrumsbetrieb ermöglichen und verdeutlichen, dass eine Umsetzung unter aktuellen Rahmenbedingungen möglich ist.

### **SEEWASSERKÜHLUNG: UNIVERSITÄT KONSTANZ**

Bereits im Jahr 1972 hat das Rechenzentrum der Universität Konstanz das Wasser des Bodensees zur Kühlung ihres Rechenzentrums genutzt. Die Klimaanlage wurde mit Wasser aus dem Bodensee gekühlt und damit konnte der Kältemaschineneinsatz vermieden werden. Heute kann das Wasser zu Kühlzwecken direkt zu den Rechnern geführt werden, wodurch auch ganzjährig ohne Seewasser eine freie Kühlung möglich ist.

### **INTERNE ABWÄRMENUTZUNG: KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE KIT**

Das im Jahr 2016 in Karlsruhe errichtete Rechenzentrum des KIT verfügt über eine Warmwasserkühlung der Racks mit 42/47 °C. Diese hohen Temperaturen erlauben es, die angrenzenden Bürogebäude zu 100 % über die Abwärme der Server ohne zusätzliche Wärmepumpe zu heizen und überschüssige Wärme ganzjährig über trockene Rückkühler abzuführen. Das System wurde 2017 mit dem Deutschen Rechenzentrumspreis ausgezeichnet.

### **EXTERNE ABWÄRMENUTZUNG: VW RECHENZENTRUM BRAUNSCHWEIG**

In Braunschweig hat VW Financial Services im Jahr 2018 ein Rechenzentrum in Betrieb genommen, dessen Abwärme für das angrenzende Wohn- und Gewerbegebiet genutzt wird.

Die Abwärme des Rechenzentrums wird mit Hilfe einer Wärmepumpe auf das notwendige Temperaturniveau zur Versorgung des Nahwärmenetzes angehoben. Die Wärmepumpe dient gleichzeitig als Kältemaschine für das Rechenzentrum. Als zusätzliche Wärmequelle als Backup und Spitzenlastsystem steht für das Wohn- und Gewerbegebiet ein BHKW zur Verfügung.

### **EXTERNE ABWÄRMENUTZUNG: STOCKHOLM**

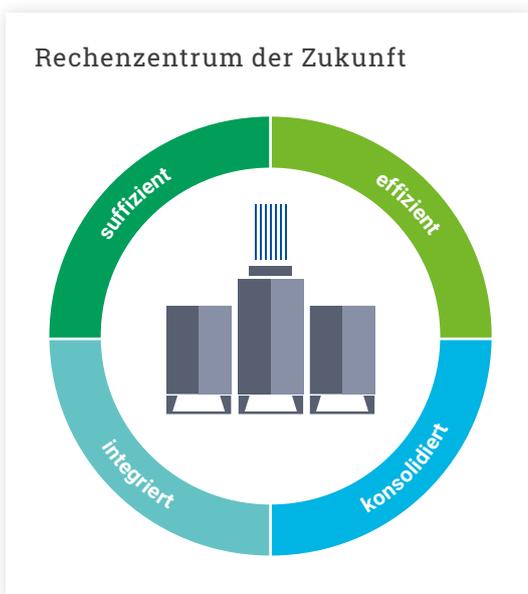
Bereits über 30 Rechenzentren speisen überschüssige Abwärme in das Fernwärmenetz von Stockholm Exergi ein. Die Wärmepumpen dienen in diesen Systemen für die Rechenzentrumsbetreiber als Kälteerzeugung. Die Abnahme der Wärme wird dem Betreiber garantiert und vergütet. Neue Bauplätze für Rechenzentren werden in Stockholm gezielt erschlossen, um eine Abwärmennutzung zu ermöglichen sowie die nötige Infrastruktur bereitzustellen (Strom, Glasfaser etc.). Die Stadt Stockholm (Schweden) verfügt über ein weitverzweigtes Fernwärmenetz und hat sich zum Ziel gesetzt, mit Hilfe der Abwärme aus Rechenzentren bis 2040 komplett auf fossile Energieträger in der Wärmeversorgung verzichten zu können.

Hinweis: All diese Best-Practices basieren auf einer Innovation, welche nur durch ein ortsspezifisches Potenzial (Seewasser, Nebaugebiete oder vorhandene Wärmenetze) genutzt werden können. Die Identifikation von möglichen Synergiestrukturen bereits bei der Standortwahl ist Teil des nachhaltigen Planungsprozesses. Eine umgekehrte Synergieerschließung durch das gezielte Ansiedeln von Wärmabnehmern oder lokalem Ausbau von Wärmenetzen um bestehende Rechenzentren ist jedoch auch möglich.

# Zukunftsvision

## GARANT FÜR WIRTSCHAFTLICHE ENTWICKLUNG

Das Rechenzentrum der Zukunft ist für den Betreiber eine konsequente Adaption der besten verfügbaren Technologien für maximale Effizienz und minimalen Ressourceneinsatz. Für den Nutzer ist es eine Dienstleistung, die zielgerichtet mit minimalem Einsatz den maximalen Nutzen ermöglicht, ohne dass Überkapazitäten bereitgehalten werden müssen. Für das Energiesystem sind Rechenzentren eine konsolidierte Schnittstelle zwischen Strom- und Wärmenetzen und stellt dadurch eine wichtige Sektorkopplungstechnologie dar. Für die Gesellschaft sind Rechenzentren der Garant für die langfristige wirtschaftliche Entwicklung, da digitale Geschäftsmodelle bereits heute und zukünftig verstärkt eine Schlüsselrolle einnehmen.



Das Rechenzentrum der Zukunft rückt nicht nur näher an den Nutzer, sondern entwickelt sich zum integralen Bestandteil der Entwicklung städtischer Quartiere. Die Abwärme von Rechenzentren muss Teil der kommunalen Wärmeplanung werden.

Trotz des Fokus auf die Abwärmenutzung, müssen Effizienzmaßnahmen weiter vorangetrieben werden: die Konsolidierung der Server, um eine optimale Nutzung der verfügbaren Hardware zu gewährleisten, höhere Wirkungsgrade von USV und PSU, die sich zudem bereits heute wirtschaftlich realisieren lassen, sowie hocheffiziente Ventilatoren und Pumpensysteme. Hier bedarf es einer Vorreiterrolle der Rechenzentren beim Einsatz verbesserter Produkte – bereits deutlich vor dem Zeitpunkt, wenn diese Produkte aufgrund von Mindesteffizienzanforderungen im Rahmen der ErP-Richtlinie zwingend vorgeschrieben werden.

Nicht vergessen werden sollte dabei, dass auch die öffentliche Verwaltung – Ämter, Behörden, Hochschulen und Forschungseinrichtungen – eine Vielzahl von Rechenzentren betreiben. Die öffentliche Hand sollte hier eine Vorreiterrolle einnehmen und neuen Technologien den Markteintritt erleichtern. Bei Beschaffungen sollte nicht das Kriterium Rechenleistung pro Euro Investition, sondern Rechenleistung pro Euro Gesamtkosten über dem Lebenszyklus die maßgebliche Größe sein.

Kommunen sollten die Chancen nutzen und Rechenzentren im Rahmen von Quartiersentwicklungen berücksichtigen, denn sie stellen eine der wenigen Industrien dar, die hochwertige Arbeitsplätze mit nur geringen lokalen Umweltbelastungen verbinden. Sie sind darüber häufig der Nucleus für den Ausbau der digitalen Infrastruktur in der Region, von dem auch alle anderen Unternehmen vor Ort profitieren. Denn ohne schnellen Zugang zum Datennetz kann heute kein Unternehmen mehr arbeiten.

# Vorstellung Projektpartner

Das Konsortium besteht aus sieben Partnern, deren Kompetenz für die praxisorientierte Fragestellung des vorliegenden Forschungsprojekts verlangt war, welche durch ein interdisziplinäres, komplementäres Kompetenzprofil vollständig abgedeckt werden konnte. Das Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung übernimmt die Leitung des Konsortiums.



Das **Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)** der Universität Stuttgart bringt die Kompetenz ins Konsortium ein, Techniken zu analysieren, Methoden zu entwickeln und durch Informationsdestillation die relevanten Aspekte für die zu bearbeitende Fragestellung herauszuarbeiten.



Die **ICT Facilities GmbH** als Rechenzentrumsplaner bringt große Erfahrung in der Planung und Realisierung von RZ-Projekten ein. Ferner ist ICT Facilities gut in der Rechenzentrumsbranche vernetzt und kennt die wichtigen Standardisierungsgremien, Zertifikate und Trends.

## ITEOS

**ITEOS** mit Hauptsitz in Stuttgart ist ein kommunaler IT-Dienstleister und entwickelt Lösungen für die Digitalisierung der öffentlichen Hand. ITEOS ist eine Anstalt des öffentlichen Rechts in der Trägerschaft des Landes Baden-Württemberg und dem kommunalen Zweckverband 4IT.

## ÖkoMedia

**ÖkoMedia GmbH** deckt das Leistungsspektrum einer Kommunikationsagentur ab. Durch die Begleitung der Nachhaltigkeitsstrategie Baden-Württemberg bestehen zahlreiche Anknüpfungspunkte zu relevanten Gremien im Land.



Das **Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)** betrachtet die Energiewende ganzheitlich im Strom-, Wärme- und Verkehrssektor. Die Aufgabe ist, Rechenzentren als große Stromverbraucher und Produzenten von Abwärme effizient in ein CO<sub>2</sub>-armes Energiesystem einzubetten.



Die **Universität Ulm (UULM)** beteiligt sich mit ihrer Expertise als Betreiber von großen High Performance Computing Systemen und Cloud-Infrastrukturen wie der BWCloud. Außerdem können Erfahrungen für energieeffiziente IT-Lösungen aus verschiedenen europäischen Forschungsprojekten beigesteuert werden.



Das forschungsintensive **Zentrum Nachhaltige Energietechnik (zafh.net) der Hochschule für Technik Stuttgart (HFT)** arbeitet an innovativen Energiekonzepten & Energiemanagementlösungen und beschäftigt sich mit der Simulation, Steuerung und Systemoptimierung von energietechnischen Anlagen und Gebäuden.

### Assoziierter Partner



### EnergieDienst

Die **Energiedienst Holding AG** beteiligt sich als assoziierter Partner ohne Förderung am Projekt. Energiedienst bietet Energiedienstleistungen für Industrie und Kommunen, ist Direktvermarkter von regenerativen Erzeugungsanlagen und hat Erfahrung in der Vermarktung von Systemdienstleistungen und Flexibilität.

# Danksagung

Das Projekt Nachhaltige Rechenzentren (EcoRZ) wird vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg im Förderprogramm „Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung“ (BWPLUS) beim Projektträger Karlsruhe (Förderkennzeichen BWN17001) gefördert. In Kooperation mit der Landesstrategie Green IT.



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

# Impressum

## Forschungsverbund Nachhaltige Rechenzentren Baden-Württemberg (EcoRZ)

c/o Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und  
Rationelle Energienutzung (IER) Heßbrühlstr. 49 a  
70565 Stuttgart  
Deutschland

Inhaltlich verantwortlich ist der Forschungsverbund Nachhaltige Rechenzentren Baden-Württemberg. Dieser ist ein nicht-rechtsfähiger Kooperationsverbund, an dem die Universität Stuttgart, die Universität Ulm, die Hochschule für Technik Stuttgart, die ICT Facilities GmbH, der ITEOS – Anstalt des öffentlichen Rechts, das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, die ÖkoMedia GmbH und die Energiedienst Holding AG beteiligt sind.

## PROJEKTKOORDINATION

Prof. Dr.-Ing. Peter Radgen  
Lehrstuhl für Energieeffizienz  
Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und  
Rationelle Energienutzung (IER) Heßbrühlstr. 49 a  
70565 Stuttgart

Tel. 0711 / 685-87800

E-Mail: [nachhaltige-rechenzentren@ier.uni-stuttgart.de](mailto:nachhaltige-rechenzentren@ier.uni-stuttgart.de)

Internet: [www.nachhaltige-rechenzentren.de](http://www.nachhaltige-rechenzentren.de)

## REALISIERUNG

ÖkoMedia GmbH  
[www.oekomedia.com](http://www.oekomedia.com)

## BILDNACHWEIS

S. 1, 42: © Mimi Potter – Adobe Stock | S. 2: © KD Busch |  
S. 3: © www.djv-photo.com | S. 4: © United Nations |  
S. 5, 8, 9–14 (Karten), 39: © Institut für Energiewirtschaft  
und Rationelle Energieanwendung (IER) |  
S. 6: © Viacheslav Iakobchuk – Adobe Stock | S. 7: © Blauer  
Engel/RAL gGmbH | S. 10: © chatdanai – Adobe Stock |  
S. 16: © Gorodenkoff – Adobe Stock |  
S. 18, 26, 27: © Elvira Eberhardt | S. 20–22, 30, 32: © Zent-  
rum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-  
Württemberg (ZSW) | S. 24: © Massimo Cavallo – Adobe  
Stock | S. 28–29: © Zentrum Nachhaltige Energietechnik  
(zafh.net) der Hochschule für Technik Stuttgart (HFT) |  
S. 36: © sdecoret – Adobe Stock

## VERÖFFENTLICHUNG

© 06 / 2020 (1. Auflage)

## DRUCK

Klimaneutral gedruckt auf 100 % Recycling-Papier.  
Das verwendete Papier ist mit dem „Blauen Engel“  
zertifiziert.

Der Inhalt und die Darstellung der Broschüre sind urheberrechtlich geschützt und unterliegen dem deutschen Urheberrecht. Vervielfältigungen, Verwendung einzelner Texte oder Textteile sowie von Bildmaterial bedarf unserer vorherigen schriftlichen Zustimmung. Die unerlaubte Vervielfältigung oder Weitergabe einzelner Inhalte oder kompletter Seiten ist nicht gestattet und strafbar.

