

Abwärmennutzung im Rechenzentrum

Ein Whitepaper vom NeRZ in Zusammenarbeit mit dem eco – Verband der Internetwirtschaft e.V.

Autoren:

Tobias Funke

Dr. Ralph Hintemann

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup

Christoph Maier

Steffen Müller

Sören Paulußen

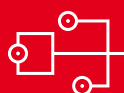
Dr. Jürgen Süß

Ulrich Terrahe



NeRZ

Netzwerk
energieeffiziente
Rechenzentren

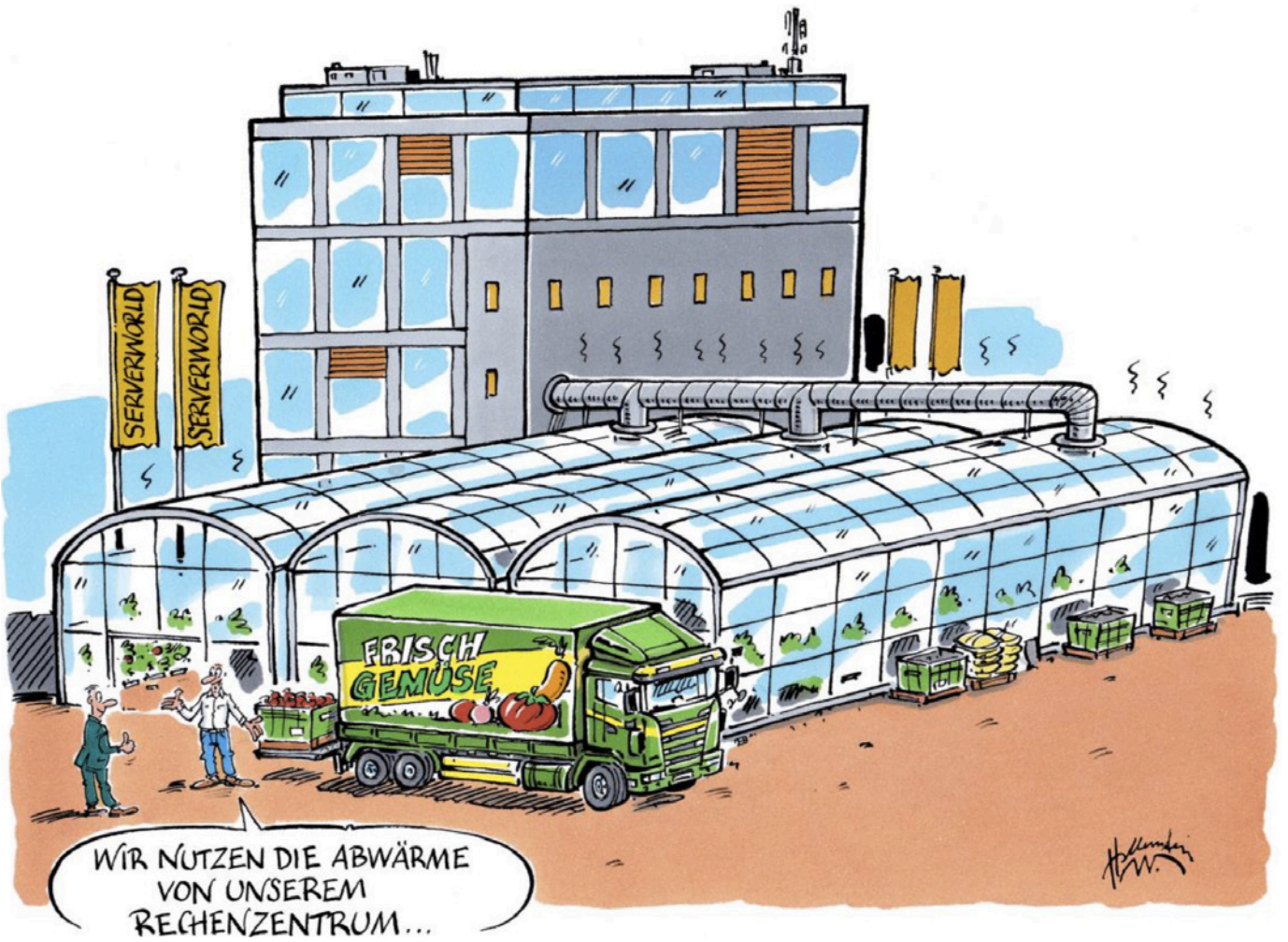


DIGITALE
INFRASTRUKTUREN

WIR SIND DAS INTERNET



WIR GESTALTEN DAS INTERNET.
GESTERN. HEUTE. ÜBER MORGEN.



WIR NÜTZEN DIE ABWÄRME
VON UNSEREM
RECHENZENTRUM...



Inhalt

1. Vorwort	2
2. Einleitung	3
3. Nutzungsmöglichkeiten für Abwärme aus Rechenzentren	5
3.1 Fern- und Nahwärme	5
3.2 Nutzung der Abwärme von Rechenzentren in Anlagen in der Nachbarschaft	6
3.3 Direkte Nutzung im eigenen Gebäude	7
3.4 Potenziale zur Kälteerzeugung aus Abwärme	8
4. Verwendung von Wärmepumpen	10
5. Innovative technische Ansätze zur Abwärmenutzung	11
5.1 Mehrfachfunktionale Hochleistungs-Wärmerückgewinnungssysteme	11
5.2 Abwärmenutzung bei wassergekühlten IT-Systemen	13
6. Zusammenfassung und Fazit	15
7. Links zu weiteren Informationen und Best Practice Beispielen	16
8. Quellenangaben	17
9. Autoren	18



*Dr. Béla Waldhauser
Sprecher der Allianz zur Stärkung Digitaler Infrastrukturen
in Deutschland*

1. Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

so langsam wird auch der breiten Öffentlichkeit bewusst, wie wichtig die digitale Infrastruktur für unser privates und berufliches Leben geworden ist. Es vergeht kein Tag, an dem nicht fast jeder von uns eine E-Mail verschickt, eine App oder schlicht und einfach die verschiedensten sozialen Medien nutzt. Schlagwörter wie Cloud, Internet der Dinge (IoT), Smart Home, Smart City, Smart Factory und Industrie 4.0 sind in (fast) aller Munde. Nicht zu vergessen der neue Mobilfunkstandard 5G, der quasi vor der Tür steht, aber auch autonomes Fahren, welches im kommenden Jahrzehnt mit Sicherheit nutzbar sein wird.

All das benötigt große und zuverlässige Bandbreiten, leistungsfähige Internetknoten wie den DE-CIX, und natürlich auch Rechenzentren jeder Größenordnung. Gerade die Rechenzentren sind in letzter Zeit in den Verruf gekommen, große Energiemengen zu verbrauchen. Das ist auf der einen Seite richtig, denn der Stromverbrauch der Rechenzentren in Deutschland liegt mittlerweile bei über 13 Terrawattstunden (TWh) pro Jahr. Wichtig dabei ist, dass gerade die Groß-Rechenzentren ihrer Aufgabe sehr energieeffizient nachkommen und nur noch einen Bruchteil des verbrauchten Stromes für z.B. die Kühlung benötigen. Auf der anderen Seite ist die Nachfrage der deutschen Bevölkerung nach digitalen Anwendungen so groß und stetig steigend, dass auch der Energieverbrauch dafür weiterhin deutlich ansteigen wird.

Nun fühlen wir Rechenzentrumsbetreiber uns schon seit längerem der Nachhaltigkeit verpflichtet und das nicht erst seit den „Fridays for Future“-Demonstrationen. Als Verantwortliche für eine Vielzahl von Rechenzentren in Deutschland wollen wir auf der einen Seite der immens hohen Nachfrage nach digitaler Infrastruktur gerecht werden, aber auf der anderen Seite dies so umweltfreundlich wie irgend möglich gestalten. So achten wir in unseren Rechenzentren auf konsequente Trennung von Kalt- und Warmgängen. Die Temperaturen in einem modernen Rechenzentrum haben heutzutage nichts mehr mit den „Kühlschränken“ der Vergangenheit zu tun. Und wir setzen neueste Technologien ein, um unsere Dienstleistung so energieeffizient wie möglich zu verrichten.

Dennoch gibt es Verbesserungspotential welches aktuell in Deutschland mehr oder weniger brachliegt, nämlich die Nutzung der Abwärme unserer Rechenzentren. Wenn wir Deutschland mit z.B. Schweden vergleichen, so machen uns die skandinavischen Kollegen so Einiges vor. Im Gegensatz zu Deutschland ist dort allerdings die Nutzung der Abwärme fester Bestandteil der energiepolitischen Konzepte und wird von einer breiten Mehrheit in der Bevölkerung getragen.

Das folgende Whitepaper soll dazu beitragen, dass die Nutzung der Abwärme auch in Deutschland gesellschaftsfähig wird und, wenn immer möglich, auch umgesetzt wird. Noch gibt es leider nur eine Handvoll von Leuchtturmprojekten in unserer Republik. Ich freue mich daher über jeden geneigten Leser dieses Whitepapers, der im Anschluss daran sich überlegt, wo er die bestehenden Konzepte der Abwärme-Nutzung umsetzen kann.

Ich wünsche viel Spaß beim Lesen!

*Dr. Béla Waldhauser
Sprecher der Allianz zur Stärkung
Digitaler Infrastrukturen in Deutschland*



Abb. 1

Gründe, warum Abwärme in Rechenzentren nicht genutzt wird
Quelle: NeRZ – Befragung Rechenzentrumsbetreiber 2017



2. Einleitung

Industrie 4.0, autonomes Fahren, künstliche Intelligenz, Social Networking, Videostreaming – immer mehr und leistungsfähige Anwendungen erfordern immer mehr Rechenleistung in Rechenzentren. Die Anforderungen steigen dabei so stark an, dass trotz deutlicher Fortschritte in der Energieeffizienz von Informationstechnik und Rechenzentrumsinfrastruktur der Strombedarf der Rechenzentren kontinuierlich ansteigt. Im Jahr 2017 benötigten die Rechenzentren in Deutschland 13,2 Mrd. Kilowattstunden (kWh) Strom. Dies entspricht etwa dem gesamten Strombedarf einer Großstadt wie Berlin. Und dieser Strom wird in den Rechenzentren in Wärme umgewandelt, welche bislang fast immer ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird.

Nimmt man den Klimaschutz ernst, dann sollte die Abwärme aus Rechenzentren sinnvoll genutzt werden. Dass dies möglich ist, zeigen bereits viele nationale und internationale Beispiele. Die Nutzungsmöglichkeiten für Abwärme von Rechenzentren sind vielfältig. Sie reichen von der Nutzung der Abwärme für angrenzende Bürogebäude über den Anschluss von Rechenzentren an Nah- und Fernwärmenetze bis hin zur Nutzung für Gewächshäuser und „Vertical Farming“.

Viele Betreiber von Rechenzentren haben die zukünftige Bedeutung der Abwärmenutzung für den Rechenzentrumsbetrieb bereits erkannt. In einer NeRZ-Umfrage gaben 50% der Rechenzentrumsbetreiber in Deutschland an, dass sie mittlere bis sehr hohe Einsparpotenziale durch Abwärmenutzung sehen (Hintemann, 2017). In den Rechenzentren wird die IT zumeist mit Luft gekühlt. Die Wärme wird in der Regel dann in mit Kaltwasserregistern ausgestatteten Umluftklimageräten an ein Wassersystem übergeben und abtransportiert. Hier ergeben sich typischerweise Kaltwasserrücklauftemperaturen von 18 bis 30 °C. Schon auf diesem Temperaturniveau kann die Abwärme genutzt werden, wie die Beispiele in diesem Whitepaper zeigen. Erreicht man beispielsweise durch Flüssigkühlung der IT-Komponenten ein höheres Temperaturniveau, so wachsen die Nutzungsmöglichkeiten des Heißwassers deutlich. Zur Anhebung des Temperaturniveaus kann auch eine Wärmepumpe genutzt werden. Allerdings wird hier – vor allem in Deutschland – durch die Kosten für den zum Betrieb der Wärmepumpe notwendigen Strom – die Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzung deutlich herabgesetzt. Kein Wunder also, dass bei der NeRZ-Umfrage von mehr als der Hälfte der Befragten die mangelnde Wirtschaftlichkeit als Grund angeführt wurde, dass bisher keine Abwärme genutzt wird. Etwas mehr als 40% sahen keine geeigneten Abnehmer für die Wärme (Abbildung 1). Das vorliegende Whitepaper soll Möglichkeiten darstellen, Abwärme aus Rechenzentren in Deutschland wirtschaftlich zu nutzen. Damit soll dazu beigetragen werden, die zur Zeit noch von den Rechenzentrumsbetreibern gesehene Herausforderungen zu überwinden.



Wann eine wirtschaftliche Nutzung der Abwärme eines Rechenzentrums möglich ist und welche Abnehmer in Frage kommen, ist im Einzelfall natürlich abhängig von den konkreten Rahmenbedingungen und der Technologie, die zur Abwärmenutzung eingesetzt wird. Das vorliegende Whitepaper stellt verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten für Abwärme aus Rechenzentren vor, zeigt innovative technologische Ansätze auf und diskutiert die Chancen und Herausforderungen. Dazu werden zunächst in Kapitel 3 Nutzungsmöglichkeiten von Abwärme aus Rechenzentren vorgestellt. Kapitel 4 geht auf die Möglichkeiten zur Verwendung einer Wärmepumpe ein. Anschließend werden in Kapitel 5 innovative technologische Ansätze zur Abwärmeauskopplung aus Rechenzentren dargestellt. Mit einer kurzen Zusammenfassung und einem Fazit in Kapitel 6 schließt dieses Whitepaper.

Einige Fakten zur Abwärmenutzung

- *In den Rechenzentren in Deutschland werden aktuell mehr als 13 Mrd. kWh Strom in Wärme umgewandelt, die ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird.*
- *Viele Anwendungen benötigen ganzjährig Wärme, wie z.B. Schwimmbäder, Wäschereien oder Gewächshäuser. Allein der Wärmebedarf für die Warmwassererzeugung in Deutschland lag im Jahr 2015 bei über 120 Mrd. kWh.*
- *Mehr als 50% der von NeRZ befragten Rechenzentrumsbetreiber sehen für die Zukunft hohe Potenziale durch Abwärmenutzung. Über 30% der Befragten nutzen bereits Abwärme.*
- *Aktuell sind die hohen Strompreise in Deutschland noch eine Herausforderung für die Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen für Abwärmenutzung aus Rechenzentren.*



3. Nutzungsmöglichkeiten für Abwärme aus Rechenzentren

3.1 Fern- und Nahwärme

Eine naheliegende Nutzungsmöglichkeit der Abwärme aus Rechenzentren ist die Einspeisung der Wärme in vorhandene oder neu zu installierende Nah- und Fernwärmenetze. Die Unterscheidung zwischen Nah- und Fernwärmenetzen bezieht sich auf die räumliche Ausdehnung der Netze. Während Nahwärmenetze zumeist innerhalb von kleineren Wohn- oder Gewerbegebieten installiert sind, umspannen Fernwärmenetze meist ganze Städte und sogar Ballungsräumen wie das Ruhrgebiet. Nahwärme arbeitet zudem meist mit einer etwas niedrigeren Wassertemperatur. Die Temperatur in Fernwärmenetzen beträgt meist 80 bis 130°C. Der Übergang zwischen Nah- und Fernwärme ist fließend.

Vor allem in Schweden wird schon heute intensiv die Abwärme aus Rechenzentren genutzt, in dem sie in Fernwärmenetze eingespeist wird. Es gibt bereits 30 Rechenzentren, die ihre Abwärme einspeisen. Zu den Referenzen zählen Ericsson, H&M, Interxion, Bahnhof und Digiplex. Das Stockholmer Fernwärmenetz umfasst rund 2.800 Kilometer. 10.000 Haushalte sind bereits angeschlossen, zu 95 Prozent im Kern von Stockholm (Ostler, 2018). In Zukunft soll das Netz noch deutlich weiter ausgebaut werden. Die Abwärme von Rechenzentren soll bis 2035 ein Zehntel des Heizbedarfs der Metropole decken (GTAI, 2018).

Aktuell wird in Stockholm ein Colocation-Rechenzentrum mit 21 Megawatt (MW) max. Stromaufnahme realisiert. Bei diesem Rechenzentrum leiten Fernwärmerohre die Abwärme nach einer Anhebung des Temperaturniveaus mittels Wärmepumpen direkt zum Biomasseheizkraftwerk Värtaverket. Dort wird die Abwärme auf das Niveau des Fernwärmenetzes angehoben. Auf diese Weise kann die gesamte Abwärme des Rechenzentrums zurückgewonnen und in das Fernwärmenetz der Stadt Stockholm eingespeist werden. Die so nutzbar gemachte Wärmeenergie von etwa 112 Millionen kWh entspricht dem Wärmebedarf einer Kleinstadt mit ca. 20.000 Einwohnern (Ostler, 2016).

Einen ähnlichen Ansatz greift ein Konzept der Technischen Universität Darmstadt auf, die mit dem Projekt „Rechenzentren als Baustein der Energiewende auf Quartiersebene“ den Deutschen Rechenzentrumspreis im Jahr 2017 gewann. In dem Projekt wird eine Kopplung des universitätseigenen Wärmenetzes mit der Abwärme eines Hochleistungsrechners mit Rücklauftemperaturen von 60 °C vorgesehen. Mit Hilfe einer Wärmepumpe wird 70 °C heißes Wasser für das Wärmenetz bereitgestellt (Weis, 2017).

In Braunschweig hat VW Financial Services im Jahr 2018 ein Rechenzentrum in Betrieb genommen, dessen Abwärme für ein angrenzendes Wohn- und Gewerbegebiet genutzt wird (Stachura, 2018). Abbildung 2 zeigt vom Prinzip her, wie Abwärmenutzung aus Rechenzentren in einem Nahwärmenetz aufgebaut werden kann. Im dargestellten Fall wird das Wohngebiet zum einen durch die Abwärme des Rechenzentrums und ergänzend durch ein Blockheizkraftwerk mit Wärme versorgt. Die Abwärme des Rechenzentrums wird mit Hilfe einer Wärmepumpe auf das notwendige Temperaturniveau für das Nahwärmenetz gebracht. Gleichzeitig dient die Wärmepumpe als Kältemaschine für das Rechenzentrum.

Auch an der Universität Greifswald ist aktuell ein Rechenzentrum mit Abwärmenutzung geplant. Dieses Rechenzentrum soll im Jahr 2019 fertig gestellt werden. Die Abwärme des Rechenzentrums wird für ein neues Seminar- und Verwaltungsgebäude genutzt, außerdem wird über eine Nahwärmeleitung ein benachbartes Forschungsgebäude mit Wärme versorgt (Koschinsky, 2018).



Abb. 2

Prinzipieller Aufbau eines Nahwärmenetzes mit Integration eines Rechenzentrums und eines Blockheizkraftwerkes (BHKW)

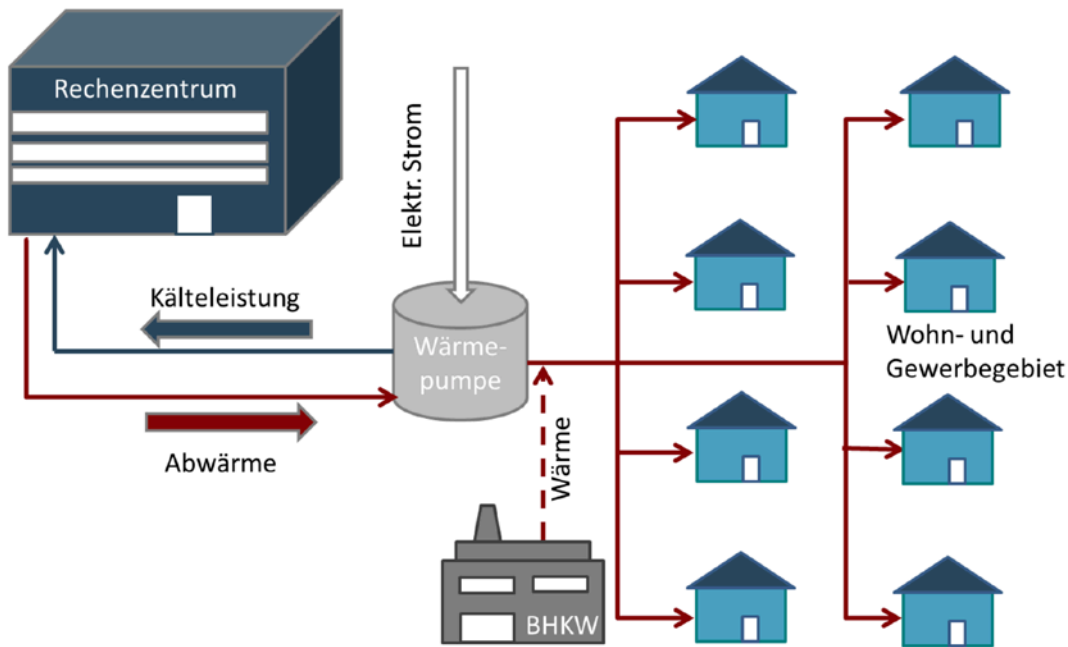


Bild: NeRZ

Die Nutzung der Abwärme in Nah- und Fernwärmenetzen ist mit einigen Herausforderungen verbunden. Insbesondere Fernwärmenetze werden typischerweise mit sehr langen Zeithorizonten geplant und realisiert. Ist also kein geeignetes Fernwärmenetz in der direkten Umgebung vorhanden, so kommt der Anschluss von Rechenzentren in näherer Zukunft meist nicht in Frage. Hier ist eine vorausschauende Planung des künftigen Ausbaus von Nah- und Fernwärmenetzen sowie der Ansiedlung von Rechenzentren erforderlich. Auch hier zeigt das Beispiel Schweden eine mögliche Vorgehensweise. Dort werden sogenannte Data Parks aufgebaut. In diesen können Rechenzentrumsbetreiber ihre Rechenzentren errichten. In den Data Parks ist nicht nur die sichere und redundante Stromversorgung der Rechenzentren und der Anschluss an das Dark Fiber Netzwerk gewährleistet; es ist auch sicher gestellt, dass die Rechenzentren ihre Abwärme in das Fernwärmenetz einspeisen können.

3.2 Nutzung der Abwärme von Rechenzentren in Anlagen in der Nachbarschaft

Ist keine Einspeisung der Abwärme des Rechenzentrums in ein Nah- oder Fernwärmenetz möglich, so besteht vielleicht die Möglichkeit, die Abwärme des Rechenzentrums in Anlagen in der Nachbarschaft zu nutzen. Hierzu kommen beispielsweise Objekte wie Schwimmbäder, Wäschereien oder Gewächshäuser in Frage, die permanent Wärme benötigen. Auch hier besteht die Herausforderung, dass die Wärmeleistung auf einem nutzbaren Temperaturniveau bereitgestellt wird. Außerdem ist die Frage der bilateralen Gestaltung des Wärmelieferungsvertrages zu klären.

In der Schweizer Gemeinde Uitikon wird die Abwärme des Rechenzentrums eines IT-Dienstleisters für die Beheizung des örtlichen Schwimmbades genutzt. Mit Hilfe eines Wärmetauschers wird erhitztes Wasser erzeugt und in das nahe liegende Schwimmbad gepumpt. Die Uitikoner Gemeinde erhält die Wärmelieferung gratis. Sie übernahm zuvor allerdings einen Teil der Anschlusskosten. Pro Jahr erzeugt das Rechenzentrum bei voller Leistung eine Abwärmemenge etwa 2.800 Megawattstunden (MWh) (IDG, 2008).

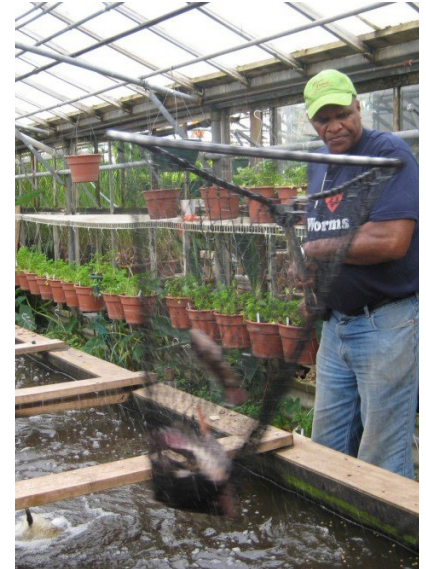
Eine, insbesondere für die Zukunft, interessante Nutzungsmöglichkeit von Abwärme bietet sich im Bereich von Gewächshäusern an. Vor allem im Bereich des sogenannten Vertical Farmings („Vertikale Landwirtschaft“) bieten sich gute Nutzungsmöglichkeiten. Mit Vertical Farming ist eine urbane Landwirtschaft gemeint, bei der die Produktion von pflanzlichen und tierischen Produkten innerhalb der Stadt in mehrstöckigen Gebäuden erfolgt. In den Gebäudekomplexen werden auf mehreren übereinander gelagerten Ebenen das ganze Jahr Obst, Gemüse und beispielsweise Algen angebaut. Vertical Farming ermöglicht wesentlich höhere Ertragsmengen pro Fläche als in der konventionellen Landwirtschaft und erlaubt die lokale Versorgung mit Lebensmitteln in Ballungsgebieten. Auch wirtschaftlich betrachtet bietet Vertical Farming Vorteile gegenüber der Feldwirtschaft: Durch die kontrollierten Umweltbedingungen werden konstante Ernten erreicht. Darüber hinaus wachsen die Pflanzen durch die effektive Nährstoffzufuhr schneller.

Eine Variante des Vertical Farmings ist Aquaponik. Aquaponik verbindet die Fischzucht mit dem Pflanzenanbau. Die Fische werden innen in großen Becken gehalten, ihre Ausscheidungen dienen den Pflanzen als nährstoffreicher Dünger.



Abb. 3

Beispiele für Vertical Farming



Fotos: Wikipedia, CC BY-SA 3.0, CC BY-SA 2.0

Die Kombination von Vertical Farming mit der Abwärmenutzung aus Rechenzentren bietet eine Reihe von Vorteilen. Die Abwärme von Rechenzentren passt gut für die im Bereich des Vertical Farmings/Aquaponik benötigten Temperaturbereiche. Vertical Farming benötigt das ganze Jahr über eine Wärmezufuhr. Räumlich ist eine Kombination von Rechenzentrumsflächen mit Gebäuden für Vertical Farming gut realisierbar.

Für Vertical Farming ist außerdem eine ausreichende Belüftung, also ein regelmäßiger Austausch der Luft zwecks Entfernung unerwünschter Substanzen und damit der Aufrechterhaltung einer guten Luftqualität, sehr wichtig. Bei geeigneter Auslegung der Anlagen können hier Synergieeffekte mit den Systemen der Rechenzentren erreicht werden. Vertical Farming selbst benötigt auch immer mehr Rechenleistung. Es werden immer mehr IT-Systeme eingesetzt, um den Ertrag zu maximieren, Risiken zu minimieren und die Effizienz zu steigern. Eine Verbindung von Vertical Farming Systemen mit Rechenzentren ist also auch aus diesem Aspekt sinnvoll.

3.3 Direkte Nutzung im eigenen Gebäude

Auch innerhalb des Rechenzentrums bzw. in eigenen angrenzenden Gebäuden bieten sich gute Rahmenbedingungen, um beispielsweise mit Hilfe einer Wasser/Wasser-Wärmepumpe die Abwärme zu nutzen. Sehr häufig wird auch heute schon die Abwärme von Rechenzentren genutzt, um die Aufenthaltsräume im Gebäude zu heizen. Allerdings ist die hierfür benötigte Wärmemenge in der Regel meist sehr viel geringer als die im Rechenzentrum anfallende Abwärme; mit einer solchen Lösung kann oft nur 1% der Abwärme genutzt werden (Weis, 2017). Immerhin hilft diese Lösung aber, zumindest die Heizung im

Rechenzentrumsgebäude sehr umweltfreundlich zu betreiben.

Deutlich höhere Nutzungsraten der Abwärme in eigenen Gebäuden können Rechenzentrumsbetreiber erreichen, die neben den Rechenzentren andere Liegenschaften wie Bürokomplexe oder Fertigungsanlagen betreiben. Sieht man mal von großen Cloud- und Colocation-Anbietern ab, so sind bei vielen Betreibern die Rechenzentren in solche großen Liegenschaften eingebettet. Je nach konkreten Rahmenbedingungen ist es in diesen Fällen oft möglich, große Mengen der vorhandenen Abwärme zu nutzen.

Ein praktisches Beispiel für die Nutzung von Abwärme in angrenzenden Liegenschaften bietet die ehemalige Europäische Zentralbank in Frankfurt. Im Hochhaus Eurotheum werden bis zu 90 Prozent der Abwärme des im Gebäude installierten Rechenzentrums genutzt. Die Wärme wird durch ein Heißwasserkühlsystem direkt an den Servern abgeführt. Das bis zu 60°C heiße Wasser wird in den Heißwasserkreislauf des Eurotheums eingespeist. Bei vollem Ausbau produzieren die Server auf jeder der zwei Etagen bis zu 300 kW Abwärme, die zum Beheizen der ansässigen Büro- und Konferenzräume, Hotellerie und Gastronomie genutzt werden können. Durch den Einsatz des Heißwasserkühlsystems für die Server und den damit verbundenen hohen nutzbaren Temperaturen kann auf eine zusätzliche Wärmepumpe verzichtet werden, so dass kein zusätzlicher Strom für die Abwärmenutzung eingesetzt werden muss. Die jährlich anfallenden Kosten für Heizenergie im Hochhaus können so um bis zu 65.000 Euro reduziert werden. Außerdem können noch zusätzliche 95.000 Euro pro Jahr an Kühlkosten für das Rechenzentrum im Vergleich zur konventionellen Luftkühlung eingespart werden (Digitales Hessen, 2018; Ladner, 2017; Ostler, 2017).



Abb. 4

Konventionell gekühltes Kompakt-Rechenzentrum

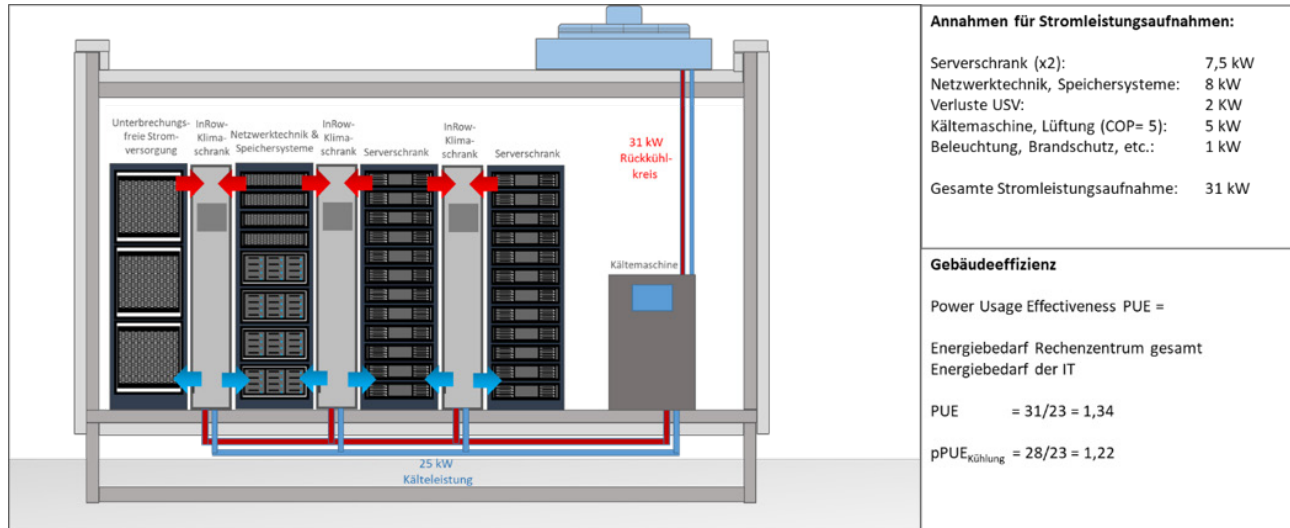


Bild: NeRZ

3.4 Potenziale zur Kälteerzeugung aus Abwärme

Mit Hilfe von Wärme kann auch Kälte erzeugt werden. Dazu sind insbesondere Ab- und Adsorptionskältemaschinen geeignet. Die Nutzung solcher Sorptionskältemaschinen ist mit vielfältigen Vorteilen verbunden. Insbesondere kann so eine Kälteerzeugung ohne die Verwendung klimaschädlicher F-Gase erreicht werden. Während Absorptionskältemaschinen meist in Leistungsklassen größer 200 kW betrieben werden und zur Arbeit ein Wärmeniveau von 75°C und mehr benötigen, eignen sich Adsorptionskältemaschinen auch schon für kleine Leistungen ab 10 kW und arbeiten bereits ab ca. 55°C.

In Kombination mit der Abwärme von Rechenzentren bieten sich eine Reihe von Vorteilen. So kann die im Rechenzentrum anfallende Wärme direkt – und insbesondere auch im Sommer – genutzt werden, um andere Komponenten in oder außerhalb des Rechenzentrums zu kühlen. Damit ist eine ganzjährige Nutzung der Abwärme möglich. Eine solche Lösung bietet sich insbesondere an, wenn die IT-Systeme wassergekühlt sind und damit Wasser mit einer Temperatur von 60°C und höher zur Verfügung steht. Ein entsprechendes Konzept wird aktuell im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Forschungs- und Umsetzungsprojekts HotFIAd („Abwärmennutzung aus Kompakt-Rechenzentren mit Hot-Fluid-Adsorptionskälte-System“) entwickelt und demonstriert (Borderstep Institut, 2019). Im Folgenden sind die Einsparpotenziale der geplanten Lösung anhand einiger Grafiken erläutert. Abbildung 4 zeigt ein effizientes Rechenzentrum mit traditioneller Technik. In diesem Rechenzentrum wird die notwendige Kälte über eine konventionelle Kältemaschine erzeugt. Das Rechenzentrum hat einen sehr guten PUE-Wert von 1,34. Für die Kälteversorgung werden 5 kW Stromleistung benötigt. Der partielle PUE-Wert allein für die Kühlung beträgt 1,22. Das bedeutet, dass das Rechenzentrum im Jahresdurchschnitt 22 % des Energiebedarfs der IT benötigt, um diese zu kühlen.

Abbildung 5 zeigt eine Lösung, wie die Abwärme der Server innerhalb des Rechenzentrums genutzt werden kann, um andere Komponenten wie z.B. Netzwerktechnik und unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) mittels HotFIAd-Konzept zu kühlen. In diesem Fall hätte das Rechenzentrum einen PUE-Wert von 1,15. Der partielle PUE-Wert der Kühlung wäre 1,02. Für die Kühlung würden lediglich 500 Watt Strom benötigt, was einem Zehntel des Strombedarfs der Kühlung des konventionelle Rechenzentrums entspricht.

In einigen Fällen wird die durch den Adsorptionsprozess erzeugte Kälte deutlich höher sein, als die im Rechenzentrum selbst benötigte Kälte. Abbildung 6 stellt daher dar, wie die Abwärme des Rechenzentrums für die Kühlung in angrenzenden Gebäuden genutzt werden kann. Der erreichte PUE-Wert liegt bei 1,17. Für die Kälteversorgung wird 1 kW benötigt. Der partielle PUE-Wert der Kühlung ist 1,03. Im Winter ist es auch möglich, die Abwärme der Server für die Versorgung der angrenzenden Gebäude mit Heizenergie und Warmwasser zu nutzen.

Wie die Berechnungen zeigen, erreicht das HotFIAd-Konzept Effizienzzahlen, wie sie heute nur in sehr großen und optimierten Rechenzentren möglich erscheinen. Zusätzlich ist eine Nutzung der Abwärme in Form von Kälteleistung oder in Form von Wärme für angrenzende Gebäude(-teile) möglich. Gerade in Bezug auf die aktuelle Entwicklung von EDGE-Rechenzentren und 5G Mobilfunkanwendungen ist die Abwärmennutzung in Kompakt-Rechenzentren essenziell für die Nachhaltigkeit.



ABWÄRMENUTZUNG IM RECHENZENTRUM

Abb. 5

Kompakt-Rechenzentrum mit HotFLAd-Konzept und interner Kältenutzung

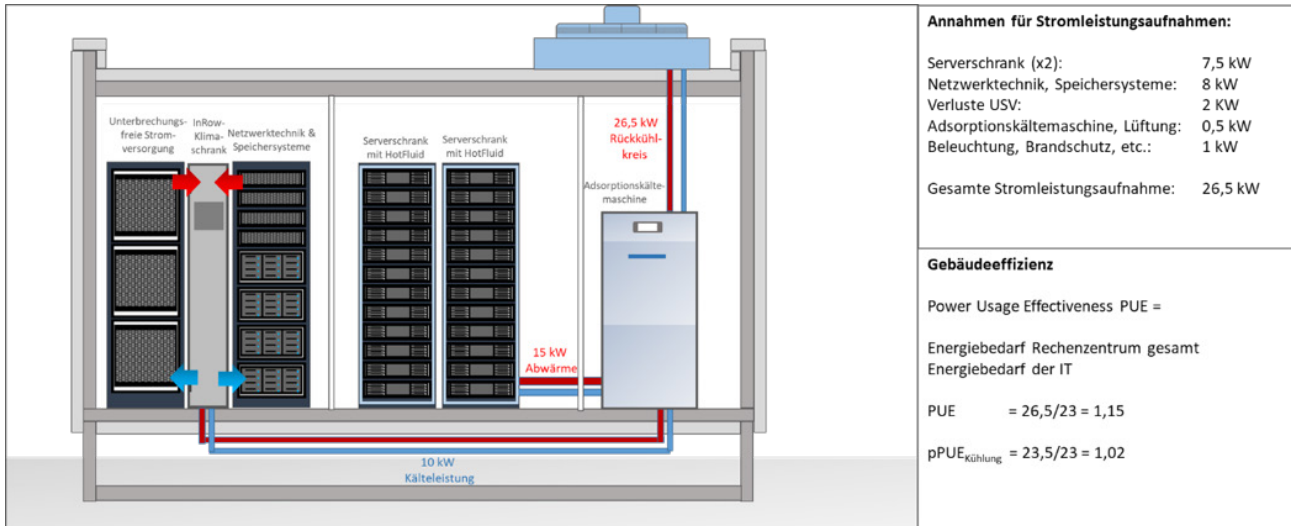


Bild: NeRZ

Abb. 6

Kompakt-Rechenzentrum mit HotFLAd-Konzept und externer Kältenutzung

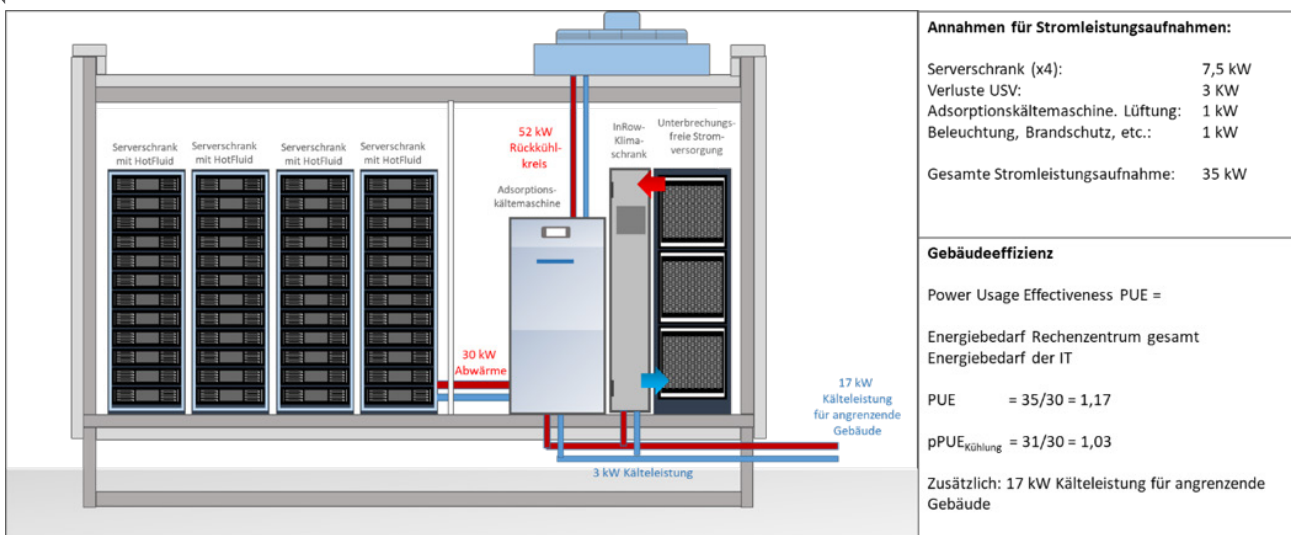


Bild: NeRZ



4. Verwendung von Wärmepumpen

Für viele Nutzungsmöglichkeiten ist das in Rechenzentren oft erreichte Temperaturniveau der Abwärme zwischen 30 und 40°C nicht ausreichend. In diesen Fällen bietet es sich an, mit Hilfe einer Wärmepumpe die Temperatur hinaufzusetzen.

Eine Wärmepumpe nimmt unter Aufwendung von technischer Arbeit thermische Energie aus Quellen niedrigerer Temperatur auf und überträgt diese zusammen mit der Antriebsenergie auf ein System mit höherer Temperatur, so dass die Wärme für andere Anwendungen wie zum Beispiel Raumheizung genutzt werden kann. Mit Hilfe einer Wärmepumpe kann die Abwärme eines Rechenzentrums auf ein Niveau von 60°C und höher gebracht werden. Es sind auch mehrstufige Wärmepumpen möglich, mit denen dann auch ein deutlich höheres Temperaturniveau von 150°C oder noch höher erreicht werden kann.

Ob die Verwendung einer Wärmepumpe zur Nutzung von Abwärme wirtschaftlich sinnvoll ist, hängt insbesondere davon ab, wie teuer die Bereitstellung der technischen Arbeit für die Wärmepumpe ist. Zumeist wird diese technische Arbeit unter Verwendung von elektrischem Strom erzeugt. Die Strompreise sind also entscheidend für die Wirtschaftlichkeit. Durch die EEG-Umlage sind die Strompreise in Deutschland so hoch, dass die Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzung jeweils im Einzelfall geprüft werden muss.

Dass sich selbst unter den Rahmenbedingungen in Deutschland der Einsatz von Wärmepumpen lohnen kann, zeigen die bereits in diesem Whitepaper vorgestellten Praxisbeispiele. Als weiteres Beispiel sei die Abwärmenutzung der Hamburger Zentrale der Vattenfall Europe AG genannt. Hier wird die Abwärme aus den Serverräumen in Verbindung mit einer Turbo-Wärmepumpe genutzt, um ca. 50.000 m² Bürofläche zu heizen. Dadurch werden circa 600 Tonnen CO₂ jedes Jahr eingespart (Fricke, 2016).

Generell gilt: Legt man einen für Deutschland realistischen Verkaufspreis für Wärme von 40 Euro/MWh zugrunde, so müssen die Kosten für den Betrieb der Wärmepumpe pro MWh unter 40 Euro liegen, damit die reine Abwärmenutzung wirtschaftlich sein kann. Bei einem Strompreis von 15 Cent/kWh bedeutet das, dass die Wärmepumpe mit 1 kWh Strom mindestens 3,75 kWh Wärme bereitstellen müsste, die für 4 Cent /kWh (entspricht 40 Euro/MWh) verkauft werden könnte. In Deutschland ist der wirtschaftliche Betrieb von Wärmepumpen aufgrund der Strompreise ein ambitioniertes Ziel und führt in vielen Fällen zu einer Nullrechnung. Berücksichtigt man jedoch weitere Vorteile der Abwärmenutzung, wie die Einsparung von Energie für die Kälteerzeugung oder auch nicht monetäre Wirkungen wie Imagegewinne, so kann die Abwärmenutzung mittels Wärmepumpe auch in Deutschland lohnend sein. Unabhängig davon wäre es aus umweltpolitischen Erwägungen sinnvoll und angebracht, die EEG-Umlage auf den Strom für den Betrieb von Wärmepumpen abzuschaffen (Weis, 2017).



Abb. 7

KV-System mit Entfeuchtungsschaltung und Kältemaschinenabwärme.

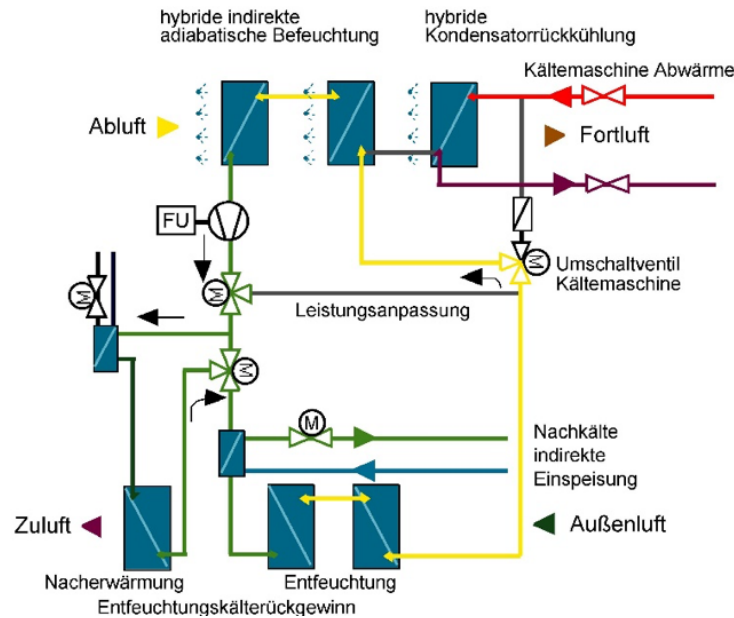


Bild: Howatherm

5. Innovative technische Ansätze zur Abwärmennutzung

5.1 Mehrfachfunktionale Hochleistungs-Wärmerückgewinnungssysteme

Die effiziente und effektive Auskopplung der Wärme stellt eine wesentliche Anforderung dar, um Abwärme aus Rechenzentren zu nutzen. Ein sehr interessanter und vielversprechender technologischer Ansatz hierzu ist die Nutzung von Kreislaufverbund-Systemen (KV-Systemen). Dieser wird im Folgenden kurz vorgestellt.

Bei dem Kreislaufverbundsystem wird sowohl in den warmen als auch in den kalten Luftstrom ein Wärmetauscher eingebaut. Diese Wärmetauscher sind über Rohrleitungen verbunden und mit einem Wärmeträger (Sole) gefüllt. Die warme Luft aus dem Rechenzentrum gibt Wärme an die Sole ab, eine Pumpe fördert diese zum anderen Wärmetauscher, wo die Energie an die kalte Außenluft abgegeben wird.

KV-Systeme sind seit Jahren etabliert und wurden bisher sehr häufig als Wärmerückgewinnungssysteme (WRG) mit niedrigen Übertragungsgraden in der Raumlufttechnik verwendet. Bei entsprechender Auslegung können KV-Systeme aber auch als Hochleistungssysteme mit bis zu 80% Systemübertragungsgrad wirtschaftlich eingesetzt werden.

Der Medienstrom (Sole) eines Hochleistungs-Kreislaufverbund-Systems kann genutzt werden, um Wärme, aber auch Kälte in das System ein- oder auszukoppeln. Dadurch, dass in einem solchen Fall kein zusätzlicher Luft-Wärmeübertrager notwendig ist, erhöht sich die Wirtschaftlichkeit beträchtlich, da zum einen die Investitionskosten verringert und zum anderen die Betriebskosten, verursacht durch die Druckverluste, reduziert werden können.

KV-Systeme bieten neben der Ein- oder Auskopplung von Wärme noch eine Reihe von weiteren Vorteilen. Insbesondere sind folgende erweiterte Funktionen möglich:

- **Indirekte oder direkte Nachkühlung:** Über einen Plattenwärmeübertrager kann z. B. Kaltwasser-Kälte in das System (Zwischenkreis) eingespeist werden.
- **Entfeuchtungsschaltung:** Das KV-System kann auch zur Entfeuchtung der Luft eingesetzt werden. Dazu wird zwischen dem zweiten und dritten Register (in Lufrichtung) Kälte in das System eingespeist. Dies kann direkt oder indirekt erfolgen. Dabei wird die Sole im Zwischenkreis vor dem Eintritt in die zweite Stufe soweit abgekühlt, dass die Luft in den zwei folgenden Stufen entfeuchtet wird (siehe Abbildung 7). Diese unterkühlte Luft wird danach durch das, in Lufrichtung gesehen, dritte Register geführt. Dabei findet im dritten Register zwangsläufig ein Wärmeaustausch statt, der die Sole vor der Kälteeinspeisung vorkühlt und die Luft gleichzeitig erwärmt. Diese vorgekühlte Sole verringert damit wiederum die einzuspeisende Kälteleistung deutlich und die Nacherwärmung kann ohne zusätzliche Primärenergieaufwendungen realisiert werden (Entfeuchtungskälterückgewinnung).



Abb. 8

KV-System mit Abwärmeauskopplung (z. B. Brauchwasservorwärmung)

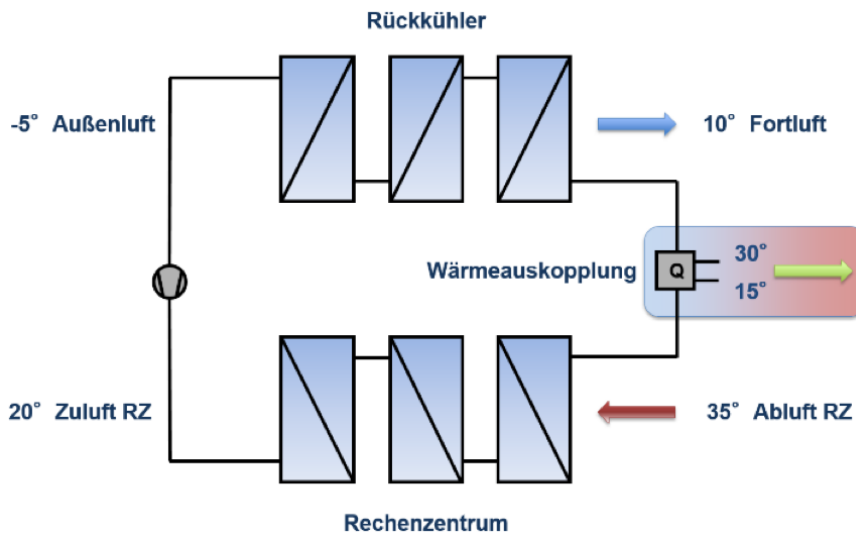


Bild: Howatherm

- **Kältemaschinenabwärme:** Die Abwärme einer evtl. erforderlichen Kältemaschine kann energetisch vorteilhaft über das in Luftrichtung gesehen, letzte Register des Wärmeübertragers im Fortluftstrom abgegeben werden. Hierzu wird das letzte Register aus dem Wärmerückgewinnungsprozess ausgekoppelt und der Kältemaschinenrückkühlung zur Verfügung gestellt (siehe Abbildung 7) oder es wird die Kältemaschinenabwärme über einen Plattenwärmeübertrager im Rücklauf eingespeist.
- **Abwärmeauskopplung:** Hier kann mehr Wärme dem Prozessluftstrom entzogen werden. In diesem Fall kann durch die Verwendung eines Plattenwärmeübertragers Wärme dem Medienstrom z. B. zur Brauchwasservorwärmung entzogen werden (siehe Abbildung 8). Durch die Abwärmenutzung verbessert sich der Übertragungsgrad der Wärmerückgewinnung zudem wesentlich. Diese Abwärme kann auch zur Erwärmung der Zuluft einer raumlufttechnischen Anlage verwendet werden.

Mit dieser Technik lassen sich im Rechenzentrum Vorlauftemperaturen von bis zu 33°C erreichen. Reicht dieses Temperaturniveau nicht aus, kann das Niveau mit einer Wärmepumpe auf ein höheres Niveau gehoben werden. Dabei ist zusätzliche Energie notwendig, welche die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems reduziert.

- **Mehrstufige adiabatische Verdunstungssysteme:** Die adiabatische indirekte Verdunstungskühlung hat sich auch in Rechenzentren bewährt. Über ein Wärmerückgewinnungssystem wird die Verdunstungskälte, die durch einen adiabatischen Befeuchter erzeugt wird, auf die Prozessluftseite übertragen. Durch die Aufteilung des Gesamtsystems in mehrere Stufen entsteht ein komplexes Hybridsystem. Der Vorteil der Mehrstufigkeit liegt in der höheren Kälteleistung gegenüber einem einstufigen System, die daraus resultiert, dass die Lufttemperatur in den folgenden Stufen nochmals abgesenkt wird und somit die mittlere Temperatur tiefer

liegt als bei einem einstufigen System. Die Kälteleistung kann mit diesem Verfahren um etwa 25% gesteigert werden, ohne dass sich dabei die Druckverluste des Systems erhöhen, da die ohnehin benötigten Lamellen nicht nur der Wärmeübertragung dienen, sondern auch als Verdunstungsfläche (Stoffübertragung) herangezogen werden (Hybridsystem) siehe Abbildung 9.

Durch Hybridsysteme werden die Elektroenergiekosten reduziert, da die Druckverluste der Befeuchter (mehrstufig) entfallen und die mechanische Kälteerzeugung erheblich später zum Einsatz kommen kann.

Im Sommerbetrieb wird bei 32°C Außenlufttemperatur eine Zulufttemperatur von ca. 22°C erreicht.

Besonders leistungsfähige KV-Systeme verfügen über Wärmeübertrager, die hohe Temperaturübertragungsgrade von mehr als 75% aufweisen. Außerdem kann die Verdunstungskühlung durch eine Nachverdunstung verbessert werden. Dies kann erreicht werden, indem die Hydrophilie der Oberfläche durch die Zugabe eines speziellen Additivs erhöht wird. Das Additiv wird nur dann eingesetzt, wenn die zusätzliche Nachverdunstung durch die Anforderung an eine höhere Kühlleistung erforderlich wird. Dabei wird das Additiv kontrolliert hinzu dosiert, wodurch die erforderliche Zulufttemperatur über die Additivkonzentration geregelt wird. Somit wird der Bedarf des Additivs auf ein Minimum beschränkt.

Durch den größeren Nachverdunstungseffekt des Befeuchtungswassers wird ein Befeuchtungsgrad erreicht, der dem äquivalenten Befeuchtungsgrad eines einstufigen separaten Befeuchters von über 100% entspricht. Durch das besondere Verfahren kann die Nachverdunstung zudem stufenlos geregelt werden.



Abb. 9

Mehrstufige indirekte Verdunstungskühlung

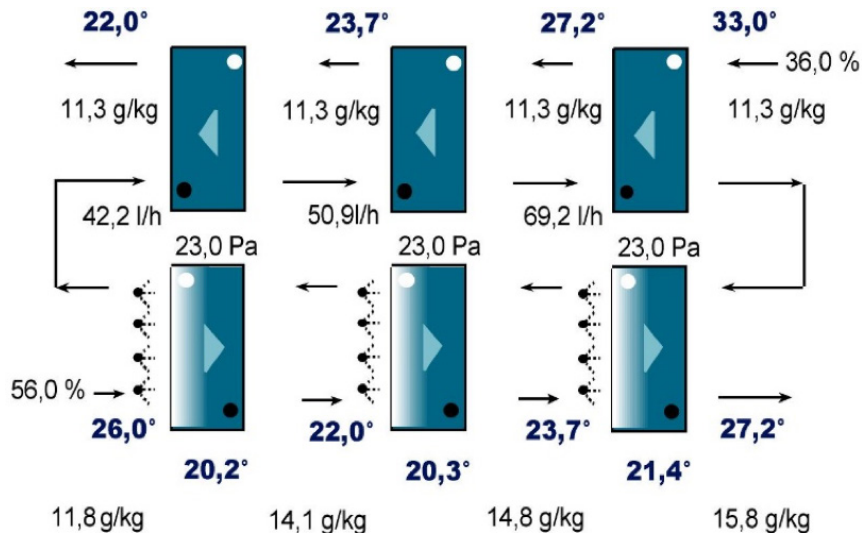


Bild: Howatherm

Mit dieser Neuentwicklung kann selbst bei 32°C und 40% Außenluftkondition und 25°C und 50% Abluftkondition eine Zulufttemperatur von 19°C erreicht werden. Dies wurde bei Validierungsmessungen durch die DEKRA bestätigt. Somit kann die Zulufttemperatur um bis zu 3 Kelvin gesenkt werden. Diese Neuentwicklung hat auch den Vorteil, dass eine zusätzliche mechanische Kälteerzeugung wesentlich seltener eingesetzt werden muss.

5.2 Abwärmennutzung bei wassergekühlten IT-Systemen

Die Kühlung von IT-Komponenten in Rechenzentren erfolgt heute üblicherweise mit Hilfe des Mediums Luft. Diese Form der Kühlung stößt aber in einigen Bereichen mehr und mehr an physikalische Grenzen, da die maximale Leistungsdichte der IT-Komponenten zunimmt und damit immer mehr Wärme pro Serverrack anfällt. Dies ist zum einen dadurch begründet, dass die IT-Komponenten in den Servern immer dichter gepackt werden. Immer größerer Arbeitsspeicher und teilweise die Verwendung von Grafikprozessoren führen zu steigenden Energiebedarfen pro Server. Außerdem ist seit einiger Zeit wieder ein Anstieg der maximalen Leistungsaufnahmen von hoch performanten Prozessoren erkennbar. Während die maximale Abwärme (Thermal Design Power, TDP) von Intel-Server-Prozessoren in den Jahren 2005 bis 2013 bei ca. 150 Watt konstant gehalten wurde, liegt sie bei leistungsstarken Prozessoren 2019 bei bis zu 400 Watt (Abbildung 10).

Aufgrund der relativ ungünstigen thermischen Eigenschaften von Luft würden bei IT-Systemen mit sehr hoher Leistungsdichte extrem hohe Volumenströme benötigt, um die erforderliche Kühlleistung an allen Punkten im Rechenzentrum gleichermaßen zu garantieren. Dies erfordert einen hohen elektrischen Aufwand, um die Zirkulation des Wärmeträgers Luft zu ermöglichen. Auch werden große Querschnitte der Lüftungsanlagen für den Transport benötigt. Die

effiziente Nutzung der generierten Abwärme wird bei solchen Systemen technisch sehr anspruchsvoll.

Der Wärmetransport mit Wasser ist dagegen wesentlich effizienter und könnte zu einer deutlichen Verbesserung bei der Abwärmennutzung führen. Im Bereich wissenschaftlicher Anwendungen und bei anderen Varianten des High-Performance-Computing werden heute bereits zunehmend wassergekühlte Systeme betrieben.

Wassergekühlte IT-Systeme ermöglichen eine sehr gute Nutzung der Abwärme. Direkt aus den Servern wird Warmwasser von 55°C und mehr generiert. Dieses Wasser kann sehr gut für Heizzwecke oder zur Warmwasserbereitung in Wohn- und Geschäftsgebäuden genutzt werden. Auch die Kälteerzeugung aus der Abwärme ist – wie das Projekt HotFIAd (siehe Kapitel 4) und das Leibniz-Rechenzentrum in München (LRZ, 2014) zeigen – möglich und stellt die maximale Veredlung der Abwärmennutzung da.

Es gibt aktuell zwei Systeme zur direkten Flüssigkeitskühlung von Servern:

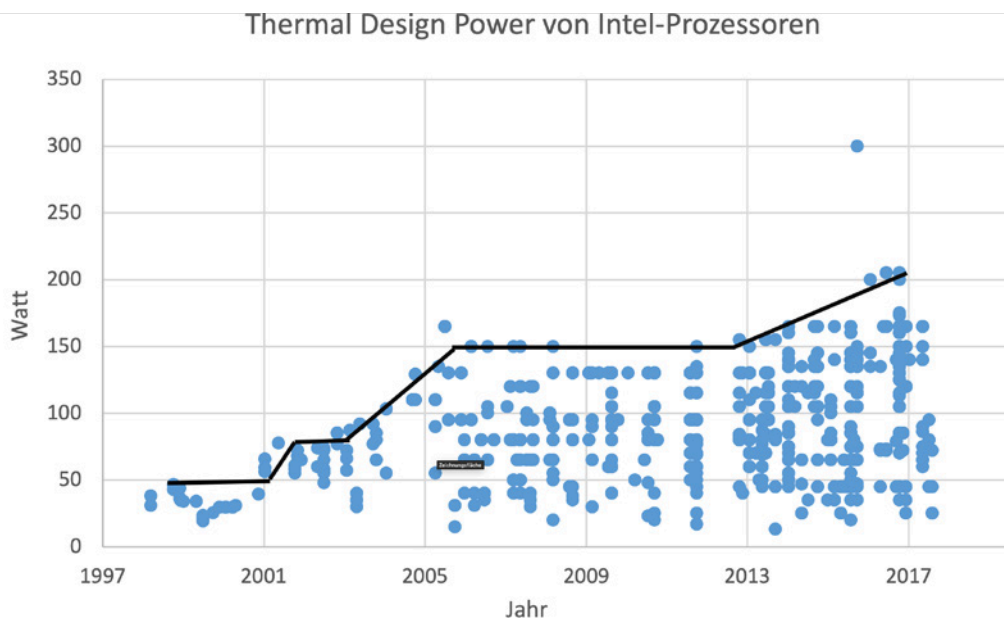
- **Server immersion cooling:** Hier werden die Server in einer Flüssigkeit versenkt (immersion) welche sich dabei erwärmt. Dabei gibt es Systeme mit und ohne Phasenwechsel.
- **Server liquid/water cooling:** Hier wird die Flüssigkeit in einem geschlossenen System zu speziellen Kühlkörpern transportiert, welche dann die Abwärme der Server aufnehmen.

Im folgenden fokussiert dieses Whitepaper auf Server liquid cooling, da bei diesem die normalen Abläufe während des Rechenzentrumsbetriebes nicht angepasst werden müssen.



Abb. 10

Entwicklung der maximalen Leistungsabgabe von Intel-Server-Prozessoren



Daten: Intel
Bild: Borderstep

Abb. 11

Serverboard (verdeckt) mit Kühlkörper und tropffreien Konnektoren (Hot Fluid Konzept) von Thomas Krenn

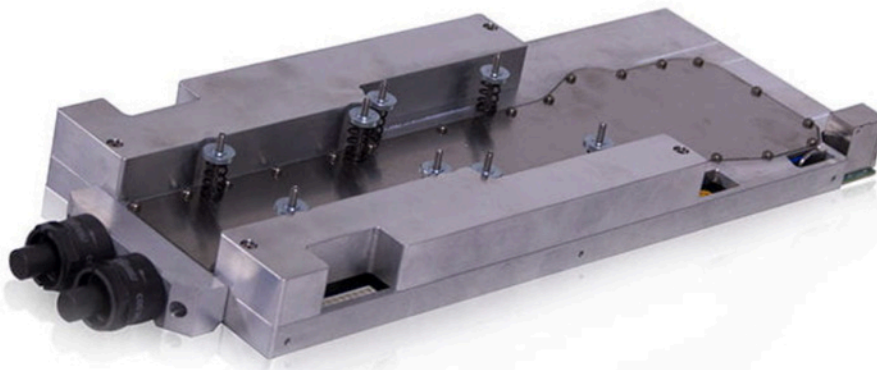


Bild: Howatherm

Eine elegante Lösung der direkten Kühlung von Servern besteht darin – statt Wasserleitungen innerhalb der Server zu verlegen – einen einzigen massiven Kühlkörper zu verwenden. Auf diesem wird die Serverplatine montiert (Abbildung 11). Der Kühlkörper ersetzt das Servergehäuse. Durch die Verwendung des massiven Kühlkörpers gibt es keine leakagegefährdeten Verbindungen innerhalb des Servers, sondern nur einen tropffreien Wasseranschluss auf der Rückseite des Servers. Der Kühlkörper ist so gestaltet, dass er an allen wärmeabgebenden Stellen des Serverboards anliegt.

Zur Maximierung der Wirksamkeit der Abwärmenutzung ist die Wasserführung innerhalb des Kühlkörpers auf die jeweiligen Serverboards hin optimiert. Das kühlere Wasser wird zunächst an die hitzeempfindlicheren Bauteile wie Hauptprozessoren geführt und

danach an die hitzeunempfindlicheren passiven Bauteile. So kann eine möglichst hohe Wassertemperatur realisiert werden.

Die aktuellen Entwicklungen mit einer Zunahme von High Performance Computing unter anderem für den Bereich der künstlichen Intelligenz (AI) und deutlichen Steigerungen der elektrischen Leistungsaufnahme bei Standardservern führen zu sehr günstigen Rahmenbedingungen für Serversysteme, bei denen eine Abführung der Wärme über Flüssigkeiten erfolgt und die Wärme gleichzeitig für Sekundärnutzung zur Verfügung steht. Gleichzeitig nimmt die Hemmschwelle zum Einsatz von wassergekühlten Technologien in den Serverräumen durch den Einsatz von gekühlten Rücktüren und Seitenkühlern (Sidecooler) ab.



6. Zusammenfassung und Fazit

Mit dem vorliegenden Whitepaper zu Abwärmenutzung in Rechenzentren konnte gezeigt werden, dass bereits heute viele unterschiedliche Lösungen zur Nutzung von Abwärme in Rechenzentren existieren. Aus Gründen der Energieeffizienz und zur Vermeidung von Umweltschäden ist der Ausbau der Abwärmenutzung eine wesentliche Herausforderung für Rechenzentrumsbetreiber und auch für unsere Gesellschaft als Ganzes.

Um künftig die Abwärmenutzung in Rechenzentren voran zu treiben, sind insbesondere folgende Maßnahmen erforderlich:

- Rechenzentrumsbetreiber müssen mehr und besser über bereits bestehende Möglichkeiten zur Abwärmenutzung informiert werden.
- Es müssen weitere Nutzungsmöglichkeiten für Abwärme erschlossen werden, z. B. im Bereich der Landwirtschaft/Vertical Farming.
- Die technischen Systeme zur Abwärmenutzung müssen weiter verbessert werden.
- Und nicht zuletzt müssen die politischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen in Deutschland weiter verbessert werden, so dass die Abwärmenutzung mehr gefördert wird. Mit dem Förderprogramm Wärmenetze 4.0 existiert zwar ein guter Ansatz. Es fehlt aber ein umfassendes Konzept, mit dem zum einen die Nutzung der Abwärme gefördert wird und zum anderen die Verwendung fossiler Energien zur Wärmenutzung fair bepreist wird. Die aus Umweltsicht unsinnige Belastung des Wärmepumpenstroms mit der EEG-Umlage müsste abgeschafft werden. Eine vorausschauende Planung und systematische Unterstützung des Aufbaus neuer Wärmenetze unter Berücksichtigung vorhandener Wärmequellen sowie die Schaffung von Anreizen, die Wärme auch abzugeben, sind weitere wichtige Handlungsfelder der Zukunft. Insbesondere vom Beispiel Schweden kann Deutschland viel lernen.

Wir hoffen, dass wir mit diesem Whitepaper Denkanstöße sowohl für Rechenzentrumsbetreiber, andere Branchenvertreter als auch für Journalisten, Behördenvertreter und Vertreter politischer Parteien bieten. Gemeinsam kann es gelingen, künftig die Abwärme aus Rechenzentren stärker zu nutzen und damit einen wesentlichen Beitrag zur nachhaltigen Gestaltung der Digitalisierung zu leisten.



7. Links zu weiteren Informa- tionen und Best Practice Beispielen

Abwärmenutzung des neuen Rechenzentrums an der Universität Greifswald
<https://www.bbl-mv.de/universität-greifswald-neubau-rechenzentrum+2400+1025657>

Abwärmenutzung in Schweden
<https://www.datacenter-insider.de/fortum-kauft-abwaerme-von-schwedischem-rechenzentrum-a-528335/>

<https://www.datacenter-insider.de/datacenter-in-schweden-und-in-deutschland-best-practices-versus-ignoranz-a-718973/>

Leibniz-Rechenzentrum in München
<https://www.lrz.de/wir/green-it/ee-infrastruktur/>

NeRZ-Befragung von Rechenzentrumsbetreibern
<http://ne-rz.de/wp-content/uploads/2018/04/NeRZ-Kurzstudie-Stand-20180327.pdf>

Nutzung der Abwärme für ein Schwimmbad
<https://www.pctipp.ch/news/firmen/artikel/schweizer-rechenzentrum-beheizt-bad-42931/>

Projekt HotFIAd
<http://ne-rz.de/2019/02/25/neues-nerz-zur-abwaermenutzung/>

https://www.hri.tu-berlin.de/menue/research/research_projects/hotflad/

<https://www.borderstep.de/projekte/abwaermenutzung-mit-hot-fluid-adsorptionskaelte-system-hotflad/>

Rechenzentrum in der ehemaligen EZB
<https://www.datacenter-insider.de/cloudheat-uebernimmt-ehemaliges-rechenzentrum-der-ezb-in-frankfurt-a-613373/>

Rechenzentrum TU Darmstadt
https://www.ttd.tu-darmstadt.de/ttd/aktuelles_7/archiv_9/archiv__details_264064.de.jsp

Rechenzentrum von VW Financial Services in Braunschweig
<https://www.braunschweiger-zeitung.de/braunschweig/article215911797/VW-Rechenzentrum-nimmt-den-Betrieb-auf.html>

Unterfränkische Überlandzentrale in Lülsfeld
https://www.weick-energie technik.de/marke_hersteller_produkte/novelan/neuheiten/referenz_rechenzentrum



8. Quellenangaben

Borderstep Institut (2019)
Abwärmennutzung aus Kompakt-Rechenzentren mit Hot-Fluid Computing. Borderstep Institut. Zugriff am 9.5.2019.
Verfügbar unter: <https://www.borderstep.de/projekte/abwaerme-nutzung-mit-hot-fluid-adsorptionskaelte-system-hotflad/>

Digitales Hessen (2018)
Frankfurts grünes Rechenzentrum in der ehemaligen EZB.
Zugriff am 9.5.2019. Verfügbar unter: <https://www.digitalstrategie-hessen.de/Cloudandheat>

Fricke, M. (2016)
Großwärmepumpen: ein wichtiges Bauteil für Fernwärmenetze.
Gehalten auf den Berliner Energietagen.
Zugriff am 30.5.2019. Verfügbar unter: https://www.binkert.de/de/ueber-binkert.html?file=files/binkert/ueber-uns/Fricke_Waermepumpen_Energietage2016%202.pdf

GTAI (2018, Januar 25)
Stockholm will bis 2040 die „smarteste“ Stadt der Welt sein.
Zugriff am 8.5.2019. Verfügbar unter: <https://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=stockholm-will-bis-2040-die-smarteste-stadt-der-welt-sein,did=1856888.html>

Hintemann, R. (2017)
Energieeffizienz und Rechenzentren in Deutschland – weltweit führend oder längst abgehängt? – Kurzfassung der Studie. Berlin: Netzwerk energieeffiziente Rechenzentren – NeRZ.
Zugriff am 28.11.2017. Verfügbar unter: http://ne-rz.de/wp-content/uploads/2017/11/NeRZ_Kurzstudie_RZ-Markt_Stand-20171129.pdf

IDG (2008, April 4)
Schweizer Rechenzentrum beheizt Bad. PCTipp.ch.
Zugriff am 8.5.2019. Verfügbar unter: <https://www.pctipp.ch/news/firmen/artikel/schweizer-rechenzentrum-beheizt-bad-42931/>

Koschinsky, S. (2018, Dezember 18)
Universität Greifswald, Neubau Rechenzentrum | bbl-mv – Universität Greifswald.
Zugriff am 5.6.2019. Verfügbar unter: <https://www.bbl-mv.de/universitaet-greifswald-neubau-rechenzentrum+2400+1025657>

Ladner, R. (2017, Dezember 10)
Cloud&Heat eröffnet grünes Rechenzentrum in der ehemaligen EZB in Frankfurt. Zugriff am 9.5.2019.
Verfügbar unter: <https://netzpalaver.de/2017/12/10/cloud-heat-eroeffnet-ihr-gruenes-rechenzentrum-in-der-ehemaligen-ezb-in-frankfurt/>

Ostler, U. (2016, April 5)
Fortum kauft Abwärme von schwedischem Rechenzentrum.
Zugriff am 8.5.2019. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/fortum-kauft-abwaerme-von-schwedischem-rechenzentrum-a-528335/>

Ostler, U. (2017, Juni 2)
Cloud&Heat übernimmt ehemaliges Rechenzentrum der EZB in Frankfurt. Zugriff am 9.5.2019.
Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/cloud-heat-uebernimmt-ehemaliges-rechenzentrum-der-ezb-in-frankfurt-a-613373/>

Ostler, U. (2018, Juni 4)
Datacenter in Schweden und in Deutschland – Best Practices versus Ignoranz.
Zugriff am 8.5.2019. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/datacenter-in-schweden-und-in-deutschland-best-practices-versus-ignoranz-a-718973/>

Stachura, J. (2018)
VW-Rechenzentrum nimmt den Betrieb auf – Braunschweig. Braunschweiger Zeitung.

Thomas Krenn AG (2017)
Server-Kühlung: Wasserscheu ist heilbar – Wie Flüssigkühlung praxistauglich werden kann. DataCenter Insider.

Weis, T. (2017)
Abwärmennutzung aus Rechenzentren: Möglichkeiten – Potenziale – Einsatzgebiete. IKZ Gebäude- und Energietechnik.



9. Autoren

Tobias Funke
TOBOL GmbH
t.funke@tobol.de

Dr. Ralph Hintemann
Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit
gemeinnützige GmbH
hintemann@borderstep.de

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup
HOWATHERM Klimatechnik GmbH
kaup@howatherm.de

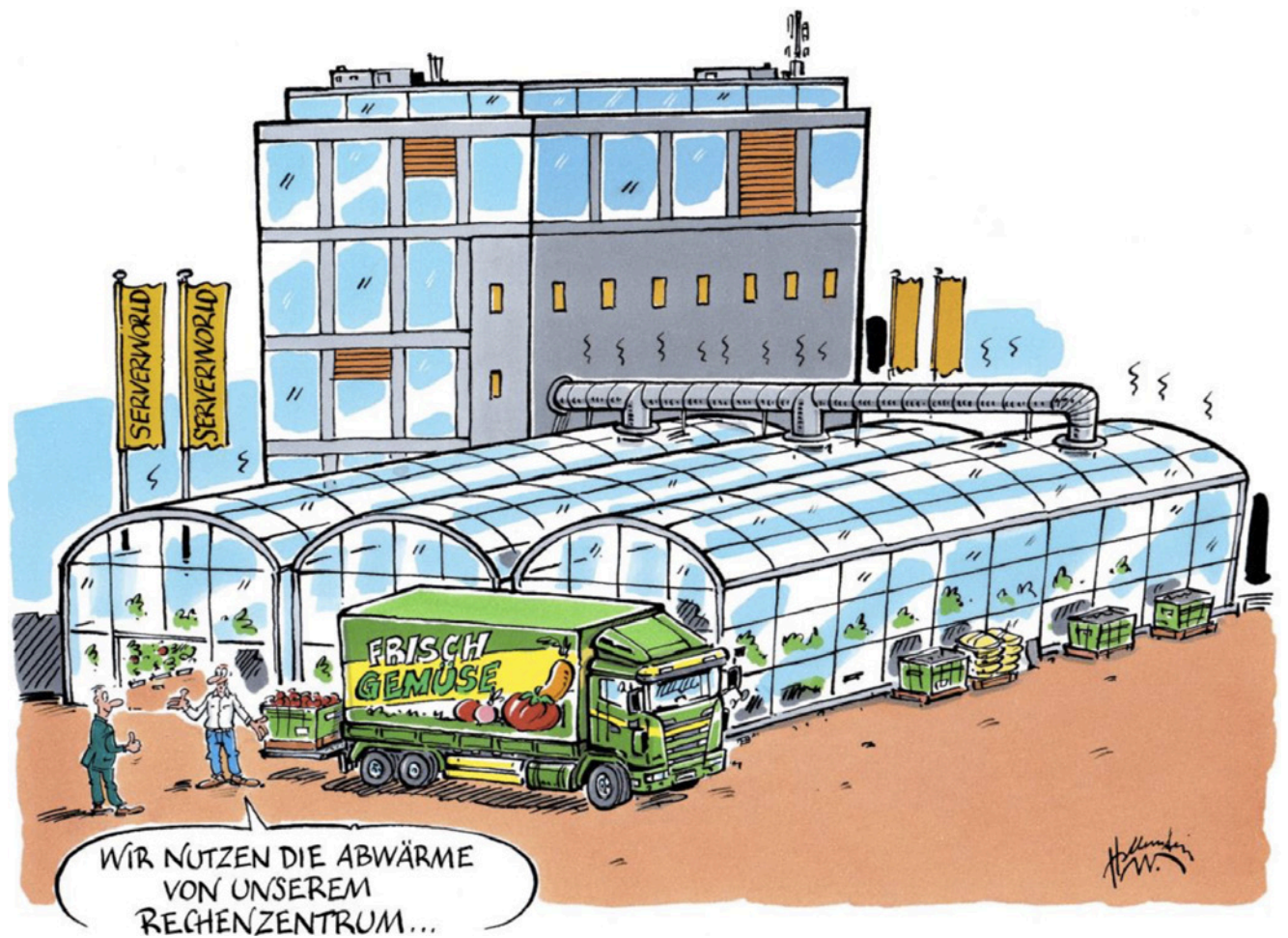
Christoph Maier
Thomas-Krenn.AG
cmaier@thomas-krenn.com

Steffen Müller
geff GmbH
steffen.mueller@geff.de

Sören Paulußen
InvenSor GmbH
soeren.paulussen@invensor.de

Dr. Jürgen Süß
Efficient Energy GmbH
juergen.suess@efficient-energy.de

Ulrich Terrahe
dc-ce RZ-Beratung GmbH & Co. KG
u.terrahe@dc-ce.de



WIR NUTZEN DIE ABWÄRME
VON UNSEREM
RECHENZENTRUM...

H. W.

NeRZ – Netzwerk energieeffiziente Rechenzentren

vertreten durch:

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit

gemeinnützige GmbH

Clayallee 323, 14169 Berlin

fon +49 (0)30 306 45 100-5

info@ne-rz.de, www.ne-rz.de



NeRZ

Netzwerk
energieeffiziente
Rechenzentren



DIGITALE
INFRASTRUKTUREN

WIR SIND DAS INTERNET

eco – Verband der Internetwirtschaft e.V.

Lichtstraße 43h, 50825 Köln

fon +49(0)221/700048-0

fax +49 (0)221 / 700048-111

info@eco.de, www.eco.de

 @eco_de,  @ecoverband



WIR GESTALTEN DAS INTERNET.
GESTERN. HEUTE. ÜBER MORGEN.