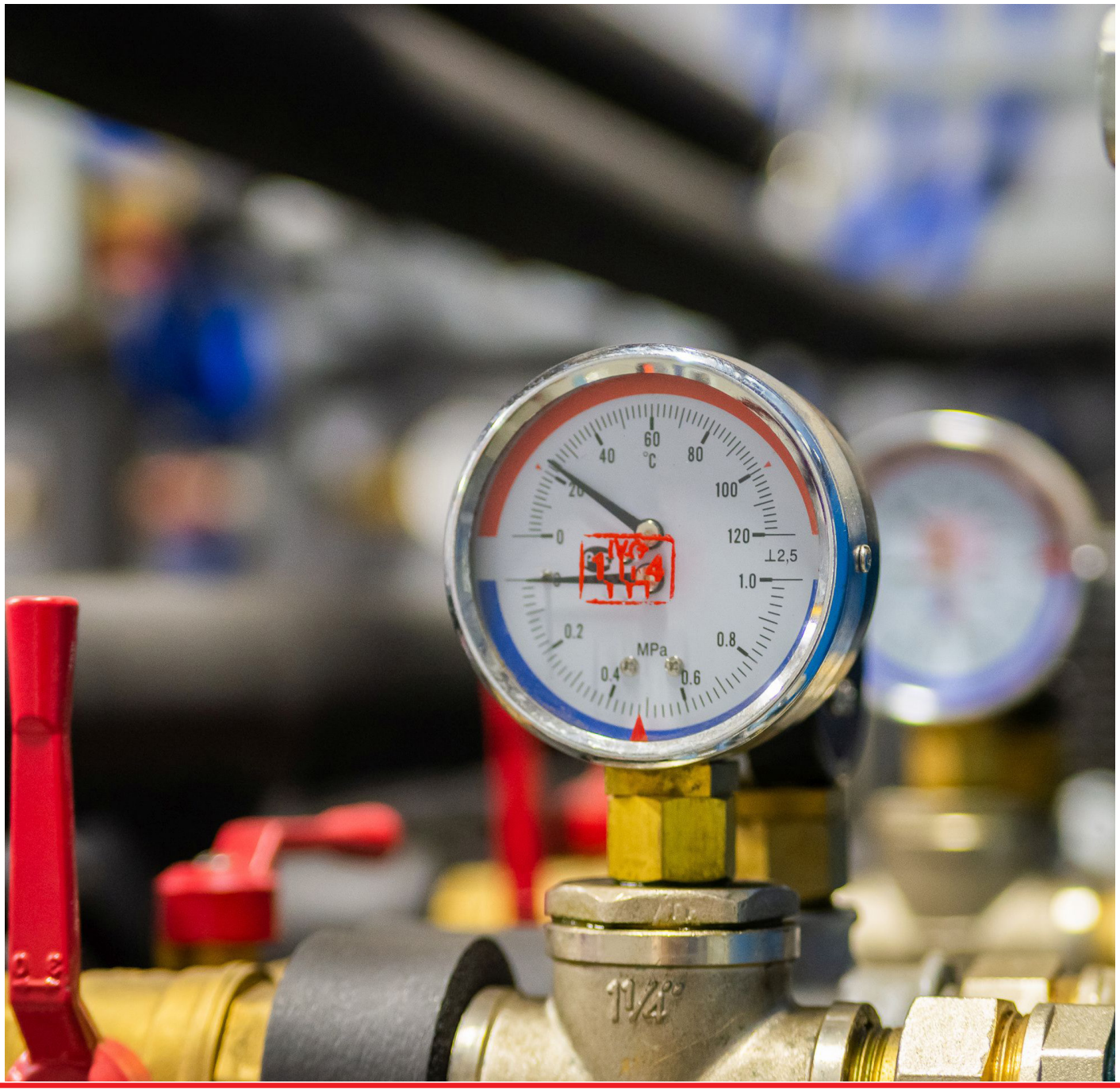
HINTERGRUNDPAPIER

Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzung aus Rechenzentren in Deutschland

Stand September 2020



BORDERSTEP INSTITUT
für Innovation und Nachhaltigkeit
Wissen, das bewegt

Das Wichtigste in Kürze

- Rechenzentren benötigen zunehmend mehr Energie. Im Jahr 2020 verbrauchen allein die Rechenzentren in Deutschland 16 Mrd. kWh elektrischen Stroms. Diese enorme Energiemenge wird als Wärme an die Umgebung abgegeben.

- In Deutschland wird Abwärme aus Rechenzentren aus wirtschaftlichen Gründen bisher praktisch nicht genutzt. Ein Blick ins Ausland zeigt hier, was möglich ist. Allein in Stockholm sind aktuell 30 Rechenzentren an das Fernwärmenetz angeschlossen.

- Hemmnisse für eine wirtschaftliche Nutzung von Abwärme aus Rechenzentren liegen insbesondere in hohen Stromkosten für den Betrieb von Wärmepumpen.

- Neue technische Lösungen sowie sich wandelnde ökologische und ökonomische Rahmenbedingen führen dazu, dass der Abwärmenutzung aus Rechenzentren in Zukunft eine hohe Bedeutung zukommen wird.

- Um die Abwärmenutzung in Deutschland voranzubringen, bedarf es der Zusammenarbeit von Politik, Rechenzentrumsbranche, Energieversorgern, Projektentwicklern und Kommunen.

Hintergrund

Die voranschreitende Digitalisierung führt dazu, dass immer mehr und immer größere Rechenzentren errichtet werden, die immer mehr Energie benötigen. Im vergangenen Jahrzehnt stieg der Stromverbrauch der Rechenzentren in Europa um 55 Prozent auf insgesamt 87 Mrd. kWh (Hintemann & Hinterholzer, 2020).

Allein in Deutschland liegt der Stromverbrauch von Rechenzentren im Jahr 2020 bei 16 Mrd. kWh. Das ist mehr, als die gesamte Stadt Berlin an Strom verbraucht. Dieser Strom wird in den Servern und anderen Geräten in Rechenzentren in Wärme umgewandelt, die dann meist mit zusätzlichem Aufwand an die Außenluft abgegeben wird.

Wärmebedarf in Gebäuden wird überwiegend aus fossilen Energieträgern gedeckt

Bei luftgekühlten Rechenzentren beträgt das Temperaturniveau, auf dem die Wärme das Rechenzentrum verlässt, meist nur 25 bis 35 °C. Dennoch ist der Ansatz, diese Wärme einer Verwendung zuzuführen, aus mehreren Gründen interessant.

- Zum einen wird der Wärmebedarf in Gebäuden und Anlagen heute oft noch zu großen Teilen aus fossilen Energieträgern gedeckt und der Anteil erneuerbarer Energien stagniert seit 2012 zwischen 14 Prozent und 15 Prozent (AGEE-Stat, 2017). In Zukunft sollten aber fossile Energien aus Klimaschutzgründen ersetzt werden.

- Zum zweiten erfolgt der Auf- und Ausbau neuer Rechenzentren mit einer hohen Geschwindigkeit. Der Neubau von Rechenzentren könnte so geplant werden, dass eine Nutzung der Wärme in der Umgebung in möglichst vielen Fällen realisierbar wird. Insbesondere in Ballungszentren wie dem Rechenzentrumshotspot Frankfurt am Main, in dem mehr als 20 Prozent des Stroms in die Rechenzentren fließen, ist eine Versorgung von Wohn- und Gewerbegebäuden mit Wärme besonders attraktiv.

- Zum dritten ermöglichen es neue Technologien, wie die Heißwasserkühlung von Servern, dass die Wärme das Rechenzentrum auf einem hohen Temperaturniveau von 60 °C und mehr verlässt. Damit werden vielfältige Nutzungen bis hin zur Kälteerzeugung mit Hilfe von Adsorptionskältemaschinen wirtschaftlich attraktiv (Funke et al., 2019).

Bislang erfolgt die Nutzung von Abwärme aus Rechenzentren in Deutschland jedoch nur in Ausnahmefällen. Gründe dafür sind neben vielfältigen organisatorischen Herausforderungen insbesondere die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen.

Ein Betrieb der notwendigen Anlagen ist in Deutschland oft nicht kostendeckend möglich. Ein Blick nach Schweden zeigt, dass dies nicht zwingend so sein muss. Allein in Stockholm sind über 30 Rechenzentren an das Fernwärmenetz angeschlossen (Ostler, 2018).

Das vorliegende Hintergrundpapier erörtert diese Zusammenhänge und entwickelt Handlungsmöglichkeiten, wie in Zukunft mehr Abwärme auch aus Rechenzentren in Deutschland genutzt werden kann.

Autoren

Dr. Jens Clausen
Mitgründer Borderstep Institut
Senior Researcher
M clausen@borderstep.de
T +49 30 306 45 100-0

Dr. Ralph Hintemann
Gesellschafter Borderstep Institut
Senior Researcher
M hintemann@borderstep.de
T +49 30 306 45 100-5

Simon Hinterholzer
Researcher
M hinterholzer@borderstep.de
T +49 30 306 45 100-32

Wesentliche Fakten

Luftgekühlte Rechenzentren

Wird die Abwärme aus Rechenzentren nutzbar gemacht, so ist dies sowohl in Hinblick auf den notwendigen Primärenergieeinsatz als auch hinsichtlich der Treibhausgasemissionen ökologisch vorteilhaft. Unter den gegebenen Rahmenbedingen ist die Nutzung von Abwärme aus Rechenzentren in Deutschland in der Regel aber nicht wirtschaftlich rentabel.

Insbesondere im Fall luftgekühlter Rechenzentren existieren nur wenige Nutzungsmöglichkeiten für die Abwärme, bei denen keine deutliche Erhöhung des Temperaturniveaus mit Hilfe einer Wärmepumpe notwendig ist. Schon eine Anhebung der Abwärmetemperatur von 25 °C auf 70 °C würde zu hohen Stromkosten für die Wärmepumpe führen. Bei einem Strompreis von 16 Ct/kWh$_{Strom}$ ergeben sich Stromkosten von 5 Ct/kWh$_{Wärme}$.

Wirtschaftlicher Betrieb kaum möglich

Berücksichtigt man, dass diese Wärme mit der fast kostenlosen Abwärme aus fossil betriebenen KWK-Kraftwerken konkurriert, ist ein wirtschaftlicher Betrieb einer solchen Anlage in einem so ungleichen Wettbewerb aktuell kaum möglich. Dies gilt insbesondere, weil die notwendige technische Ausstattung mit Wärmepumpen und Anschluss an das Fernwärmenetz aufwändig und teuer ist. Würde z.B. die EEG-Umlage auf Wärmepumpenstrom gesenkt und könnte der Rechenzentrumsbetreiber mit 10 Ct/kWh$_{Strom}$ kalkulieren, so errechnen sich Stromkosten für die Wärmebereitstellung von etwa 3 Ct/kWh$_{Wärme}$.

Schweden plant Abwärmenutzung

Zum Vergleich: Aufgrund der niedrigen Strompreise in Schweden ist dort die Bereitstellung der Wärme zu Stromkosten von etwa 1,5 Ct/kWh$_{Wärme}$ möglich. Der Anschluss von Rechenzentren an das Fernwärmenetz in Stockholm wird zusätzlich durch die Einrichtung sogenannter Data Parks gefördert.

In Zusammenarbeit der Kommune Stockholm, der Wirtschaftsförderung und der Betreiber von Fernwärme-, Strom- und Telekommunikationsnetzen werden hier Flächen zum Bau und Betrieb von Rechenzentren angeboten, bei denen die Abwärmenutzung von Anfang an fest mit eingeplant ist.

Schon heute könnte theoretisch mehr als 10 Prozent des gesamten Wärmebedarfs der Stadt Frankfurt am Main durch Rechenzentren gedeckt werden. Und es ist absehbar, dass die Abwärme aus Rechenzentren ausreichen würde, um in Zukunft alle Wohngebäude in Frankfurt am Main mit Wärme zu versorgen.

Dr. Ralph Hintemann, Borderstep Institut

Rechenzentren mit Heißwasserkühlung

Unter Zugrundelegung der hohen Strompreise in Deutschland erscheinen aus aktueller Sicht im Wesentlichen Lösungen zur Nutzung von Abwärme aus Rechenzentren interessant, die auf Heißwasserkühlung von Servern basieren.

Dies hat den Vorteil, dass vom Rechenzentrum heißes Wasser auf einem Temperaturniveau von 60 °C zur Verfügung gestellt werden kann. Damit kann die Wärme direkt und ohne Wärmepumpe für viele Zwecke genutzt werden.

Insbesondere im Bereich des High Performance Computings (HPC) werden schon heute viele Serversysteme nicht mit Luft, sondern mit Flüssigkeit gekühlt. Mit der Zunahme von Anwendungen im HPC-Bereich (NeRZ, 2019) ist davon auszugehen, dass in Zukunft die Zahl der heißwassergekühlten Systeme deutlich zunimmt.

Beispiel Rechenzentrum Eurotheum

Das Beispiel des Eurotheums in Frankfurt am Main zeigt, dass eine Abwärmenutzung mit effizienter Heißwasserdirektkühlung gegenüber konventioneller Luftkühlung deutliche Kosteneinsparungen bringen kann. (Cloud&Heat, 2019; Hintemann, Hinterholzer & Clausen, 2020).

- Im Eurotheum können jährlich etwa 190.000 € an Kühlkosten eingespart werden.
- Zudem ermöglicht die Abwärmenutzung Heizkosteneinsparungen von 65.000 € pro Jahr

Mit Abwärme Wärme und Kälte erzeugen

Die Abwärme von Rechenzentren kann insbesondere bei Heißwasserkühlung auch dazu genutzt werden, um mittels Adsorptionstechnik Kälte zu erzeugen. Die so gewonnene Kälte kann z.B. zur Kühlung von nicht mit Flüssigkeit gekühlten Netzwerkkomponenten oder Speichersystemen in den Rechenzentren genutzt werden.

Solche Installationen ermöglich unter den heute vorliegenden wirtschaftlichen Rahmenbedingungen Amortisationszeiten von etwa fünf Jahren. Dies zeigen praktische Tests und Kalkulationen im Projekt **› Hot-FlAd – Abwärmenutzung aus Kompakt-Rechenzentren mit Hot-Fluid-Adsorptionskälte-System.**

Die mittels Adsorptionstechnik gewonnene Kälte kann auch dazu genutzt werden, im Sommer z.B. Büroräume in nahegelegenen Gebäuden zu kühlen. In Kombination mit einer Abwärmenutzung im Winter können so die saisonal bedingten gegenläufigen Bedarfe an Wärme (insbesondere Raumheizung) und Kälte (insbesondere Raumklimatisierung) gestillt werden.

Die zur Gewinnung der Abwärme notwendige Infrastruktur, wie das Heißwasserkühlsystem, kann damit über die Jahreszeiten hinweg intensiver genutzt werden.

Großwärmepumpen in einem Rechenzentrum in Stockholm
Bildquelle: Revemann

Trends und Ausblick

Vier wesentliche Entwicklungen dürften die Wirtschaftlichkeit der Einspeisung von Abwärme aus Rechenzentren in Fernwärmenetze in den nächsten Jahren ganz erheblich verbessern:

Zusammen mit den niedrigeren Strompreisen führt dies dazu, dass die variablen Stromkosten der Wärmepumpe auf das Niveau von ca. 2 Ct/kWh$_{Wärme}$ sinken. Damit steigt die Wettbewerbsfähigkeit der Abwärmenutzung insbesondere im Vergleich zu den teurer werdenden fossilen Wärmequellen sehr deutlich.

Durch die Entwicklungen ergibt sich eine grundsätzlich andere ökonomische Situation. Der Wirkungsgrad von Wärmepumpen steigt aufgrund der Senkung des notwendigen Temperaturhubs bei modernen Fernwärmenetzen deutlich an.

Wesentliche Entwicklungen

1. Es wird erwartet, dass die technische Weiterentwicklung der IT-Komponenten auch außerhalb des Bereichs des High Performance Computings zu einer Erhöhung der Leistungsdichten in Rechenzentren führt. Daher ist zu erwarten, dass zunehmend mehr Heißwasserkühlung eingesetzt wird und damit auch mehr Abwärme auf einem Temperaturniveau von 60 °C verfügbar sein wird (Weis, 2017).

2. Um die Effizienz von Fernwärmenetzen zu erhöhen, werden in den nächsten Jahren voraussichtlich die Netzvorlauftemperaturen von heute oft 100 °C bis 110 °C auf 70 °C bis 80 °C gesenkt. Ermöglicht wird dies durch die fortschreitende Sanierung des Gebäudebestandes, wodurch die Anforderungen an das Temperaturniveau des Wärmenetzes sinken.

3. Es ist davon auszugehen, dass in den nächsten Jahren die EEG-Umlage langsam abgesenkt wird. Für das Jahr 2021 wird mit dem Konjunkturpaket der Bundesregierung die EEG Umlage auf 6,5 Ct/kWh gesenkt. Für das Jahr 2022 ist im Konjunkturprogramm der Bundesregierung eine weitere Senkung der Umlage auf 6,00 Ct/kWh geplant[1]. Für die längerfristige Entwicklung rechnet Agora Energiewende (Haller, Loreck & Graichen, 2015, S. 18) schon vor Jahren mit einem Absinken auf ca. 4,4 Ct/kWh in 2035.
   Einnahmen aus dem Bundesemmissionshandelsgesetz (BEHG, ugs. CO_2-Steuer) werden zukünftig in die Finanzierung des EEG-Kontos beitragen und so eine Senkung der EEG-Umlage unterstützen. Im September 2020 merkte auch Peter Altmaier an: „Insofern halte ich es perspektivisch für möglich, die EEG-Umlage in den nächsten zehn Jahren schrittweise abzusenken und schließlich ganz abzuschaffen“ (Rheinische Post, 2020).

4. Die vierte Entwicklung betrifft die steigende CO_2-Abgabe und die damit verbundene Wettbewerbsfähigkeit gegenüber konventioneller Wärmeerzeugung. Die für 2021 angekündigte CO_2-Abgabe von 25 €/t CO_2 wird bis 2025 auf 55 €/t CO_2 steigen. Das IPCC leitet für die Abgabe einen Korridor ab, in dem sich die optimalen globalen CO_2-Preise verschiedener Modellrechnungen bewegen (IPCC, 2014). Das zugrunde liegende Szenario zielt darauf, die Erderwärmung „wahrscheinlich“ auf höchstens 2 °C zu begrenzen. Die Modellrechnungen laufen für 2020 auf einen Kostenkorridor für die die CO_2-Abgabe von 34 bis 60 €/t CO_2 , für 2030 von 60-120 €/t CO_2 und für 2050 ca. 120-250 €/t CO_2 hinaus. Der Erdgaspreis würde dadurch um jeweils 1 Ct/kWh für jeweils 50 €/t CO_2 steigen. Unsicher ist, wie sich eine steigende CO_2-Abgabe auf die Preise im EU-Emissionshandel auswirken würde. Grundsätzlich ist aber damit zu rechnen, dass sich die Wettbewerbsfähigkeit aller fossiler Energien, die im Wettbewerb mit Abwärme stehen, sehr erheblich reduzieren wird.

1 Jeweils 25 Prozent der Modellrechnungen geben höhere und niedrigere CO2-Preise an, Wertbasis in 2010 $.

Methode der Berechnung

Bei den in diesem Hintergrundpapier ermittelten wirtschaftlichen Eckpunkten für Abwärmenutzung aus Rechenzentren werden insbesondere drei Ansätze betrachtet:

A) Erhöhung des Temperaturniveaus der abgebenden Wärme mit Hilfe einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe.

B) Verwendung von Heißwasserkühlung von Servern, mit denen Wärme auf einem Temperaturniveau von mehr als 60 °C und höher bereitgestellt werden kann.

C) Nutzung von Heißwasserkühlung von Servern in Kombination mit der Verwendung von Adsorptionskältemaschinen zur Bereitstellung von Kälte.

Der Fall A ist bislang in Deutschland im Gegen satz zu dem oben genannten Beispiel Stockholm aufgrund der hohen Strompreise für den Wärme pumpenstrom kaum wirtschaftlich zu realisieren.

Für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen beim Einsatz von Heißwasserkühlung (Fall B) wird in diesem Hintergrundpapier auf das gut dokumentierte Beispiel des Cloud-Rechenzentrums im Eurotheum (Cloud&Heat, 2019) zurückgegriffen.

Zum Fall C, in dem die Nutzung von Heißwasserkühlung mit einer Adsorptionskältemaschine kombiniert wird, liegen Erkenntnisse zur Wirtschaftlichkeit aus dem Projekt **HotFlAD** vor, in dem eine solche Lösung zum einen im Labor getestet und weiterentwickelt wird und zum anderem in einem Rechenzentrum bei Noris Networks demonstriert wird (Borderstep, 2019).

Die Frage, ob wir heute Rechenzentren an Wärmenetze anschließen sollten, darf sich nicht nur an den aktuellen Rahmenbedingungen orientieren. Die Kalkulation der Wirtschaftlichkeit sollte möglichst realistische, aber natürlich dennoch unsichere Annahmen über die zukünftige Entwicklung zu Grunde legen. Eine Entscheidung zur Abwärmenutzung kann auch aus heutiger Sicht ökonomisch rational sein, wenn sie die zu erwartenden Preisentwicklungen über die nächsten 20 Jahre einrechnet.

Dr. Jens Clausen, Borderstep Institut

Quellen

AGEE-Stat. (2017). Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Berlin: BMWi.

Arpagaus, C., Bless, F., Uhlmann, M., Schiffmann, J. & Bertsch, S. S. (2018). High Temperature Heat Pumps: Market Overview, State of the Art, Research Status, Refrigerants, and Application Potentials. Gehalten auf der International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Lafayette IN.

Baehr, H. D. & Kabelac, S. (2016). Thermodynamik: Grundlagen und technische Anwendungen (Lehrbuch) (16., aktualisierte Auflage.). Berlin: Springer Vieweg.

Borderstep. (2019). Abwärmenutzung aus Kompakt-Rechenzentren mit Hot-Fluid Computing. Borderstep Institut.

Cloud & Heat. (2019). CO_2- und Kosteneinsparpotenziale durch das Cloud & Heat-Kühlsystem mit Abwärmenutzung in Rechenzentren.

Funke, T., Hintemann, R., Kaup, C., Maier, C., Müller, S., Paulußen, S. et al. (2019). Abwärmenutzung im Rechenzentrum: Ein Whitepaper vom NeRZ in Zusammenarbeit mit dem eco – Verband der Internetwirtschaft e. V. Berlin.

Hintemann, R. & Hinterholzer, S. (2020). Rechenzentren in Europa – Chancen für eine nachhaltige Digitalisierung - Teil 1. Berlin: Allianz zu Stärkung digitaler Infrastrukturen in Deutschland.

Hintemann, R., Hinterholzer, S. & Clausen, J. (2020). Rechenzentren in Europa – Chancen für eine nachhaltige Digitalisierung - Teil 2. Berlin: Allianz zu Stärkung digitaler Infrastrukturen in Deutschland.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge.

NeRZ. (2019, Februar 10). Stark wachsendes Marktsegment des High Performance Computings bietet Chancen für Abwärmenutzung. NeRZ.

Ostler, U. (2018, Juni 4). Datacenter in Schweden und in Deutschland - best Practices versus Ignoranz.

Rheinische Post. (2020, September 19). Altmaier will EEG-Umlage abschaffen.

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

Impressum

Dr. Jens Clausen
Dr. Ralph Hintemann
Simon Hinterholzer

Borderstep Institut für Innovation
und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH
Clayallee 323 | 14169 Berlin

M clausen@borderstep.de
hintemann@borderstep.de
hinterholzer@borderstep.de
T +49 30 306 45 1000
W www.borderstep.de