



Whitepaper

CO₂- und Kosteneinsparpotenziale
durch das Cloud&Heat-Kühlsystem mit
Abwärmenutzung in Rechenzentren

Inhaltsverzeichnis

Executive Summary	2
1 Einleitung.....	2
1.1 Heißwasser-Direktkühlung mit Cloud&Heat-Technologie.....	2
1.2 Das Projekt Eurotheum	3
1.2.1 Hintergrund zum Projekt	4
1.2.2 Kurzbeschreibung des Projekts.....	4
2 Einsparungen.....	6
2.1 Onboard-Lüfter	6
2.2 Energieeffizienz der Kühlung	6
2.3 Abwärmenutzung	7
3 Modellberechnung.....	8
3.1 Ausgangsdaten und Annahmen.....	9
3.2 Klassische Luftkühlung.....	10
3.2.1 Freie Kühlung.....	10
3.2.2 Wärmemengen.....	11
3.2.3 Elektroenergiebedarf.....	11
3.3 Cloud&Heat-Kühlung.....	12
3.3.1 Wärmemengen.....	12
3.3.2 Elektroenergiebedarf.....	13
3.4 Einsparungen	14
3.4.1 Energieeinsparung.....	14
3.4.1.1 Einsparung Elektroenergie.....	14
3.4.1.2 Einsparung Wärme	14
3.4.2 Kosteneinsparung.....	15
3.4.3 CO ₂ -Einsparung	16
4 Fazit und Ausblick.....	17

Executive Summary

Rechenzentren wandeln 100 % des IT-Stroms in Wärme um und müssen deshalb aufwendig gekühlt werden. Die Kühlung wird derzeit hauptsächlich über eine Luftkühlung und Kompressionskältetechnik realisiert, die die entstehende Wärme unter hohem Energieaufwand abtransportiert und die Abwärme meist ungenutzt an die Umgebung abgibt. Dieser Ansatz ist nicht energieeffizient und verursacht **einen enormen Stromverbrauch sowie hohe Kosten und substanzielle CO₂-Emissionen**.

Damit Rechenzentren nachhaltiger werden, hat Cloud&Heat ein **Kühlsystem mit einer Heißwasser-Direktkühlung und Abwärmenutzung** entwickelt. Durch diesen innovativen Ansatz ergeben sich signifikante Einsparpotenziale in drei Bereichen. Erstens können die Onboard-Lüfter, die bis zu 25 % der Server-Leistung ausmachen, demontiert oder mit geringeren Drehzahlen betrieben werden. Zweitens ist die Heißwasser-Direktkühlung deutlich **energieeffizienter** als die Luftkühlung, die 40 % bis 60 % des Strombedarfs von Rechenzentren ausmacht. Drittens muss die entstehende **Abwärme** nicht ungenutzt an die Umgebung abgegeben werden, sondern kann wiederverwendet werden, um z.B. Gebäude zu heizen.

Eine Modellberechnung auf Basis des Eurotheum-Projekts in Frankfurt am Main zeigt die Dimensionen der Einsparpotenziale. Ein zu 50 % ausgelastetes 500 kW-Rechenzentrum mit Luftkühlung verbraucht ca. 1.000 MWh pro Jahr allein für die Kühlung. Demgegenüber verbraucht die Cloud&Heat-Kühlung unter den gleichen Annahmen ca. 320 MWh/a. Durch weiteres Einsparpotenzial im Bereich Onboard-Lüfter ergibt sich eine mögliche **Gesamtstromersparnis von ca. 950 MWh/a**, das heißt 70 % weniger Energiebedarf zur Kühlung. Gleichzeitig liefert das Rechenzentrum über **900 MWh/a Wärme**.

Je nach Stromtarif und Wärmepreis ergibt sich ein **Kostenvorteil von bis zu 255.000 € pro Jahr**. Gleichzeitig werden dadurch **710 Tonnen CO₂ pro Jahr** eingespart. Um die gleiche Menge CO₂ pro Jahr zu kompensieren, wären **56.800 Laubbäume oder bis zu 90 Fußballfelder Wald** erforderlich.

1 Einleitung

Aus der Idee heraus, die Abwärme von Servern zur Gebäudeheizung zu nutzen, hat sich Cloud&Heat zu einem Spezialisten für **energieeffiziente, sichere und skalierbare Rechenzentren** entwickelt und unterstützt Unternehmen beim Bau und Betrieb von nachhaltigen IT-Infrastrukturen. Mit einem speziell entwickelten Kühlsystem auf Basis der Heißwasser-Direktkühltechnologie können eine Reihe verschiedener Vorteile realisiert werden.

Die **Cloud&Heat-Kühllösung**:

- verbraucht erheblich weniger Energie als klassische Luftkühlungssysteme,
- ermöglicht die unkomplizierte Nutzung der entstehenden Abwärme,
- reduziert die Lärmbelastung und
- erreicht hohe Leistungsdichten bei geringem Flächenverbrauch durch eine deutlich kompaktere Bauweise.

Obwohl Energieeffizienz und Abwärmennutzung immer mehr im Fokus der Rechenzentrumsbranche stehen, gibt es nur wenige belastbare Zahlen und Modellrechnungen zum Einsparpotenzial beim Einsatz von Flüssigkeitskühlungen, im Speziellen einer Heißwasser-Direktkühlung. Ziel dieses Whitepapers ist es, das **Einsparpotenzial der Cloud&Heat-Kühlung im Vergleich zur klassischen Luftkühlung** anhand einer konkreten Modellberechnung nachvollziehbar aufzuzeigen und technisch zu erklären.

1.1 Heißwasser-Direktkühlung mit Cloud&Heat-Technologie

IT-Hardware wandelt 100 % der ihr zugeführten elektrischen Energie in Wärmeenergie um. Ein Server mit 500 W elektrischer Leistungsaufnahme produziert folglich 500 W thermische Leistung. Vor diesem Hintergrund stellt die **Kühlung eine Grundvoraussetzung für den zuverlässigen Betrieb** von Rechenzentren dar. Sie sorgt dafür, dass die entstehende Wärme abgeführt wird und gewährleistet so, dass die Betriebstemperaturgrenzen der (Halbleiter-)Komponenten eingehalten werden.

Cloud&Heat verfolgt den Ansatz, mit einer effizienten **Heißwasser-Direktkühlung** den energetischen **Aufwand für die Kühlung zu minimieren** und die **Abwärme zu nutzen**. Bei dieser Kühltechnologie werden mit Wasser durchströmte Kühlkörper eingesetzt, die direkten Kontakt mit den zu kühlenden Bauteilen, wie z. B. den Prozessoren haben (s. Abbildung 1). Somit

führt die Direkt-Wasserkühlung die thermische Leistung der IT-Komponenten unmittelbar dort ab, wo sie entsteht.

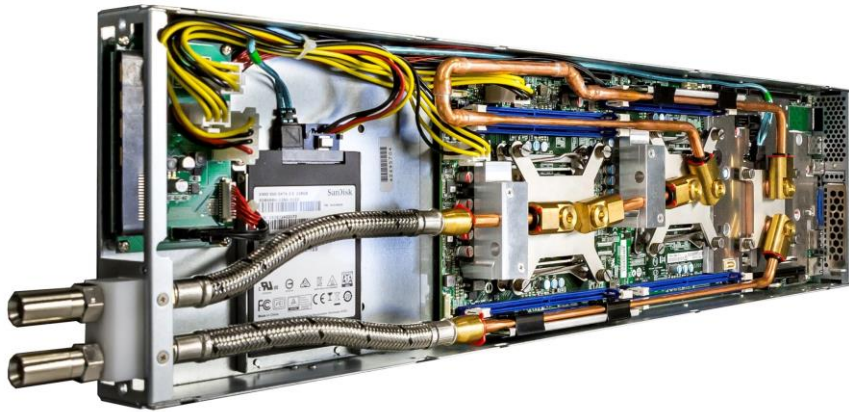


Abbildung 1: 100% wassergekühltes Blade der Firma Megware

Cloud&Heat hat sich, über die reine Wärmeabfuhr hinaus, darauf spezialisiert, durch die präzise Steuerung der Volumenströme die in Rechenzentren entstehende Abwärme für Heizungssysteme nutzbar zu machen, indem ein ausreichend hohes Temperaturniveau erreicht wird. Das Wasser wird so lange softwaregesteuert in einem Hydrauliksystem im Kreis geführt, bis es die für die Heizung erforderliche Entkopplungstemperatur erreicht hat und so in den Heizkreislauf über einen Wärmetauscher eingespeist werden kann. Das Kühlsystem realisiert dabei die für Anwendungen im Gebäudesektor **praxisrelevante Mindesttemperatur von 60 °C**.

1.2 Das Projekt Eurotheum

Das Projekt Eurotheum bildet die Grundlage für die nachfolgend aufgezeigte Modellrechnung. Im Rahmen des Projekts hat Cloud&Heat in den Räumlichkeiten des ehemaligen Rechenzentrums der Europäischen Zentralbank im Hochhaus Eurotheum, inmitten von Frankfurt am Main, ein energieeffizientes Rechenzentrum geplant, gebaut und in Betrieb genommen. Dafür wurden 2018 umfangreiche Umbau- und Sanierungsarbeiten durchgeführt, welche sowohl die Modernisierung der Server- und Büroräume, als auch die Installation von Cloud&Heat-Serverschränken sowie die Integration des Hydraulikkreislaufes in die Hochhausinfrastruktur umfassten.

1.2.1 Hintergrund zum Projekt

Weltweit wird der anteilige **Energieverbrauch für IT im Jahre 2030 voraussichtlich bei ca. 20 %** liegen.¹ In Frankfurt am Main hat die Anzahl der Rechenzentren, die ihre Dienste Banken, Telekommunikations- und Wirtschaftsunternehmen sowie Endkunden zur Verfügung stellen, schon heute stark zugenommen. Die Rechenzentren sind bereits für einen Anteil von 20 % des Strombedarfs im Großraum Frankfurt verantwortlich - Tendenz weiter steigend.²

Dies steht im Konflikt mit dem „**Masterplan 100 % Klimaschutz**“ der Stadt Frankfurt am Main. Bis 2050 soll der Energiebedarf der Stadt um 50 %, die Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 um mindestens 95 % reduziert werden.³ Für die europäische Hauptstadt der Rechenzentren ist deshalb das Thema Energieeffizienz von großer Bedeutung. „Projekte wie das im Eurotheum sind zwingend notwendig, wenn wir Frankfurt als attraktiven Standort für Rechenzentren bewahren und gleichzeitig die gesetzten Klimaschutzziele erreichen wollen,“ sagt Max Weber, Klimaschutzmanager, Energiereferat der Stadt Frankfurt am Main. Ihm zufolge werden Rechenzentren in Frankfurt deshalb immer stärker in den Fokus rücken. Cloud&Heat unterstützt damit die lokalen, aber auch nationalen Klimaziele aktiv mit seinem energieeffizienten Rechenzentrum im Eurotheum.

1.2.2 Kurzbeschreibung des Projekts

Das Eurotheum wurde im Jahre 2000 errichtet und bis zum Neubau der Europäischen Zentralbank auch von dieser genutzt. In der 7. Etage und im Untergeschoß wurde ein redundantes, hochsicheres und hochverfügbares Rechenzentrum eingerichtet. 2018 wurde die bestehende Rechenzentrumsinfrastruktur innerhalb eines Zeitraumes von nur sechs Monaten komplett modernisiert und **von einer klassischen Luftkühlung der Server auf eine Heißwasser-Direktkühlung mit Anbindung an die zentrale Heizungsversorgung** des Gebäudes umgestellt.

Dabei wurden folgende Maßnahmen ergriffen:

- Ablösung der bestehenden IT-Infrastruktur
- Neugestaltung der Rechenzentrumsperipherie
- Entwicklung eines Kühlkonzeptes

¹ <https://www.nature.com/articles/d41586-018-06610-y>

² <https://www.borderstep.de/netzwerk-energieeffiziente-rechenzentren>

³ https://www.frankfurt.de/sixcms/media.php/738/161209_Masterplan%20Brosch%C3%BCre%20Final_web_bf_pdfua.pdf

- Integration der Cloud&Heat-Hardwaretechnologie mit dem Abwärmenutzungssystem
- Wärmebereitstellung für die lokale Heizungs- und Warmwasseranlage
- Aufrechterhaltung der Sicherheitsstufe Tier 3+
- Entwicklung einer OpenStack-basierten IT-Infrastruktur für die Bereitstellung von Public Cloud-Diensten

Cloud&Heat hat auf den Flächen des ehemaligen Rechenzentrums der EZB moderne Server mit der eigens entwickelten Kühllösung eingebaut. Das Kühlsystem speist ca. 70 % der von der Hardware produzierten Wärme in den Heißwasserkreislauf des Eurotheums ein. Die Wärme wird direkt vor Ort zum Beheizen der ansässigen Büro- und Konferenzräume, der Hotellerie (Innside Frankfurt Eurotheum) und der Gastronomie (Cafeteria und Skybar) genutzt.



Abbildung 2: Cloud&Heat-Serverraum im Eurotheum, Frankfurt/Main

2 Einsparungen

Mit der Verwendung der Cloud&Heat-Kühltechnologie eröffnen sich Einsparpotenziale in drei Bereichen:

1. Einsparungen durch **reduzierten Energieverbrauch der Onboard-Lüfter**.
2. Einsparungen durch eine **höhere Energieeffizienz der Kühlung**.
3. Einsparungen durch die **Nutzung der Abwärme**.

2.1 Onboard-Lüfter

Durch eine Direktkühlung können die Onboard-Lüfter entweder komplett demontiert oder die Drehzahl der Lüfter drastisch reduziert werden. Bei typischen Server-Systemen beträgt die **Lüfterleistung bis zu 25 %** (vgl. Abschnitt 3.1), die für den wassergekühlten Teil eingespart werden kann. Diese Einsparung führt zu einer direkten Einsparung durch den geringeren Strombedarf. Zum anderen reduziert sich auch die gesamte zu kühlende Wärmemenge, da die Onboard-Lüfter selbst im Betrieb Wärme erzeugen. Zudem verringert sich bei gleicher Rechenleistung die benötigte Anschlussleistung für „IT-Strom“, da gewöhnlich die Onboard-Lüfter als IT-Strom erfasst werden.

2.2 Energieeffizienz der Kühlung

Klassische Luftkühlungssysteme weisen einen hohen spezifischen Energieverbrauch auf. In herkömmlichen Rechenzentren entfallen auf die **Luftkühlung 40 % bis 60 % des Gesamtstrombedarfs**.⁴

Um Wärme mittels Luft zu transportieren, werden aufgrund ihrer geringen Wärmekapazität und Dichte **große Volumenströme** benötigt. Diese werden über Ventilatoren mit einem entsprechend **hohen elektrischen Energiebedarf** realisiert.

Im Vergleich dazu ist die **Heißwasser-Direktkühlung deutlich energieeffizienter**. Durch die höhere Wärmekapazität und Dichte von Wasser fallen die zur Kühlung notwendigen Volu-

⁴ <https://www.datacenterknowledge.com/archives/2016/06/14/impact-of-cooling-and-efficiency-in-modern-data-center-design>;
<https://www.datacenter-insider.de/direkte-wasserkuehlung-im-server-fuer-hoehere-effizienz-im-rechenzentrum-a-718995/>

menströme und somit die für den Transport **benötigte Energie**, in Form von Pumpenleistung, um Größenordnungen **geringer** aus. Die volumenspezifische Wärmekapazität von Wasser ($4.183 \text{ kJ/m}^3\text{K}$ bei $60 \text{ }^\circ\text{C}$) ist 3507-mal höher als die von Luft ($1,17 \text{ kJ/m}^3\text{K}$ bei $30 \text{ }^\circ\text{C}$).

Ein weiterer Vorteil der Heißwasser-Direktkühlung gegenüber einer klassischen Luftkühlung liegt im deutlich geringeren technischen und energetischen Aufwand, die **Abwärme an die Umgebung abzuführen**. Bei einer klassischen Luftkühlung liegen die erforderlichen Eingangstemperaturen bei max. $27 \text{ }^\circ\text{C}$, um Wärmehotspots auf der Hardware zu vermeiden. Diese müssen, insbesondere wenn im Sommer die Außentemperaturen über das benötigte Temperaturniveau steigen, unter hohem Energieaufwand durch Kompressionsklimatechnik gekühlt werden. Dabei müssen ca. $0,3 \text{ kWh}$ Elektroenergie je erzeugte kWh Kälteenergie aufgewendet werden. Im Gegensatz dazu kühlt die Heißwasser-Direktkühlung mit einer Kühltemperatur von $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Diese Temperatur kann selbst im Hochsommer mit geringem energetischem Aufwand vom Ausgangsniveau $60 \text{ }^\circ\text{C}$ erreicht werden. Beispielsweise kann die Wärme über einen Trockenrückkühler an die Umgebung abgegeben werden.

2.3 Abwärmennutzung

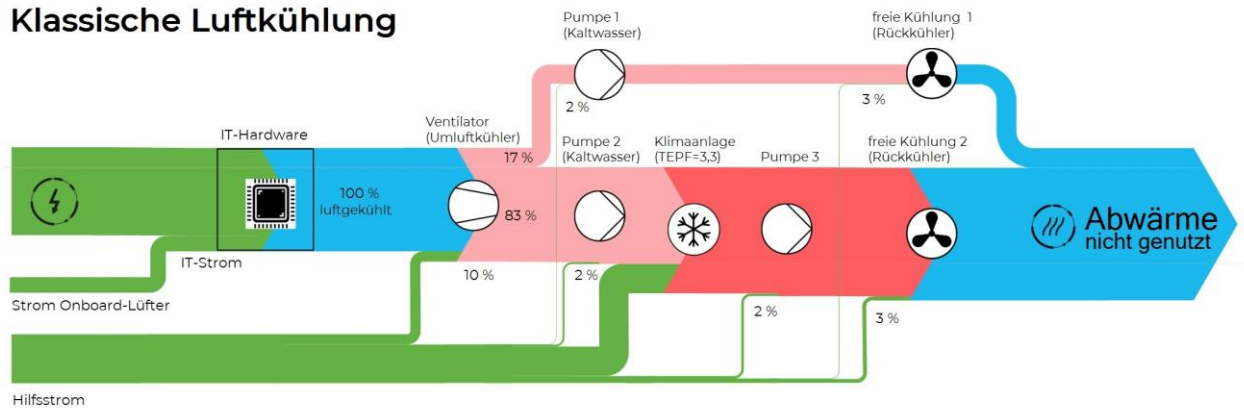
Eine weitere Möglichkeit, Rechenzentren ökologischer und kosteneffizienter zu betreiben, ist, die entstehende **Abwärme zu nutzen**. Anstatt die Abwärme ohne weitere Nutzung an die Umgebung abzugeben, kann sie mit der Cloud&Heat-Technologie für Heizungsanlagen verwendet werden.

Mit klassischer Luftkühlung kann die Luft auf bis zu $40 \text{ }^\circ\text{C}$ erwärmt werden. Wärme auf diesem relativ niedrigen Temperaturniveau ermöglicht jedoch für die meisten Anwendungen keine wirtschaftliche Weiternutzung. Mit der Heißwasser-Direktkühlung wird hingegen ein **Temperaturniveau des Wassers von bis zu $63 \text{ }^\circ\text{C}$** erreicht. Somit eröffnen sich Möglichkeiten, die Abwärme sinnvoll zu nutzen. Neben dem Anschluss an das Heizungs- und Warmwassersystem von Gebäuden sind auch Schnittstellen zu Fern- und Nahwärmnetzen, Gewächshäusern, Schwimmbädern oder Aquaponik-Anlagen denkbar.

3 Modellberechnung

Im Folgenden wird das Einsparpotenzial am Beispiel des Eurotheum-Projekts berechnet. Dazu werden zunächst die **Ausgangsdaten** des Systems und die zugrundeliegenden **Annahmen** beschrieben. Anschließend werden die entstehenden **Wärmemengen** an jeder Stufe des Systems und der benötigte **Hilfsstrom** für die Umwandlung und den Transport der Wärme berechnet (s. Abbildung 3). Daraus leiten sich die **Einsparpotenziale** in den Bereichen energieeffizientere Kühlung und Abwärmenutzung ab.

Klassische Luftkühlung



Cloud&Heat-Kühlung

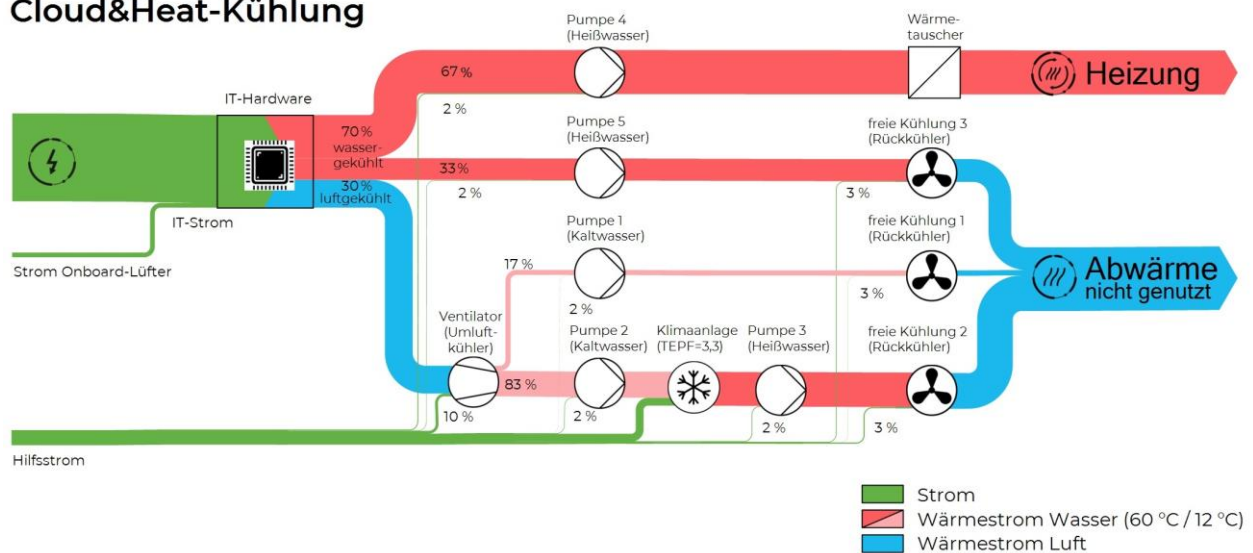


Abbildung 3: Energieflussdiagramme - klassische Luft- und Cloud&Heat-Kühlung im Vergleich

3.1 Ausgangsdaten und Annahmen

Das Rechenzentrum besitzt bei voller Ausbaustufe eine **IT-Leistung** von **500 kW**. Neben dem direkten Leistungsbedarf von IT-Bauteilen schließt dies auch die Leistung der verbauten Onboard-Lüfter ein, die den Abtransport der entstehenden Wärme über das Medium Luft gewährleisten. Basierend auf Spezifikationen verschiedener beispielhafter Hardwareprodukte, welche bereits durch Cloud&Heat auf **Heißwasser-Direktkühlung** umgerüstet wurden, (vgl. Tabelle 1) ist ersichtlich, dass der Anteil der Leistungsaufnahme der Onboard-Lüfter an der Gesamtleistung der Hardware sehr unterschiedlich ausfällt. Verschiedene Quellen gehen von einem Anteil bis zu 25 % an der Gesamtleistung aus.^{5,6} Für die Berechnung wird für Onboard-Lüfter eine durchschnittliche Leistungsaufnahme von 15 % der IT-Leistung angenommen.⁷

Tabelle 1: Stromverbrauch Onboard-Lüfter

Hersteller	Hardware	Leistung Server	Anzahl Lüfter	Lüfterleistung gesamt	Lüfterleistung/ Gesamtleistung
TradeDX	R5211	800 W	6	172,1 W	21,5 %
Supermicro	SuperServer 4028GR-TRT2	2.000 W	8	345,6 W	17,3 %
Thomas Krenn	2HE Intel Dual-CPU RI2208Scalable	154 W	3	21,6 W	14,0 %

Der tatsächliche Leistungsbedarf eines Rechenzentrums hängt stark von dessen Auslastung ab. Diese wiederum variiert je nach Nutzungsszenario. Beispielsweise berichtet Google von einer Auslastung zwischen 10 % und 50 % für gemischte Anwendungen (inklusive Online-dienste) und von einer Auslastung von 60 % bis 80 % für Batch-Workload-Cluster.⁸ Unter der Annahme einer **mittleren jährlichen Auslastung von 50 %** ergibt sich ein durchschnittlicher Leistungsbedarf von 250 kW. Im Falle einer klassischen Luftkühlung entfallen dabei 37,5 kW auf den Betrieb der Onboard-Lüfter und 212,5 kW auf alle weiteren IT-Komponenten. Für dieses Szenario entsteht so innerhalb eines Jahres (8760 h) eine **Wärmemenge von 2.190.000 kWh/a**. Die Abführung dieser Wärmemenge ist Aufgabe des Kühlsystems. Nachfolgend wird der Energiebedarf einer klassischen Luftkühlung und der Cloud&Heat-Kühlung berechnet und einander gegenübergestellt.

⁵ <https://searchdatacenter.techtarget.com/tip/Optimizing-server-energy-efficiency>

⁶ <https://tolia.org/files/pubs/interpack2009-1.pdf>

⁷ https://www.asperitas.com/wp-content/uploads/2019/04/Asperitas_Immersed_Computing_rev4.pdf

⁸ <https://www.morganclaypool.com/doi/pdf/10.2200/S00516ED2V01Y201306CAC024>

Für die Berechnung des elektrischen Hilfsenergiebedarfs einzelner Aggregate, wie Pumpen, Ventilatoren etc., werden die in Tabelle 2 aufgeführten Annahmen getroffen. Diese basieren auf Erfahrungswerten aus zahlreichen Cloud&Heat-Projekten. Die aufgeführten Prozentwerte geben dabei an, wie viel elektrische Energie dem jeweiligen Aggregat zugeführt werden muss, um die entsprechende Wärmemenge zu übertragen. Dabei wird die elektrische Energie in Wärme umgewandelt und dem jeweiligen Wärmestrom hinzugefügt (s. Abbildung 3). Die gleiche Logik gilt für Kältemaschinen. Der elektrische Energiebedarf von Kältemaschinen lässt sich dabei über deren „Total Energy Performance Factor“ (TEPF) bestimmen. Dieser beschreibt das Verhältnis der abzuführenden Wärmemenge zur erforderlichen, elektrischen Antriebsenergie der Kältemaschine. Der für Kältemaschinen in Rechenzentren angenommene TEPF von 3,3 bedeutet demnach, dass $\frac{1}{3,3}$ also ca. 30 % der Wärmemenge als zusätzlicher Hilfsstrom benötigt wird.

Tabelle 2: Annahmen zum Energiebedarf von Nebenaggregaten

Nebenaggregat	Annahme	Quelle
Pumpen	0,02 ⁹	Erfahrungswerte Cloud&Heat
Ventilatoren	0,10 ⁹	Erfahrungswerte Cloud&Heat
freie Kühlung	0,03 ⁹	Erfahrungswerte Cloud&Heat
Kältemaschine	0,303 (nach Total Energy Performance Factor (TEPF))	Becker (2011) ¹⁰

3.2 Klassische Luftkühlung

3.2.1 Freie Kühlung

Die Abgabe der Wärme an die Umgebung kann im Rahmen der klassischen Luftkühlung über freie Kühlung oder mittels des Einsatzes von Kompressionsklimatechnik erfolgen. Die freie Kühlung stellt dabei die energieeffizientere Option dar. Sie kann jedoch nur eingesetzt werden, wenn eine ausreichend große Temperaturdifferenz zwischen Umgebung und der im Kühlmedium angestrebten Vorlauftemperatur besteht. Im Falle des Eurotheums kann die Freikühlung bis zu einer Umgebungstemperatur von 3 °C¹¹ erfolgen. Basierend auf lokalen Temperaturdaten¹² können im Jahresverlauf so 17 % des Kühlbedarfs mittels freier Kühlung gedeckt werden. Der verbleibende Kühlbedarf von 83 % erfordert den energieintensiven Einsatz von Kompressionsklimatechnik.

⁹ Anteil bezogen auf die zu übertragende Wärmemenge

¹⁰ https://www.glt-anwendertagung.de/images/2011/Vortraege/manuskript_klteanlagen.pdf

¹¹ Vorlauftemperatur des Kaltwassersatzes beträgt 6 °C

¹² Stündliche Temperaturdaten (2008-2018), Wetterstation Frankfurt am Main (1420), Deutscher Wetterdienst

3.2.2 Wärmemengen

Die Voraussetzung zur Berechnung des benötigten Stroms für die Kühlung ist die Berechnung der Wärmemengen der einzelnen Prozessschritte. Dabei wird vereinfachend angenommen, dass sich die jeweilige Wärmemenge um den einfließenden Hilfsstrom erhöht (s. Abbildung 3). Wärmeverluste der Nebenaggregate an die Umgebung werden vernachlässigt.

In der klassischen Luftkühlung werden nach dem Ventilator (Umluftkühler) je nach genutzter Kühloption die folgenden Prozessschritte durchlaufen:

Freie Kühlung:

- Pumpe 1 (Kaltwasser)
- freie Kühlung 1 (Rückkühler)

Klimaanlage:

- Pumpe 2 (Kaltwasser)
- Klimaanlage (Kältemaschine)
- Pumpe 3 (Heißwasser)
- freie Kühlung 2 (Rückkühler)

Demnach ergeben sich die in Tabelle 3 aufgeführten Wärmemengen für die entsprechenden Prozessschritte.

Tabelle 3: Berechnung der Wärmeströme – klassische Luftkühlung

Prozessschritt	Wärmemenge	Berechnung
vor Ventilator	2.190.000 kWh/a	= 500 kW * 0,5 * 8.760h/a
vor Pumpe 1 und 2 (nach Ventilator)	2.409.000 kWh/a	= 2.190.000 kWh/a * (1+0,1)
zur freien Kühlung	399.027 kWh/a	= 2.409.000 kWh/a * 0,17
vor freier Kühlung 1 (nach Pumpe 1)	407.007 kWh/a	= 399.027 kWh/a * (1 + 0,02)
zur Klimaanlage	2.009.973 kWh/a	= 2.409.000 kWh/a * 0,83
vor Klimaanlage (nach Pumpe 2)	2.050.173 kWh/a	= 2.009.973 kWh/a * (1+0,02)
vor Pumpe 3 (nach Klimaanlage)	2.671.437 kWh/a	= 2.050.173 kWh/a * (1+1/3,3)
vor freier Kühlung 2 (nach Pumpe 3)	2.724.866 kWh/a	= 2.671.437 kWh/a * (1+0,02)

3.2.3 Elektroenergiebedarf

Basierend auf den unter 3.2.1 berechneten Wärmeströmen werden in Kombination mit den Annahmen aus Tabelle 2 die benötigten Hilfsenergiemengen berechnet. Dazu wird die vor jedem Prozessschritt eingehende Wärmemenge mit dem zusätzlichen Hilfsenergieanteil des jeweiligen Aggregates multipliziert (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Stromverbrauch Nebenaggregate – klassische Luftkühlung

Prozessschritt	Hilfsstrom	Berechnung
Ventilator	219.000 kWh/a	= 2.190.000 kWh/a * 10 %
Pumpe 1	7.981 kWh/a	= 399.027 kWh/a * 2 %
freie Kühlung 1	12.210 kWh/a	= 407.007 kWh/a * 3 %
Pumpe 2	40.199 kWh/a	= 2.009.973 kWh/a * 2 %
Klimaanlage	621.264 kWh/a	= 2.050.173 kWh/a / 3,3
Pumpe 3	53.429 kWh/a	= 2.671.437 kWh/a * 2 %
freie Kühlung 2	81.746 kWh/a	= 2.724.866 kWh/a * 3 %
Summe	1.035.829 kWh/a	

Die Kühlung eines zu 50 % ausgelasteten 500 kW-Rechenzentrums mittels klassischer Luftkühlung benötigt somit rund **1.000 MWh pro Jahr**.

3.3 Cloud&Heat-Kühlung

3.3.1 Wärmemengen

Durch eine Heißwasser-Direktkühlung können je nach Geometrie der Hardware Ventilatoren komplett demontiert oder die Drehzahl der verbleibenden Ventilatoren stark reduziert werden. Im hier vorgestellten Beispiel beträgt der Luftkühlungsanteil der Direktwasserkühlung 30 %, sodass sich der Leistungsbedarf der Onboard-Lüfter im Vergleich zur klassischen Luftkühlung auf 11,25 kW reduziert (= 30 % Anteil Luftkühlung * 75 kW Nennleistung Lüfter * 50 % Anteil tatsächlich Leistung zu Nennleistung Onboard-Lüfter). Dadurch verringert sich die bei der Direktwasserkühlung benötigte IT-Leistung auf 223,75 kW. Im Vergleich zur reinen Luftkühlung fällt die jährlich entstehende Wärmemenge mit **1.960.050 kWh/a** entsprechend geringer aus. Wie in Abbildung 3 dargestellt, teilt sich die Wärmemenge in drei Bereiche auf:

- Wasserkühlung bei Nutzung der Heizungsanlage,
- Wasserkühlung ohne Nutzung der Heizungsanlage (ohne Wärmebedarf),
- Luftkühlung nicht-wassergekühlter Komponenten.

Die Verteilung wird dabei durch zwei Größen bestimmt: den Anteil der Wasserkühlung und den durchschnittlichen Anteil der Nutzung der Heizungsanlage im Jahr. Im vorliegenden Fall können **70 % der IT-Wärme wassergekühlt** werden. Die **Heizungs- und Warmwasseranlage kann in ca. 2/3 der Zeit genutzt werden**¹³. An Sommertagen ohne weiteren Warmwasserbedarf muss die Wärme hingegen ungenutzt abgeführt werden. Dies geschieht in ca. 1/3 der Zeit.

¹³ Nach VDI-Richtlinie 2067/DIN 4108 T6 liegt die Heizgrenze bei 15 °C. Diese Temperatur wird für 66 % der stündlichen Temperaturwerte der letzten 10 Jahre in Frankfurt/Main nicht überschritten. Zusätzlich liegt, davon unabhängig, ein Warmwasserbedarf vor.

Für bestimmte Komponenten wie Netzteile oder Storage-Racks ist eine Wasserkühlung nur mit erheblichem Aufwand möglich und wirtschaftlich nicht immer sinnvoll. Darum werden die verbleibenden **30 % der IT-Wärme luftgekühlt**.

Die Wärmemengen der Luftkühlung berechnen sich analog zur klassischen Luftkühlung. Die Berechnungsergebnisse für alle Wärmeströme sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Berechnung der Wärmeströme - Cloud&Heat-Kühlung

Prozessschritt	Wärmemenge	Berechnung
Wasserkühlung bei Nutzung der Heizungsanlage		
vor Pumpe 4	914.690 kWh/a	= 1.960.050 kWh/a * 0,7 * 2/3
Wasserkühlung ohne Nutzung der Heizungsanlage		
vor Pumpe 5	457.345 kWh/a	= 1.960.050 kWh/a * 0,7 * 1/3
vor freier Kühlung (nach Pumpe 5)	466.492 kWh/a	= 457.345 kWh/a * (1+0,02)
Luftkühlung		
vor Ventilator	588.015 kWh/a	= 1.960.050 kWh/a * 0,3
vor Pumpe 1 und 2 (nach Ventilator)	646.817 kWh/a	= 588.015 kWh/a * (1+0,1)
zur freien Kühlung	107.139 kWh/a	= 646.817 kWh/a * 0,17
vor freier Kühlung 1 (nach Pumpe 1)	109.281 kWh/a	= 107.139 kWh/a * (1 + 0,02)
zur Klimaanlage	539.678 kWh/a	= 646.817 kWh/a * 0,83
vor Klimaanlage (nach Pumpe 2)	550.471 kWh/a	= 539.678 kWh/a * (1+0,02)
vor Pumpe 3 (nach Klimaanlage)	717.281 kWh/a	= 550.471 kWh/a * (1+1/3,3)
vor freier Kühlung 2 (nach Pumpe 3)	731.626 kWh/a	= 717.281 kWh/a * (1+0,02)

3.3.2 Elektroenergiebedarf

Die in Tabelle 6 aufgelisteten Hilfsenergieverbräuche der Nebenaggregate berechnen sich, indem die abzuführenden Wärmemengen mit dem Verbrauchsannahmen der Nebenaggregate aus Tabelle 2 multipliziert werden. Es ergibt sich demnach ein **Gesamthilfsenergieverbrauch von nahezu 320 MWh/a**.

Tabelle 6: Stromverbrauch Nebenaggregate - Cloud&Heat-Kühlung

Prozessschritt	Hilfsstrom	Berechnung
Wasserkühlung bei Nutzung der Heizungsanlage		
Pumpe 3	18.294 kWh/a	= 914.690 kWh/a * 0,02
Wasserkühlung ohne Nutzung der Heizungsanlage		
Pumpe 4	9.147 kWh/a	= 457.345 kWh/a * 0,02
freie Kühlung	13.995 kWh/a	= 466.492 kWh/a * 0,02
Luftkühlung		
Ventilator	58.802 kWh/a	= 588.015 kWh/a * 10 %
Pumpe 1	2.143 kWh/a	= 107.139 kWh/a * 2 %
freie Kühlung 1	3.278 kWh/a	= 109.281 kWh/a * 3 %
Pumpe 2	10.794 kWh/a	= 539.678 kWh/a * 2 %
Klimaanlage	166.809 kWh/a	= 550.471 kWh/a / 3,3
Pumpe 3	14.346 kWh/a	= 717.281 kWh/a * 2 %
freie Kühlung 2	21.949 kWh/a	= 731.626 kWh/a * 3 %
Summe:	319.556 kWh/a	

3.4 Einsparungen

3.4.1 Energieeinsparung

3.4.1.1 Einsparung Elektroenergie

Die Leistung der Onboard-Lüfter kann bei der Direktwasserkühlung um 26,25 kW und der Elektroenergieverbrauch folglich um 229.950 kWh/a reduziert werden. In der Gegenüberstellung des Elektroenergieverbrauchs von 1.035.829 kWh/a für die klassische Kühlung mit dem Stromverbrauch von 319.556 kWh/a für die Cloud&Heat-Kühlung ergibt sich zudem ein zusätzliches Einsparpotenzial von 716.274 kWh/a Strom. Die **Gesamtelektroenergieersparnis** beträgt somit **946.224 kWh/a** (vgl. Abbildung 4).

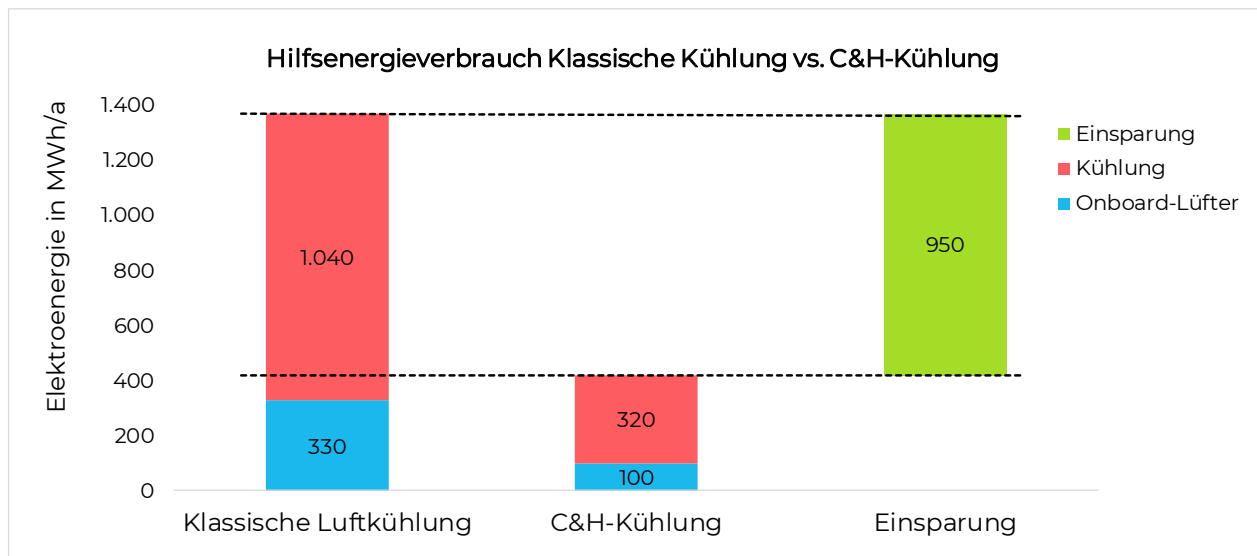


Abbildung 4: Elektroenergiebedarf Hilfsstrom - klassische Luft- und Cloud&Heat-Kühlung im Vergleich

3.4.1.2 Einsparung Wärme

Weiterhin kann in mitteleuropäischen Breitengraden zu $2/3$ der Zeit die Abwärme zu Heizzwecken genutzt und muss nicht separat, z. B. per Fernwärme, bezogen werden. Die nutzbare Abwärme ergibt sich aus der Multiplikation der IT-Abwärme (1.960.050 kWh/a) mit dem Anteil der Wasserkühlung (70 %), dem Anteil der Nutzung der Heizung ($2/3$) sowie der durch den Hilfsstrom erzeugten Wärme der Pumpe 3 (2 %) und beträgt folglich **932.984 kWh/a Wärme**.

3.4.2 Kosteneinsparung

Die Kosteneinsparung hängt direkt vom Strom- und Wärmepreis ab. Der Strompreis variiert ja nach Abnahmemenge. Die Bundesnetzagentur hat für 2018 einen durchschnittlichen Strompreis für Gewerbekunden von ca. 21,5 ct/kWh (ohne Umsatzsteuer) ermittelt.¹⁴ Da Rechenzentren durch größere Abnahmemengen einen niedrigeren Preis verhandeln können, werden vereinfachend 20 ct/kWh angenommen. Der Preis für Fernwärme beträgt ca. 0,07 €/kWh (netto).¹⁵

Folglich ergibt sich eine Einsparung durch die effizientere Kühlung i.H.v. von **143.225 €/Jahr** (=716.274 kWh/a * 0,20 €/kWh). Durch die Reduktion des Energieeinsatzes für die Onboard-Lüfter können weitere **45.990 €/Jahr** (=229.950 kWh/a * 0,20 €/kWh) gespart werden. Zudem ermöglicht die Abwärmenutzung eine Einsparung bei den Heizkosten i.H.v. **65.309 €/Jahr** (= 932.984 kWh/a * 0,07 €/kWh).

In Summe ergibt sich somit für den hier vorgestellten Beispielfall ein **Einsparpotenzial** von **254.554 €/Jahr** (Vgl. Abbildung 5).

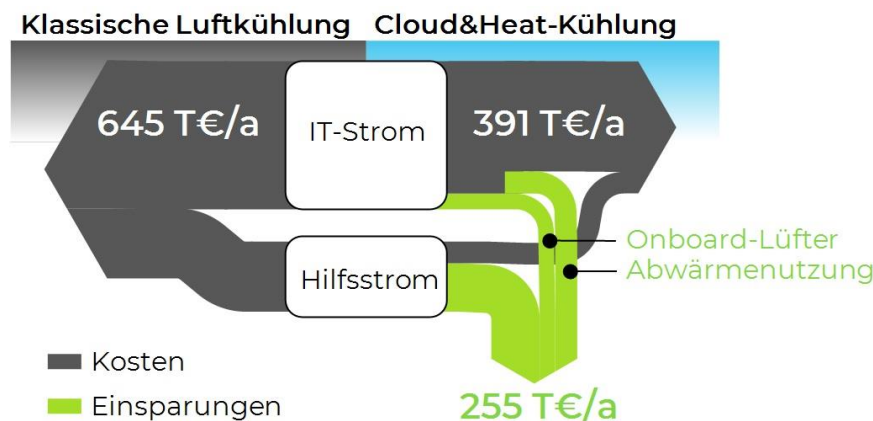


Abbildung 5: Kostenflussdiagramm - klassische Luft- und Cloud & Heat-Kühlung im Vergleich

Dem hier dargelegten Rechenbeispiel liegt der für das Rechenzentrum im Eurotheum realisierte Freikühl-Anteil von 17 % zugrunde. Dieser resultiert aus der gebäudeseitig gegebenen Kaltwasservorlauftemperatur von 6 °C und der somit maximal zur freien Kühlung nutzbaren Umgebungstemperatur von 3 °C. Diese Grenztemperatur kann jedoch für andere klassisch luftgekühlte Rechenzentren variieren. Der Einfluss dieser Temperatur und somit des Anteils an freier Kühlung auf das Betriebskosteneinsparpotenzial ist in Abbildung 6 dar-

¹⁴ https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2018/Monitoringbericht_Energie2018.pdf?__blob=publicationFile&v=5

¹⁵ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/250114/umfrage/preis-fuer-fernwaerme-nach-anschlusswert-in-deutschland/>

gestellt. Es wird deutlich, dass zwar das Einsparpotenzial mit höheren möglichen Umgebungstemperaturen etwas geringer ausfällt aber nie unter 150.000 € sinkt.

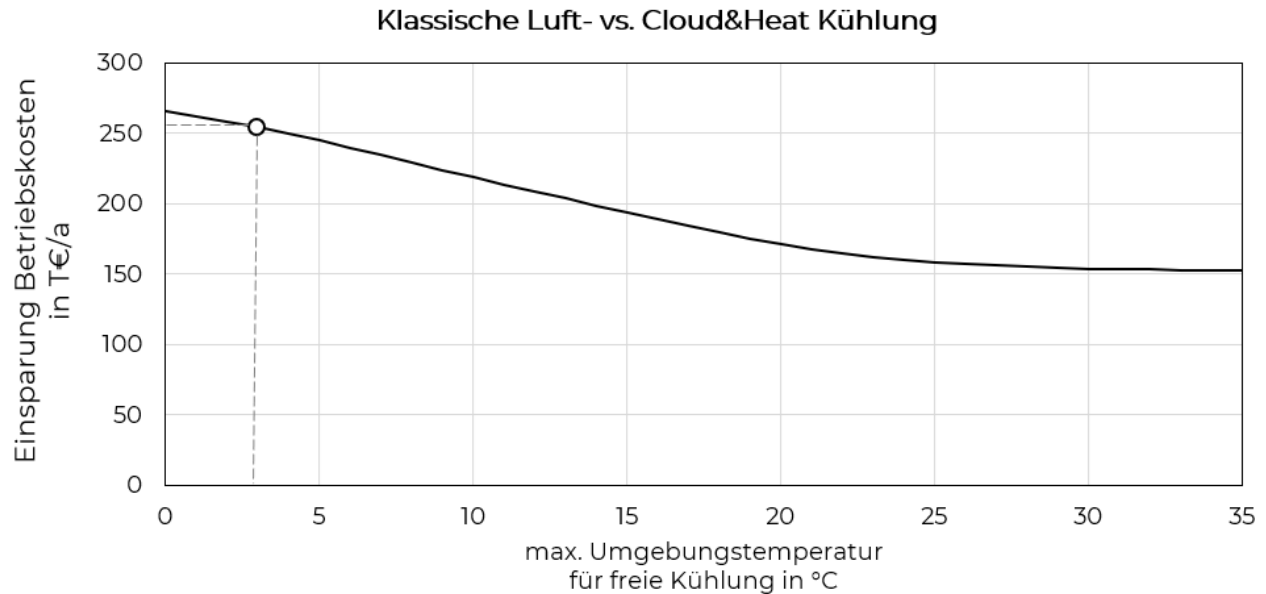


Abbildung 6: Betriebskosten Einsparpotential der klassische Luft- im Vergleich zur Cloud&Heat-Kühlung in Abhängigkeit der max. Umgebungstemperatur¹⁶ bis zu der freie Kühlung möglich ist

3.4.3 CO₂-Einsparung

Neben der Möglichkeit Kosten einzusparen, können mit der Cloud&Heat-Wasserkühlung gleichzeitig CO₂-Emissionen verringert werden. Bei CO₂-Emissionen von 0,474 kg/kWh für den deutschen Strommix und 0,280 kg/kWh für den deutschen Fernwärmemix ergibt sich ein CO₂-Einsparpotenzial i.H.v. **710 Tonnen CO₂ pro Jahr** (= (716.274 kWh/a + 229.950 kWh/a) * 0,474 kg/kWh + 932.984 kWh/a * 0,280 kg/kWh). Somit werden pro Jahr 340 Tonnen CO₂ durch die effizientere Kühlung, 109 Tonnen durch den verringerten Leistungsbedarf der Onboard-Lüfter und 261 Tonnen durch die Abwärmenutzung eingespart.

Um die gleich Menge CO₂ einzusparen, müssten **über 56.500 Laubbäume** gepflanzt werden.¹⁷ Da der deutsche Wald je Hektar und Jahr durchschnittlich ca. 11 Tonnen CO₂ absorbiert¹⁸, wären 64,5 Hektar bzw. **90 Fußballfelder Wald** erforderlich, um die gleiche Menge CO₂ zu kompensieren.

¹⁶ Standort: Frankfurt am Main

¹⁷ <https://www.co2online.de/service/klima-orakel/beitrag/wie-viele-baeume-braucht-es-um-eine-tonne-co2-zu-binden-10658/>

¹⁸ <https://www.baysf.de/de/wald-verstehen/wald-kohlendioxid.html>

4 Fazit und Ausblick

Rechenzentren nachhaltiger gestalten und deren ökologischen Fußabdruck zu reduzieren, ist **eine der zentralen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts**. Eine Lösung, um dieses gesellschaftlich bedeutende Thema zu adressieren, liegt in einer effizienteren Kühlung und Abwärmenutzung von Rechenzentren.

Mit dem speziell entwickelten Kühlsystem ermöglicht Cloud&Heat einen deutlich energieeffizienteren Betrieb von IT-Infrastrukturen und trägt damit zur Reduktion der CO₂-Emissionen einer der am stärksten wachsenden Branchen bei. Anhand der dargelegten Berechnung wird deutlich, wie groß dieses Einsparpotenzial ist. Bei einem zu 50% ausgelasteten 500 kW-Rechenzentrum können ca. **710 Tonnen CO₂ eingespart** werden.

Neben den hier diskutierten direkt positiven Effekten weisen die Rechenzentren mit Cloud&Heat-Technologie weitere indirekt positive Effekte auf. Beispielsweise können durch die hohe Leistungsdichte signifikant umbauter Raum und damit meist klimaschädlicher Beton eingespart sowie der **Flächenverbrauch verringert** werden. Zum Beispiel erreicht Cloud&Heat mit einem Container-Rechenzentrum auf einer Fläche von 60 m² eine Leistungsdichte von bis zu 1 MW Leistung. Um die Effizienz verteilter Rechenzentrumsinfrastrukturen noch weiter zu verbessern, arbeitet Cloud&Heat außerdem an einer **Orchestrierungssoftware** für rechenintensive Aufgaben, die Lasten nach globalen **Energieeffizienzparametern** verteilt.

Mit diesen Ansätzen leistet Cloud&Heat einen Beitrag dazu, dass die Vision von energieeffizienten und nachhaltigen Rechenzentren Wirklichkeit wird.



WIR BAUEN DIE ENERGIEEFFIZIENTESTEN
RECHENZENTREN. WELTWEIT.

Kontakt:

Cloud&Heat Technologies GmbH
Königsbrücker Straße 96
01099 Dresden, Germany

www.cloudandheat.com
info@cloudandheat.com
0351 479 367 00