

Best-Practice-Übersicht

Von inspirierenden Projekten zur Abwärmenutzung aus Rechenzentren lernen

Version Juni 2023



Universität Stuttgart

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle
Energieanwendung (IER)
Institut für Volkswirtschaftslehre und Recht (IVR)



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
Symbol- und Farbdefinitionen	7
Abwärmenutzungsmap: Möglichkeiten der Abwärmenutzung aus Rechenzentren	8
Länderübersicht: Die Bytes2Heat-Best-Practice-Übersicht beinhaltet 99 Beispiele aus 15 Ländern	9
 Deutschland	10
<i>Neubaugebiet „Heinrich des Löwen“</i>	11
<i>Hochhaus Eurotheum</i>	12
<i>Universität Stuttgart - Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS)</i>	13
<i>Horeka - Hochleistungsrechner Karlsruhe</i>	14
<i>LRZ</i>	15
<i>Algenfarm</i>	16
<i>Neubau Rechenzentrum</i>	17
<i>Rechenzentrums-Campus beheizt Nachtclub</i>	18
<i>Audi IN CAMPUS</i>	19
<i>FRANKY</i>	20
<i>Geplanter Rechenzentrumscampus am ICE-Bahnhof</i>	21
<i>JUPITER Project</i>	22
<i>Wohngebiet „An den Eichen“</i>	23
<i>Campus Lichtwiese, Lichtenberg-Hochleistungsrechner</i>	24
<i>Z3</i>	25
<i>Green Cube</i>	26
<i>Turnhallenbeheizung</i>	27
<i>Universität Hamburg</i>	28
<i>Unterfränkische Überlandzentrale Lülsfeld</i>	29

Heinrich-Böll-Stiftung	30
80-MW-Hyperscale-Datacenter	31
25 MVA Rechenzentrum	32
JH-Computers	33
Equinix FR 4, FR 6 und FR 8	34
Rechenzentrum Köln	35
Rechenzentrum Kelsterbach	36
Standort Hannover	37
ColocationIX Westend	38
München 2	39
MU4	40
Voltastraße, Hattersheim	41
heiCOMACS	42
Digital Park Fechenheim (ehemaliges Neckermann-Gelände)	43
nLighten Rechenzentrum	44
Ingelheimer Aue	45
ZIH TU Dresden	46
Rechenzentrum in der Wallotstraße 1 bis 5, Dresden	47
 Österreich	48
Abwärmenutzung im Wiener Krankenhaus	49
 Schweiz	50
ECO-Qube	51
Rechenzentrum von GIB-Services (IBM) nahe Zürich zur Beheizung eines Hallenbads	52
Rechenzentrum Ostschweiz (RZO)	53
Energieverbund Airport City	54
 Niederlande	55

QTS-Rechenzentrum.....	56
Equinix AM3	57
Interxion-Rechenzentrum AMS5	58
Aalsmeer Energy Hub	59
Switch Datacenters	60
Rechenzentrum Bytesnet.....	61
 Frankreich	62
Rechenzentrum PA10 mit Dachgewächshaus und Schwimmbad.....	63
Rechenzentrum in Val d'Europe	64
3D-Animationsstudio.....	65
Rechenzentrum Telecity	66
Q.Rad heater	67
 Großbritannien.....	68
Londoner Docklands.....	69
Deep Green RZ.....	70
London Data Freeport	71
 Irland.....	72
AWS Rechenzentrum.....	73
Ecologic Newtownmountkennedy Campus	74
 Dänemark.....	75
Rechenzentrum Digiplex.....	76
Odense	77
Rechenzentrum Viborg.....	78
Supercomputer-Zentrum DTU	79
Rechenzentrum Danfoss.....	80
 Finnland	81

Rechenzentrum bei Helsinki	82
Data Center in Mäntsälä	83
LUMI im Renforsin Ranta business park	84
Rechenzentrum Ericsson	85
Pitäjänmäki Data Centre	86
Equinix HE3 & HE5	87
Elisa HQ	88
Nokia-Rechenzentrum vLab	89
Rechenzentrum Academica	90
 Norwegen	91
DC1-Stavanger	92
DC2-Telemark	93
Ulven	94
 Schweden	95
Stockholm Data Park	96
Elementica	97
Green Hub	98
Rosersberg	99
EcoDataCenter	100
Rechenzentrum H&M	101
STO6	102
Rechenzentrum Bahnhof Thule	103
Rechenzentrum Bahnhof Pionen	104
Rechenzentrum DigiPlex	105
Container-Rechenzentrum	106
Datentechnik Moll	107
Edge-Rechenzentrum	108

Kista.....	109
 Vereinigte Staaten von Amerika	110
<i>National Renewable Energy Laboratory HPC Data Center</i>	111
<i>Westin Building Exchange</i>	112
<i>Wyoming Hyperscale White Box</i>	113
<i>Rechenzentrum Syracuse University</i>	114
<i>South Bend Greenhouse and Botanical Gardens</i>	115
 Kanada	116
<i>QScale Q01 Campus</i>	117
<i>Rechenzentrum Winnipeg</i>	118
 Japan	119
<i>White Data Center Project (WDC)</i>	120
 Südkorea	121
<i>Tomorrow Water Project</i>	122
Quellenverzeichnis	123
<i>Literatur</i>	123
<i>Bildquellen</i>	138
Kontakt	141

Symbol- und Farbdefinitionen

Projektkurzübersicht („Tags“)

-  **Stadt**
-  **Inbetriebnahmedatum**
-  **Akteure**
-  **IT-Anschlussleistung**
-  **Rechenzentrumsabwärmtemperatur**
-  **Abwärmernutzungstemperatur**
-  **Abwärmernutzungsart**
-  **Technologie**
-  **Wärmeverbindung**
-  **Distanz**

Kategorien

-  **Technik**
-  **Recht**
-  **Betriebswirtschaft**
-  **Kommunikation**
-  **Sonstiges**

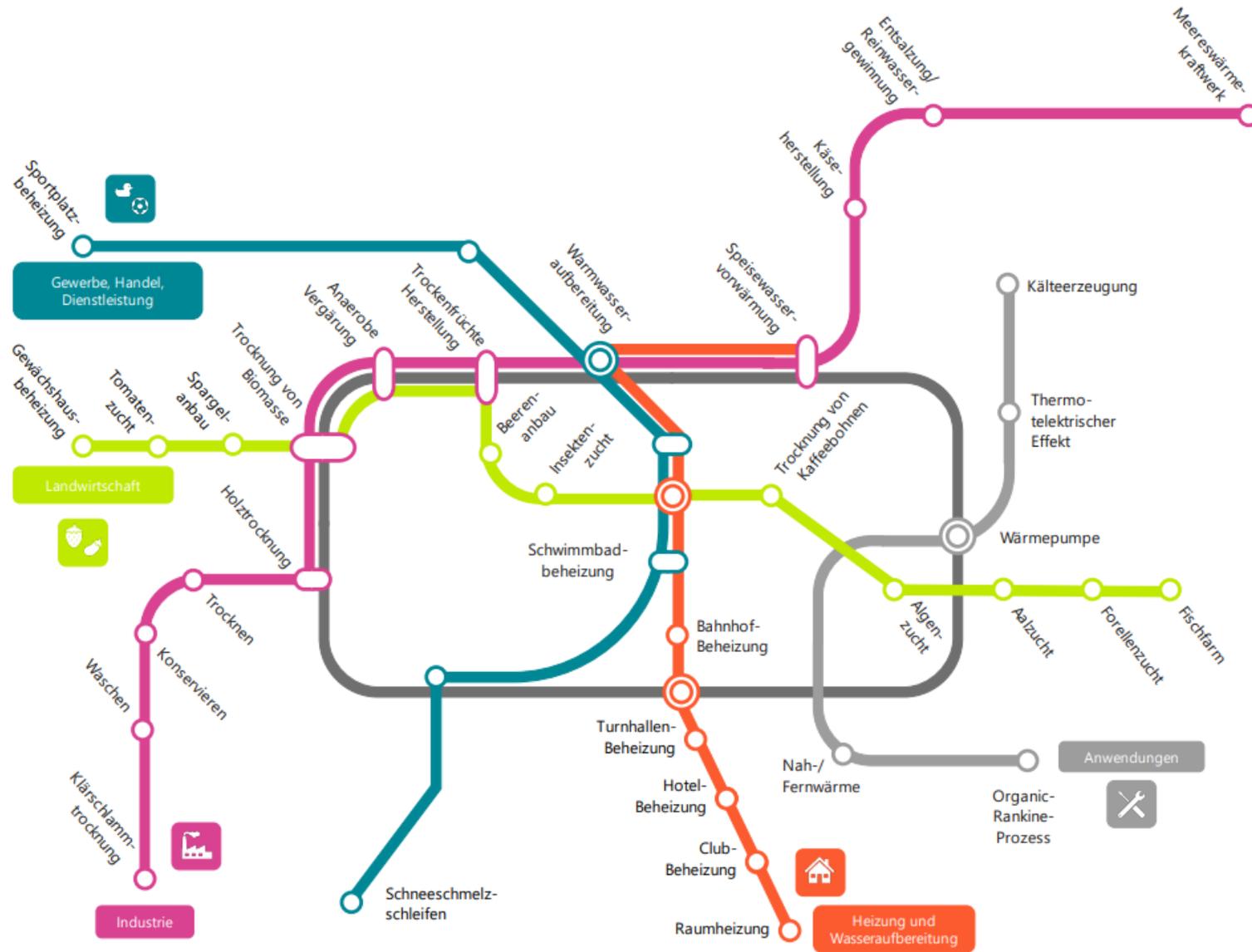
Projektstatus

- In Betrieb**
- In Umsetzung**
- In Planung**

Disclaimer

Die in dieser Best-Practice Übersicht enthaltenen Beispiele zur Abwärmernutzung aus Rechenzentren dienen lediglich zu Informationszwecken und sollen als Anregung dienen. Es wird keine Gewähr für die Richtigkeit oder Vollständigkeit der Informationen übernommen und es obliegt der Verantwortung der Leserin oder des Lesers, die Informationen im Kontext seiner individuellen Bedürfnisse und Anforderungen zu bewerten und zu nutzen. Wir übernehmen keine Haftung für eventuelle Schäden oder Verluste, die sich aus der Verwendung dieser Informationen ergeben können. Die Nutzung von Bildmaterial für weitere Zwecke ist individuell zu klären.

Abwärmennutzungsmap: Möglichkeiten der Abwärmennutzung aus Rechenzentren



Länderübersicht: Die Bytes2Heat-Best-Practice-Übersicht beinhaltet 99 Beispiele aus 15 Ländern



Deutschland
37



Schweden
15



Finnland
9



Niederlande
6



USA
5



Dänemark
5



Frankreich
5



Schweiz
4



Norwegen
3



Großbritannien
3



Österreich
1



Kanada
2



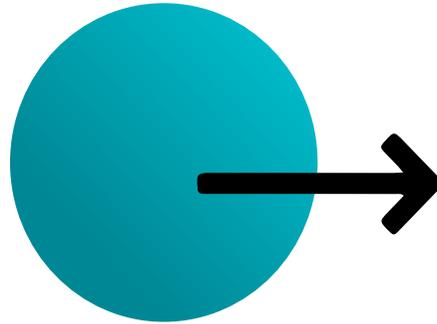
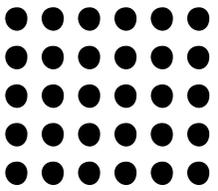
Irland
2



Japan
1



Südkorea
1



DEUTSCHLAND



Neubaubereich „Heinrich des Löwen“



In Betrieb

-  Deutschland
-  18-25 °C
-  Wärmepumpe
-  3000 m
-  Niedrigtemperatur-Wärmenetz
-  Braunschweig-Rautheim
-  70 °C
-  12 MW
-  Gebäudebeheizung
-  VW Financial Service, BS | Energy



Technik

- Rechenzentrum als Wärmequelle hat eine IT-Leistung von etwa 12 MW und von der anfallenden Abwärme mit einer Temperatur von 18 - 25 °C werden 250 kW ausgekoppelt.
- Räumliche Nähe zum Wärmekunden (benachbartes Wohnquartier mit 400 Häusern und einem Wärmebedarf von 2100 MWh/a).
- Wärmepumpe (Wasser-Wasser) mit 300 kWth und COP von 3,6 für Temperaturhub sowie Verwendung von Kohlenstoffdioxid als Kältemittel.
- Niedrigtemperatur-Wärmenetz mit 70 °C.
- Zusatzheizung für den Fall des Ausfalls der Wärmepumpe.
- Primärenergieeinsparung von 1284 MWh/a und THG-Einsparung von 304 t CO₂/a.
- Wärmenetz mit einer Länge von 3 km, welches 4,2 GWh/a transportiert.



Recht

- BS|ENERGY errichtete eine Energiezentrale, die sowohl einen Fernwärmeanschluss als auch einen Anschluss an den Kühlwasserkreislauf des Rechenzentrums enthält.



Betriebswirtschaft

- Förderung durch das EU-Projekt „ReUseHeat“.
- Investitionskosten von 460.000 € ohne das Wärmenetz.
- Der Umsatz, der durch die Abwärmenutzung generiert wird, liegt bei 330.000 €.



Kommunikation

- Volkswagen erhielt 2019 für diese Idee den „Deutschen Rechenzentrumspreis“.



Sonstiges

- Unternehmen will ökologische Verantwortung übernehmen → eigene Umweltpolitik „goTozero“.

 Bildquelle: [1]; Quellen: [2–9]

Hochhaus Eurotheum



In Betrieb

-  Deutschland
-  60 °C
-  selbes Gebäude
-  Direkte Warmwasserkühlung, Pumpen
-  Heißwasserkreislauf
-  Frankfurt
-  60 °C
-  0,6 MW
-  Gebäudebeheizung
-  Cloud & Heat



Technik

- Originalbau von 1999 (ehemaliges Rechenzentrum der EZB) mit einer Modernisierung von Cloud&Heat 2017/2018 zu einem Tier 3+ RZ mit der Cloud&Heat OpenStack öffentlichen Cloudinfrastruktur.
- Direkte Heißwasserkühlung (50 auf 60 °C) für GPUs und CPUs für ein RZ auf 2 Stockwerken im Endausbau mit je 250 kW IT-Leistung/Abwärme. 90 % der Abwärme vom Rechenzentrum kann theoretisch genutzt werden. Praktisch werden durch die hohen Trinkwasser-Temperaturen im Sommer und der fehlenden Heizlast 2/3 davon an das Hochhaus (mit insgesamt 31 Stockwerken) abgegeben für die Raumwärme (Hotel Melia, Hotelbar 22nd Lounge e& Bar und Bistro im Foyer, ansässigen Büro- und Konferenzräume, Hotellerie und Gastronomie) und Warmwasser, 1/3 geht ungenutzt über die Fassade an die Umgebung).
- Bestands-Lüftungsanlagen mit mechanischer Kälte (Umluftkühlern) sind im Bestand vorhanden, die die verbleibenden 10% Luftkühlung übernehmen. Zusätzlich kann bei geeigneten Umgebungsbedingungen die freie Kühlung der Bestandskälteanlagen verwendet werden.
- Im ersten Schritt wird die Wärme für Heizzwecke ausgekoppelt und sofern noch ein weiterer Kühlbedarf besteht, wird zuerst die freie Kühlung und dann falls noch erforderlich zusätzlich die mechanische Kältemaschine genutzt. Für die Wasserkühlung ist jedoch 100 % freie Kühlung durch ein neu installiertes Lüftungssystem mit Fassadenklappen möglich, aufgrund der Temperaturen 60/50 °C sogar ganzjährig und mit kleinen Rückkühlern und Glaslamellen-Fassadenöffnungen.



Betriebswirtschaft

- Kosteneinsparung bei der Kühlung von etwa 95.000 € und 65.000 € Heizkosteneinsparung à 557 Tonnen CO₂ pro Jahr einsparen.
- Reduzierung der operativen Kosten um bis zu 50 %.
- PUE von 1,014 laut eigenen Angaben.
- Laut Tech Tour ist Cloud&Heat unter den 50 am schnellsten wachsenden Technologieunternehmen, welche mit Risikokapital finanziert werden, womit eine einfachere Finanzierung denkbar ist.



Kommunikation

- Kleinere und mittelgroße Firmen sowie Forschungsunternehmen sind offen für die Wasserkühlung, Großkunden und Konzerne eher nicht.



Sonstiges

- „Masterplan 100 % Klimaschutz“ (BMU), Frankfurt gehört zu der größten der ersten 19 Kommunen und hat Interesse an der Erstellung eines Abwärmekatasters, um darauf aufbauend lokale Nutzungskonzepte der Abwärme zu ermöglichen.

 Bildquelle: [10]; Quellen: [11–15]

Universität Stuttgart - Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS)

In Betrieb



 Deutschland

 40 °C

 Zwei Wärmepumpen

 Im Gebäude

 Wärmenetz

 Stuttgart

 70 °C

 3,5 MW

 Gebäudebeheizung

 Universitätsbauamt Stuttgart und Hohenheim, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Heizkraftwerk Pfaffenwald



Technik

- HPE Apollo (Hwak): Flaggschiff-Supercomputer (CPU und GPU) des Höchstleistungsrechenzentrums Stuttgart und eines der schnellsten Rechensysteme Europas (26 Petaflops).
- Stromverbrauch: max. Energieverbrauch pro Rack: ~90 kW; Energieverbrauch bei normalem Betrieb; ~3,5 MW; Energieverbrauch LinPack Betrieb: ~4,1 MW.
- Kühlung: 6 Verteilereinheiten für Kühlung (CDUs); Wasserzulauftemperatur: 25 °C; Wasserrücklauftemperatur: 35 °C; Wasserzulauftemperatur (ARCS-Kühltürme): 16 °C; Wasserverdunstung bei Nasskühltürmen: ~9 m³/h.
- Seit 2012 werden eigene Gebäude mit zwei strombasierten Wärmepumpen (Heizleistung von je 55 kW_{th}) beheizt, welche das Temperaturniveau der Abwärme auf ein für Heizzwecke nutzbares Niveau anheben. Ca. 96 % der zur Beheizung der HLRS-Gebäude benötigten Wärme wird durch Abwärme aus dem Höchstleistungsrechner gedeckt (max. 100 kW im Winter). Jährlich werden hierdurch ca. 270 MWh Wärme erzeugt. Der nicht nutzbare Teil der Abwärme wird durch freie Kühlung abgeführt. Im Hochsommer kommt auch Fernkälte zum Einsatz.



Recht

- Zertifiziert: ISO 14 001, 50 001, EMAS, Blauer Engel für energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb.
- Das am HLRS eingeführte Umweltmanagementsystem systematisiert die Nachhaltigkeitsbestrebungen und macht es zu einem integrierten Bestandteil des Zentrums



Betriebswirtschaft

- In einer umfassenden Studie wurde festgestellt, dass die Abwärmenutzung des HLRS zur Wärmeversorgung des Universitätscampus ökologisch notwendig und wirtschaftlich möglich ist.
- Im Zuge der Planung werden mögliche Varianten weiter konkretisiert und zur Umsetzung vorbereitet. Dabei werden auch der Ausbau der Infrastruktur mit Versorgungskanal und Wärmenetz, die weitere Planung des Neubauprojekts HLRS III sowie die für die Nutzung der Abwärme geeigneten Gebäude betrachtet.

 Bildquelle: [16]; Quellen: [17–22]

Horeka - Hochleistungsrechner Karlsruhe



Technik

- Leistung: 17 PFLOPS (FP64) mit 22,4 GigaFlops/Watt.
- Rechnersystem und energieeffiziente Warmwasserkühlung kommt von Lenovo und basiert auf der Lenovo Neptune Direct Water Cooling (DWC) Technologie.
- Warmwasserkühlung (Kühlwasserdurchsatz: 90.000 l/h), wodurch ganzjährige Kühlung mit minimalem Energieeinsatz gekühlt werden kann.
- In kalten Jahreszeiten können auch Büroräume mit der Abwärme beheizt werden.



Betriebswirtschaft

- 15 Mio. Euro teurer Supercomputer.



Kommunikation

- Dr. Jennifer Schröter, Leiterin des Bereichs High Performance Computing am SCC: „Unsere technischen Anforderungen waren anspruchsvoll, aber das Ausschreibungsverfahren war bewusst technologieoffen gehalten, um das Know-how der Bieter einzufordern und das leistungsfähigste Gesamtsystem zu erhalten.“.



Deutschland



Karlsruhe



Warmwasserkühlung



Gebäudebeheizung



Im Gebäude



Karlsruher Institut für
Technologie, Lenovo

Bildquelle: [23] ; Quellen: [24–26]

LRZ

In Betrieb



-  Deutschland
-  3000 m
-  Wasserkreislauf
-  Warmwasser-
kühlkreis,
Absorptionskälte-
maschine
-  München - Garching
-  60 °C
-  Gebäudebeheizung,
Absorptionskälte
-  Freistaat Bayern, Bund,
Deutsche Forschungs-
gemeinschaft, Lenovo
Deutschland, Fahrenheit

 Bildquelle: [27]; Quellen: [28–33]



Technik

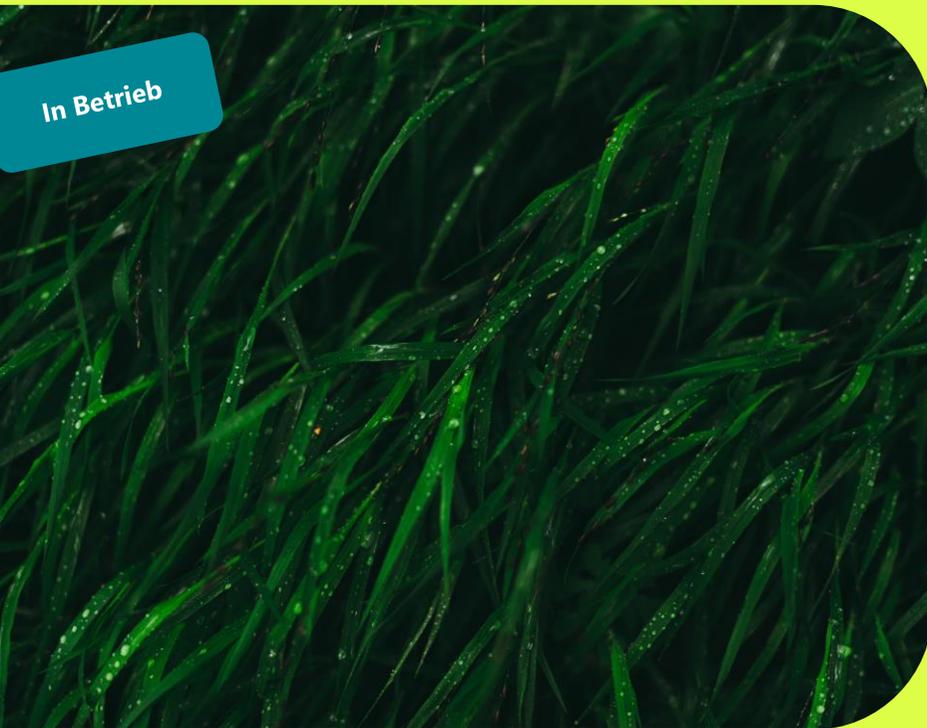
- Kühlleistung (Warmwasserkühlung) von 4 MW für die Kühlung der Hochleistungsrechner SuperMUC-NG.
- Die rein freie Kühlung kann ganzjährig eingesetzt durch die Wasserkühlung werden.
- Abwärme kann in kalten Jahreszeiten zur Gebäudebeheizung eingesetzt werden.
- Nutzung der Abwärme (1,1 MW) in warmen Jahreszeiten zur Erzeugung von Prozesskälte mit einer kaskadierten Adsorptionskältemaschine (600 kW Kühlleistung) von Fahrenheit. Damit kann insgesamt eine Kühlleistung von 1,7 MW erzielt werden.
- Mit der Kälteproduktion durch die Adsorptionskältemaschine werden die Plattenspeicher gekühlt.
- Direkte Warmwasserkühlung wird von Lenovo geliefert (Eingang: ca. 50 °C, Ausgang: ca. 60 °C).
- Beim ersten CoolMUC (seit 2011) wurde noch eine Wärmepumpe benötigt.
- Der 2005 übergebene Neubau wies als einziges Nachnutzungskonzept für Rechnerabwärme die sog. Baukerntemperierung für das Instituts- und Hörsaalgebäude auf. Immerhin konnte so weitestgehend auf die sog. statische Heizung durch Fernwärme über Heizkörper in den Büros verzichtet werden, weil die Temperaturführung mit > 21°C im Winter im Estrich im Allgemeinen genug Bürowärme erzeugt.



Kommunikation

- Enge Zusammenarbeit zwischen Fahrenheit und Lenovo Deutschland.

Algenfarm



In Betrieb

-  Deutschland
-  35 °C
-  RZ-Dach
-  Heißwasserkreislauf
-  Direkte Abwärmenutzung
-  Enge-Sande
-  35 °C
-  60 kW
-  Prozesswärme – Beheizung einer Algenzuchtstation
-  Windcloud 4.0, Novagreen



Technik

- Erweiterungsgebäude mit 24 Racks und 60 kW IT-Leistung auf dem Greentec Campus.
- Auf dem Dach des Rechenzentrums steht eine Algenfarm (240 m²), welche die Abwärme unmittelbar verwendet.
- 35 °C warme Abwärme beheizt die Zuchtstation und liefert das Wohlfühlklima für Chlorella und Spironella.
- Energie für das Rechenzentrum wird zu 98 % aus Windkraft und der Rest aus Solar- und Biogasstrom gewonnen.
- Rechenzentrum ist nach EU-Norm EN 50600, VK3 und Blauer Engel zertifiziert.
- Insgesamt können 60 kW Abwärme genutzt werden und durch eine Klappensteuerung dem Gewächshaus oberhalb des Rechenzentrums zugeführt werden.
- Ein Kilogramm Algen „konsumieren“ ca. 2 kg Kohlenstoffdioxid.
- RZ bietet Co-Location und Cloud-Dienstleistungen.



Betriebswirtschaft

- Herstellung von „Lüttge“-Nahrungsergänzungsmittel durch die Evergreen-Food GmbH.
- Novagreen hat schon immer Ausschau nach Synergiemöglichkeiten gesucht, zum Beispiele Landwirte (Biogasanlagen).
- Kombination mit einem Rechenzentrum, welches genau die richtige Temperatur zur Verfügung stellt, ermöglicht die Ausdehnung der Ernte über den Winter.
- Bei guter Zusammenarbeit besteht die Aussicht auf eine Ausweitung der gemeinsamen Aktivitäten und die Erschließung von weiteren Flächen.
- Gesamtkosten Rechenzentrum: 550.000 €.



Kommunikation

- Wilfried Ritter: „Die größte Herausforderung war und ist, alle davon zu überzeugen, dass es funktioniert.“

 Bildquelle: [34]; Quellen: [35–37]

Neubau Rechenzentrum

In Betrieb



Technik

- Sämtliche Anforderungen der Energieeinsparverordnung (ENEV) wurden umgesetzt.
- Nutzung der Abwärme aus dem Rechnergebäude für den Gebäudeteil Seminar- und Verwaltungsgebäude (100 Prozent Anteil aus Abwärme).
- Bei Überschuss an Abwärme Versorgung des benachbarten Forschungsgebäudes Center for Functional Genomics of Microbes (CFGM) mit "Nahwärme" (Abwärme) über eine neu verlegte Erdleitung (25 Prozent Anteil aus Abwärme).
- Zweiteiliges Kühlsystem: 1. Indirekte Freie Kühlung mit adiabatischer Sprühbefeuchtung, 2. Direkte Wasserkühlung der CPU und Einspeisung der Abwärme (ca. 340 kW) in ein Niedertemperatur-Nahwärmenetz.
- Flächenheizung in den zu beheizenden Gebäuden.
- PV-Anlage und Regenwassernutzungsanlage zur Erhöhung der Nachhaltigkeit.



Betriebswirtschaft

- Gesamtkosten von ca. 12,1 Mio. Euro.



Deutschland



Greifswald



Direkte Wasserkühlung



Gebäudebeheizung



ein Gebäude,
benachbartes Gebäude



Niedertemperatur-
Nahwärmenetz



Land Mecklenburg-Vorpommern,
HWP Planungsgesellschaft mbH,
GTB Berlin, dc-ce Berlin-
Brandenburg GmbH, IBK
Ingenieurbüro Küchler GmbH,
Europäischen Union

Bildquelle: [38]; Quellen: [39, 40]

Rechenzentrums-Campus beheizt Nachtclub



Technik

- Rechenzentrumsfläche mit 10.500 m² und einer IT-Last von etwa 30 MW.
- Hohe Energieeffizienz und Versorgung ausschließlich mit Ökostrom.
- Eigene Photovoltaik-Anlagen vor Ort.
- Begrünung von Fassade und Außengelände soll zu einer anspruchsvollen Optik, Isolation und Kühlung beitragen.
- Nutzung der Abwärme aus dem Rechenzentrum für die Wärmeversorgung des Campus und nahen gelegenen Gebäuden.
- „Gebäude weisen optimale Flächenausnutzung für eine hohe Rechenleistung pro Quadratmeter sowie ökologische Bauweise auf“, so Mainova-Vorstandssitzender Dr. Constantin H. Alsheimer.
- Zwei Hochtemperaturwärmepumpen.
- Vorlauftemperatur von 75 °C.
- Demontierung der ursprünglichen Gasheizung und hydraulische Verbindung mit Batschkapp über eine Verbindungsleitung als Notversorgung.
- Wärmebedarf von rund 300 MWh.
- Gleichzeitiger Bau von einer 110 m langen Trasse.



Recht

- Erfüllung der Nachhaltigkeitsziele der Kunden



Kommunikation

- Erfüllung der eigenen Nachhaltigkeitsziele des Unternehmens



Sonstiges

- Abnehmer Batschkapp stellt Wärmeversorgung auf eigenem Gelände um.
- Einsparung von 35 Tonnen CO₂ pro Jahr

Deutschland

2024

0-500m

Hochtemperaturwärmepumpen

Gebäudebeheizung, Wärmenetzeinspeisung

Frankfurt Seckbach

30 MW

Nahwärmenetz

Mainova Webhouse GmbH & Co. KG, Mainova AG, Kulturzentrum Batschkapp

Bildquelle: [41]; Quellen: [42–46]

Audi IN CAMPUS



In Umsetzung

-  Deutschland
-  2023
-  22-30 °C
-  Gebäudebeheizung
-  Kaltes Nahwärmenetz
-  Low-Ex Netz, reversible Wärmepumpen, therm. Speicher, Flächenheizung
-  Ingolstadt
-  3000 m
-  max. 45 °C
-  2 MW
-  AUDI Werksplanung/ Planung Energie und Gebäudetechnik, Audi AG, Drees & Sommer, Stadt Ingolstadt, Stadtwerke Ingolstadt, Technische Hochschule Ingolstadt, Fraunhofer Institut Magdeburg, incampus GmbH

 Bildquelle: [47]; Quellen: [48–50]



Technik

- Abwärme (ca. 2 MW, im Endausbau 20 MW) aus rund 8.000 Server (Konzernrechenzentrum) wird als Heizenergie genutzt.
- Die Abwärme aus den IT Servern werden über Wärmetauscher ins Kühlwassersystem übertragen, welches als Wärmequelle zur Abwärmenutzung dient. Sollte keine Abwärmenutzung stattfinden, kühlt das RZ autark den Kühlwasserkreis auf die geforderten Temperaturen.
- Die Wärmeauskopplung erfolgt über ein Ventil im Wasserkreislauf (zwischen 22 und 30 °C). Überschüssige Abwärme wird über Klimageräte und Hybridkühler abgeführt.
- Das Low-Ex Netz (DN800 – DN600, Leitungslänge 3.000 m (9.100 im Endausbau), Wasserinhalt 1.220.000 l) besteht aus kombinierten Rohrleitungsnetz, das in beide energetische Richtungen offen ist. Die Temperatur bewegt sich zwischen 5 - 30 °C.
- In den Gebäuden sind reversible Wärmepumpen (Vorlauftemperatur: max. 45 °C) in Verbindung mit Flächenkühlheizsysteme und unterstützenden Heizkörpern vorgesehen.
- Wärmepumpe sind nur auf 50 % der notwendigen Heizleistung ausgelegt (decken 80 bis 90 % des Jahresbedarfs). Für die Abdeckung der Spitzenlast dient das Fernwärmenetz der Stadtwerke Ingolstadt.
- Mit einem Fassungsvermögen von 3.000 m³ werden sowohl Wärme als auch Kälte in den Sprinklerlöschwassertanks gespeichert. Zusätzlich dienen die Erdspeicherbecken mit einem Fassungsvermögen von 28.779 m³ als Wärmespeicher.



Betriebswirtschaft

- Geplante Inbetriebnahme im Laufe des Jahres 2023.
- Joint Venture von AUDI und der Stadt Ingolstadt.
- Bei der Entwicklung des INCampus stehen zukunftsfähige und nachhaltige Konzepte im Fokus – sowohl beim Bau der Gebäude als auch bei der Energieversorgung des Technologieparks. Der Forschungscampus dient als Erprobung für Audi, um weltweit die Energiewende voranbringen.



Kommunikation

- Vision eines Null-Energie-Campus.
- Externe Beratung durch IBM und die Minimierung der Anzahl der Schnittstellen zwischen dem Nahwärmenetz und dem Rechenzentrum haben zu einer hohen Akzeptanz bei den IT-Verantwortlichen beigetragen.

FRANKY



Technik

- IT-Anschlussleistung ca. 35 MW, aber kontinuierliche Steigerung durch Ausbau auf dem Campus.
- Tatsächliche Leistungsaufnahme bei ca. 20 MW, wovon ca. 2/3 reine IT-Leistung sind (ca. 14 MW).
- Räumliche Nähe Rechenzentrum – Wohnquartier (Neubau), Bau der Abwärmeleitung vom Rechenzentrum der Telehouse zur Haupttechnikzentrale: ca. 500 Meter, Ausbau Fernwärmeleitung: ca. 260 Meter entlang Rebstöcker Straße, Bau des Nahwärmenetzes im Wohnquartier: ca. 580 Meter.
- Temperaturen Nahwärmenetz: 70/40°C, 2 Großwärmepumpen mit je 320 kW_{th}, Wärmelast und Leistung der Fernwärmestation von 3.210 kW_{th}, Jahresbedarf 4000 MWh/a von 1300 Neubauwohnungen, 3 Kindergärten und Gewerbeeinheiten; davon sollen mind. 2.400 MWh/a aus Abwärme gedeckt werden.
- Kombination aus Rechenzentrumsabwärme (mind. 60 %) und Fernwärme (max. 40 %, wird unter anderem durch Müllverbrennung im MHKW Frankfurt erzeugt). Die Abwärmetemperatur beträgt etwa 30 °C. Zusätzlich gibt es einen kleinen Pufferspeicher.
- Kopplung von Nah- und Fernwärmenetz für die Sicherstellung der Wärmeversorgung zu Spitzenlastzeiten.
- Max. Heizlast Wohnquartier Westville 3,2 MW. Wärmebezug Mainova von Telehouse im Winter ca. 500 kW plus 140 kW_{el} für Wärmepumpen ergibt max. 640 kW_{th}. Im Sommer ein Wärmebedarf von ca. 100 bis 200 kW_{th}, wodurch das Fernwärmenetz gar nicht beansprucht wird.



Recht

- Mainova-Contracting, 15 Jahre Vertragslaufzeit, Mainova plant und errichtet die technischen Anlagen, Telehouse verpflichtet sich gegenüber Mainova diese Abwärme 15 Jahre lang zu liefern.
- Dem Energieversorger wurde vom Rechenzentrumsbetreiber Zugriff „auf alles, was diese verbauen“ gewährt.
- Vertrag Telehouse - Mainova und Mainova - Instone ist unterzeichnet.



Betriebswirtschaft

- Kooperationsbereitschaft Rechenzentrum (Sicherheit und kostenfreie Abwärme).
- Rechnet sich derzeit nur, weil die Abwärme von Rechenzentrum kostenfrei zur Verfügung gestellt wird.
- Fertigstellung des Gesamtprojekts: 2025, Phase 1 bezugsfertig für Mieter und erste Wärmelieferung: 2023



Kommunikation

- Offenheit und Interesse der Bauträger/Investoren als auch des Rechenzentrenbetreibers.
- Erstes Projekt dieser Art und Größe in Deutschland.
- Einsparung von 440 t CO₂ pro Jahr im Vergleich zu einer konventionellen Wärmeerzeugung



Sonstiges

- Mainova hat eine Nachhaltigkeitsstrategie (Nachhaltigkeitsmanagement) in der Unternehmensstrategie 2028.
- Telehouse war äußerst kooperativ und signalisierte frühzeitig eine Bereitschaft zur Wärmeauskopplung.

	Deutschland		Frankfurt, Gallus-Viertel
	2025		35 MW
	30 °C		70 °C
	500 m		Gebäudebeheizung
	Nahwärmenetz		Telehouse Deutschland
	Großwärmepumpe, Pufferspeicher, Fernwärmenetz		GmbH, Mainova AG, Instone Real Estate, Bayerische Versorgungskammer

Bildquelle: [51, 52]; Quellen: [53–62]

Geplanter Rechenzentrums-campus am ICE-Bahnhof



Technik

- Rechenzentrum mit einer Serverkapazität von 35.000 Servern auf einer Fläche von 10.330 m² am Limburger ICE-Bahnhof. Das Gebäude nimmt eine Bruttofläche von rund 4.500 m² ein.
- Inbetriebnahme ist für Q2 2023 vorgesehen.
- Das Rechenzentrum wird ausschließlich die von OVHcloud selbst entwickelten und patentierten Wasserkühlsysteme verwenden, die hohe Ausfallsicherheit mit hoher Energieeffizienz verbinden. Um die Redundanz und damit die Ausfallsicherheit zu erhöhen, verfügt jedes Server-Rack über ein eigenes, doppelt redundantes Mini-Wasserkreislaufsystem.
- Mit dem Technologiestand 2017 können die Wasserblöcke 200 W bei einer Wassertemperatur von 30 °C abführen. Mit der neusten Technologie mit lasergeschweißten metallischen Grundplatten und Abdeckungen können Schrauben und Kleber vermieden und das Risiko von Leckagen minimiert werden.
- Der Strom wird vom regionalen Anbieter Energieversorgung Limburg (EVL) aus zu 100 Prozent erneuerbaren Energien bezogen.
- Das Rechenzentrum wird auf einer „grünen Wiese“ errichtet, wodurch die neue Anlage von Beginn an auf die Anforderungen von OHVcloud zugeschnitten werden kann.
- PowerRZ GmbH & Co. KG übernimmt die Planung des Rechenzentrums. Die direkte Wasserkühlung wird nicht nur zur Steigerung der Energieeffizienz eingesetzt, sondern auch zur Abwärmenutzung. Für den Neubau wird der Rücklauf der Serverraumkühlung zur Beheizung der Büros über eine Fußbodenheizung genutzt. Zur Kompensation versiegelter Flächen kommt auch eine begrünte Fassade und ein begrüntes Dach zum Einsatz.



Betriebswirtschaft

- OVHcloud plant einen Betrag von etwa 100 Mio. Euro über einen Zeitraum von fünf Jahren in das neue Rechenzentrum zu investieren.
- Es werden direkt 25 neue Arbeitsplätze und zusätzlich weitere 20 indirekte Arbeitsplätze geschaffen.

Deutschland	Limburg
Q2 2023	3000 m
30 °C	Gebäudebeheizung
Wasserkreislauf	OVHcloud, PowerRZ GmbH & Co. KG, Energieversorgung Limburg (EVL)
Patentierte Wasserkühlsysteme, Fußbodenheizung	

Bildquelle: [63]; Quellen: [64–68]

JUPITER Project



Technik

- Der Rechner mit der Bezeichnung „Jupiter“, die Abkürzung steht für „Joint Undertaking Pioneer for Innovative and Transformative Exascale Research“, wird ab 2023 in einem eigens dafür errichteten Gebäude auf dem Campus des Forschungszentrums Jülich installiert. Als Betreiber ist das Jülich Supercomputing Centre (JSC) vorgesehen, dessen Superrechner „Juwels“ und „Jureca“ aktuell bereits zu den leistungsfähigsten Supercomputern der Welt gehören.
- Eine große Herausforderung ist der Energiebedarf, der für eine derart große Rechenleistung erforderlich ist. Die erwartete mittlere Leistung beträgt bis zu 15 Megawatt.
- Die zukünftigen Betreiber teilen jedoch mit, dass Jupiter als „grüner“ Rechner konzipiert sei und mit Ökostrom betrieben werden soll.
- Die vorgesehene Warmwasserkühlung soll dazu beitragen, dass der Supercomputer hohe Effizienzwerte erreicht. Zugleich eröffnet die Kühltechnologie die Möglichkeit, die entstehende Abwärme intelligent zu nutzen, etwa indem Jupiter wie das Vorläufersystem Juwels an das neue Niedertemperaturnetz auf dem Campus des Forschungszentrums Jülich angeschlossen wird. Weitere Nutzungsmöglichkeiten für die Abwärme von Jupiter werden aktuell vom Forschungszentrum Jülich untersucht.

Betriebswirtschaft

- Die Gesamtkosten für das System belaufen sich auf 500 Millionen Euro.
- 250 Millionen Euro werden von der europäischen Supercomputing-Initiative EuroHPC JU und die andere Hälfte vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Ministerium für Kultur und Wissenschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (MKW NRW) getragen.

-  Deutschland
-  2023
-  Warmwasserkühlung
-  Im Gebäude
-  Niedertemperaturnetz
-  Jülich
-  15 MW
-  Gebäudebeheizung
-  Forschungszentrum Jülich, European High Performance Computing Joint Undertaking

 Bildquelle: [69]; Quellen: [70]

Wohngebiet „An den Eichen“



Technik

- Ein nicht-verdampfendes Wärme-Abgabesystem war geplant, mit einem PUE < 1,25.
- Abwärme des Evo RZ soll in eigenes Fernwärmenetz eingespeist, zusätzlich ab 2024 9 MW Wärme durch neue Data-Centers für die Beheizung von 1200 Zwei-Personen-Haushalten.



Betriebswirtschaft

- 500 Millionen Euro Gesamtkosten.



Kommunikation

- Das Wohngebiet „An den Eichen“ wurde vor dem RZ fertiggestellt und an das Nahwärmenetz angeschlossen. Für einen Anschluss hätte das RZ früher gebaut werden müssen. Möglicherweise könnte ein Schwimmbad in der Nähe gebaut werden. Eine Anbindung an Bürgel-Ost wird von einigen Partnern für realistisch gehalten.
- Potenzieller Abnehmer der Abwärme des privaten RZ: Samson Werk, da großer Bedarf an Wärme, aber eher unwahrscheinlich.
- Kritik an Cloud HQ RZ wegen Flächenversiegelung, ungenutzte Abwärme, große Umweltbelastung durch Dieselgeneratoren für Notstrom.
- Kritik führte zu besserem Austausch zwischen Cloud HQ und lokaler Agenda.

 Deutschland

 Offenbach

 2024

 Gebäudebeheizung

 Nahwärmenetz

 Cloud HQ

 Bildquelle: [71]; Quellen: [72–76]

Campus Lichtwiese, Lichtenberg-Hochleistungsrechner



Technik

- Direkte Warmwasser-Kühlung.
- Wärmeversorgung von eigenen Gebäuden durch Kopplung des universitätseigenen Fernwärmenetzes und eines Hochleistungsrechners mit Rücklauftemperaturen von 60 °C.
- Wärmepumpe soll auf der Verflüssigerseite 70 °C für das Fernwärmenetz bereitstellen und gleichzeitig den auf der Verdampferseite zirkulierenden Rücklauf des Kaltwassers zur Serverkühlung von 60 °C auf 50 °C abkühlen.
- Es soll ein Fernwärmenetz der 4. Generation am Campus entstehen.
- Bedarf an Heizenergie soll ab 2018 um 26 % sinken.



Betriebswirtschaft

- Förderung in Höhe von 15 Mio. Euro.



Kommunikation

- Rechenzentrum und Wärmenetz haben denselben Träger.

Deutschland

Darmstadt

60 °C

70 °C

Direkte
Wasserkühlung,
Wärmepumpe

ein Campus

Gebäudebeheizung

Fernwärmenetz

TU Darmstadt, Bund, Land
Hessen

Bildquelle: [77]; Quellen: [78–84]

Z3



Technik

- Abwärme aus dem RZ wird für die vollständige Beheizung des Bürogebäudes in Kombination mit einer Fassade in Passivhausqualität ($0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$) genutzt. Energieübergabe erfolgt in den Büro- und Besprechungsräumen mittels Heiz-/Kühldecken und im Treppenhaus mit einer Fußbodenheizung.
- Wärmebedarf ($4,30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) des Gebäudes ist so gering, dass die Abwärme ausreicht, um die Zufahrt zur Tiefgarage (ca. 200 W/m^2) im Winter eisfrei zu halten.
- RZ hat einen Kältebedarf von etwa 200 MWh, der überwiegend durch Freikühlung gedeckt wird. 2 Kältemaschinen sind vorhanden, wobei eine auf Wärmepumpen- und die andere auf Kältebetrieb ausgelegt ist. Im Winter wird mit der Wärmepumpe und der RZ-Abwärme das Bürogebäude beheizt und der Kältebedarf des RZ komplett gedeckt. In den Sommermonaten arbeiten beide Kältemaschinen im Verbund.
- Kalt- und Warmgang für die Serverkühlung. Eine elektronische Regelung steuert und überwacht alle notwendigen Komponenten für die Kälteerzeugung. Die Vorlauftemperatur im Kältekreis beträgt $19 \text{ }^\circ\text{C}$, sodass die Klimageräte die Luft mit 20 bis $22 \text{ }^\circ\text{C}$ direkt in die Racks eingebracht werden können. Durch den vorhandenen Warmgang ergibt sich eine Warmlufttemperatur von ca. $34 \text{ }^\circ\text{C}$.
- BHKW für Spitzenlast.
- Pufferspeicher für die Niedertemperaturheizung (Wärmepumpe), um hohe Jahresarbeitszahlen zu erreichen.
- Heiz-/Kühldecke hat eine Vorlauftemperatur von $29 \text{ }^\circ\text{C}$ und trägt zur hohen Jahresarbeitszahl bei.

 Deutschland

 $34 \text{ }^\circ\text{C}$

 Zwei Kältemaschinen (Wärme- und Kältebetrieb), Freikühlung, Pufferspeicher, Heizdecke, Passivhausstandard, Tiefgaragenzufahrtsbeheizung

 Stuttgart

 $29 \text{ }^\circ\text{C}$

 ein Gebäude

 Gebäudebeheizung

 Ed. Züblin AG, zafh.net, Hochschule Biberach, Fraunhofer-Institut IBP, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

 Bildquelle: [85]; Quellen: [86–89]

Green Cube



-  Deutschland
-  ein Campus
-  wassergekühlte Racktüren

-  Darmstadt
-  Gebäudebeheizung
-  GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, Helmholtz-Gemeinschaft, Bundesministerium für Bildung und Forschung

 Bildquelle: [90]; Quellen: [91–94]



Technik

- Rechenzentrum in Würfelform mit einer Größe von 27×30×22 m mit sechs Etagen und einem angrenzenden Technikgebäude inkl. Kühltürmen.
- Bis zu 12 MW Abwärme können über die adiabate Kühlung mittels offener Verdunstungskühltürmen abgeführt werden.
- Umgewälzte Serverraumluft wird mit wasserdurchströmten Wärmetauschern in den rückseitigen Racktüren herabgekühlt, wobei deren Wasserkreislauf durch einen Wärmetauscher vom offenen Kühlkreislauf entkoppelt ist. Dadurch kann auf eine Umluftkühlung verzichtet werden.
- Strombedarf der Kühlung beträgt weniger als 7% der elektrischen Leistung der IT-Hardware (bei herkömmlichen Systemen sind es 50 bis 100 %).
- Anfallende Abwärme wird zusätzlich für die Beheizung von Büro- und Kantinenräumen auf dem Campus verwendet.



Betriebswirtschaft

- Technikkosten 2,8 Mio. €.



Sonstiges

- Das Rechenzentrum soll als Test-Datacenter dienen, bzw. ein Reallabor oder Experimentierraum, welches es ermöglicht, unter realer Rechenzentrums Umgebung innovative Technologien, Produkte, Ansätze und Dienstleistungen zu erproben.
- Weiterhin ist die Möglichkeit gegeben, unter realen Bedingungen zu testen, zu experimentieren, Informationen zu sammeln und zu lernen. Hiermit kann Forschung & Entwicklung weiter vorangetrieben werden, neue Innovationen entstehen beziehungsweise finale Produkte und die Technologie lassen sich anpassen oder entwickeln.

Turnhallenbeheizung



Technik

- Unterirdisches Colocation-Rechenzentrum (RZ-AKQ-HAM-02) mit zwei Stockwerken, 200 m² Fläche und Platz für 63 Serverschränke.
- Bei einer Außentemperatur von weniger als 12 °C erfolgt eine freie Kühlung.
- Auf dem Rechenzentrum in Alsterdorf befindet sich eine barrierefreie Dreifeld-Turnhalle für die Bugenhagen-Schule. Diese wird mit einem Teil der Abwärme des Rechenzentrums beheizt.
- Ausrichtung der System- und Technikräume nach Green-IT-Grundsätzen. PUE-Wert von 1,25 bei Volllast.
- Es werde 100 % Ökostrom bezogen, welche sich aus Wind- und Wasserkraft, Sonnenstrahlung, Biomasse und Geothermie zusammensetzen.
- In diesem Rechenzentrum sollen eigenen Angaben zufolge zum ersten Mal Coolwalls statt herkömmlichen Umluftkühlgeräte eingesetzt werden, welche ihr Betriebsverhalten an die Lastverhältnisse der IT-Räume anpassen.

Kommunikation

- RZ-AKQ-HAM-02 und RZ-AKQ-NOR-01 – bilden in Hamburg und Norderstedt ein Twin Data Center und erfüllen im Verbund die Standards TÜViT TSI 4.1 und EN50600.

 Deutschland

 Hamburg

 Coolwalls

 Turnhalle über RZ

 Direkter Anschluss

 Gebäudebeheizung

 Akquinet, Bugenhagen-Schule

 Bildquelle: [95]; Quellen: [96–100]

Universität Hamburg

In Betrieb



Technik

- Einsparung von 3.500 MWh Wärmeenergie und 1000 Tonnen CO₂ pro Jahr.
- Kühlung RZ mit Wasser, erhitztes Wasser wird durch Rohrsystem über Schacht und Keller in Bundesstraße 45 geleitet.
- Einsatz von Wärmetauschern, die Wärme von Wasser auf Zuluft übertragen.
- Zuluft wird im Anschluss den Universitäts-Laboren zugeführt, um Räume zu erwärmen.
- Optimierungen an Regelungen geplant für zweites Betriebsjahr zum Erreichen von 4.000 MWh eingesparte Wärmeenergie.

Betriebswirtschaft

- Finanzierung durch Klimafonds der Stadt Hamburg und Finanzierungsmodell „Interacting“.
- Förderung der Behörde für Energie, Klima und Agrarwirtschaft.
- Eingespartes Geld durch geringere Stromkosten fließt in Fonds, durch das neue Maßnahmen finanziert werden (Teilnahme Universität Hamburg seit 2017).

 Deutschland

 Hamburg

 Wärmetauscher

 Gebäudebeheizung

 0-500 m

 Rohrsystem

 Universität Hamburg, Deutsches Klimarechenzentrum (DKRZ)

 Bildquelle: [101]; Quellen: [102]

Unterfränkische Überlandzentrale Lülsfeld



Technik

- Umluftkühlgeräte entnehmen Abwärme des RZ.
- Sole/Wasser-Wärmepumpe von NOVELAN mit einer Wärmepumpenleistung von 50 kW bei 22 °C Wärmequellentemperatur.
- COP von 7,0 bei 22 °C Wärmequellentemperatur und 35 °C Vorlauftemperatur.
- Beheizung der eigenen Räume (Büros und Werkstatt über Heizdecke), insgesamt 500 m² beheizte Nutzfläche.
- Rücklauf des Kühlsolesystems fließt in einen 1.000-Liter-Pufferspeicher. Dieser dient der Wärmepumpe als Wärmequelle.
- Zur Erhöhung der Gerätelaufzeit und zur Verhinderung der Taktung des Kaltwassersatzes gibt es einen Primär- und Sekundärkühlkreislauf.
- Im Sekundärkreislauf ist ein 2.000-Liter-Pufferspeicher integriert.
- Jahresarbeitszahl liegt bei 4,48 bei einer maximalen Systemtemperatur von 55/45 °C.



Betriebswirtschaft

- Bei einem Strompreis von 18 Cent pro kWh ergibt sich ein Wärmearbeitspreis von 4 Cent pro kWh; deutlich günstiger als Standard-Heizbetrieb der Überlandzentrale mittels Erdgas-Brennwertkessel.
- Erdgaseinsparung von 100.00 kWh pro Jahr; spart beim Einsatz von Naturstrom 25 Tonnen CO₂ jährlich ein.

Deutschland

Lülsfeld

22 °C

35 °C

Im Gebäude

Direkter Anschluss
Kühlkreisläufe

Sole/Wasser-
Wärmepumpe,
Umluftkühlgeräte,
Wärmespeicher, Primär-
& Sekundärkühlkreislauf

Gebäudebeheizung

NOVELAN,
unterfränkische
Überlandzentrale

Bildquelle: [103]; Quellen: [104–106]

Heinrich-Böll-Stiftung



 Deutschland

 30 °C

 Im Gebäude

 Hochleistungswärmetauscher, Cool-Racks, adiabate Rückkühler

 Berlin

 30 °C

 Gebäudebeheizung

 Heinrich Böll Stiftung, Basler & Hofmann



Technik

- Energieverbrauch unterbietet gesetzlich vorgeschriebenen Werte um die Hälfte
- Primärenergieverbrauch nach einem Jahr Einregulierung von ca. 44 kWh/m²*a
- Lüftung über Atrium, Kühlung durch Wasserverdunstung, Heizen mit Serverabwärme, optimale Dämmung.
- Photovoltaik-Anlage auf dem Dach mit 53.000 kWh Primärenergiebeitrag pro Jahr
- In allen Büros befinden sich entlang der Fensterfronten so genannte Brüstungsgeräte. In ihnen befindet sich ein Hochleistungswärmetauscher. Zum Heizen benötigen die Brüstungsgeräte nur eine Vorlauftemperatur von 28 °C
- Durch Cool-Racks können Server in Gebäudetechnik eingebunden und Abwärme direkt nutzbar gemacht werden, Racks werden von Wasser mit Temperatur von 23 °C durchflossen
- Server erwärmen Wasser auf ca. 30 °C, welches in Heizsystem eingespeist wird und Büroräume erwärmt.
- Kühlung der Server im Sommer über adiabatischen Rückkühler
- Natürliche Lüftung durch Atrium im Inneren des Gebäudes, Belüftung des Innenhofs durch das offene Atriumsdach im Sommer. Im Winter sorgt Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung für Frischluftzufuhr im Atrium. Abwärme dient als Abluft zum Aufwärmen der Frischluft.



Betriebswirtschaft

- Senkung von Betriebskosten um ca. 18 %
- Baukosten bei ca. 10,5 Mio. € bei ca. 7.000 m² Bruttogrundfläche



Sonstiges

- GeenCIO Award für Kühl/Heizkonzept

 Bildquelle: [107]; Quellen: [108]

80-MW-Hyperscale-Datacenter



-  Deutschland
-  Taunus-Gemeinde Liederbach
-  Gebäudebeheizung
-  80 MW
-  Wohngebiet vor Ort
-  Stack Infrastructure
(kurz: Stack)



Technik

- 80 MW-Rechenzentrum-Campus mit einer Größe von 70.000 m².
- Campus ist auf Energieeffizienz und Nachhaltigkeit ausgerichtet.
- Beherbergt vier Einrichtungen.
- Einrichtungen werden zu einer Kreislaufwirtschaft beitragen, etwa durch den Einsatz innovativer grüner Technologien, darunter die Regenwassernutzung und die Bereitstellung von Überschusswärme für die Planung des Ausbaus eines Wohngebiets vor Ort.



Kommunikation

- Enge Zusammenarbeit mit CCEP DE und Kooperation mit Gemeinde Liederbach, um lokale Beziehungen und eine gemeinsame Vision für den modernen Rechenzentrum-Campus zu fördern.



Sonstiges

- „Wir wissen, dass es in Frankfurt eine überwältigende Nachfrage nach einer schnellen, flexiblen, belastbaren und effizienten Rechenzentrumsinfrastruktur gibt. Deshalb sind wir dem Ruf gefolgt, genau das zu liefern, was unsere Kunden erwarten.“ John Eland CEO von Stack EMEA
- Eva Söllner ist die Bürgermeisterin der 8728-Einwohner-Gemeinde Liederbach. Sie betont: „Die Gemeinde Liederbach freut sich auf die Eröffnung ihres ersten Rechenzentrum-Campus vor Ort und darüber, zu einer immer stärker vernetzten Welt beizutragen.“ Sie erwartet positive Effekte, wie kurzfristige und langfristige Vorteile und neue Perspektiven.

 Bildquelle: [109]; Quellen: [110]

25 MVA Rechenzentrum



Technik

- Erstes „Green Data Center“ von Data Castle in Schwalbach mit einer Leistung von 25 MVA.
- Co-Location Datacenter.
- Nutzung von ausschließlich erneuerbaren Energien und Abwärme wird direkt ins Fernwärmenetz geleitet.
- Installierung von Solarpanel zur Stromerzeugung auf dem Grundstück.
- Geplanter PUE-Wert von 1,25.



Betriebswirtschaft

- Baumaßnahmen starten 2023.
- Fertigstellung erster Bauabschnitt und Einzug erster Kunden in zweiter Jahreshälfte 2024 geplant.



Kommunikation

- Grundstück überzeugt mit erforderlicher Infrastruktur, Abwärmekonzept lässt sich realisieren.
- Ort gehört zur „Frankfurt Availability Zone“.



Deutschland



Schwalbach am Taunus



Fernwärmenetz



25 MVA



Data Castle

Bildquelle: [111]; Quellen: [112]

JH-Computers



-  Deutschland
-  30 °C
-  Wassergekühlte Racktüren, Absorptionskältemaschine
-  Nahwärmenetz
-  Stöttlen
-  95 °C
-  1 MW
-  Gebäudebeheizung
-  JH-Computers GmbH

 Bildquelle: [113]; Quellen: [114, 115]



Technik

- „Cumulus Computing“ mit 1 MW IT-Leistung und einem PUE von 1,05.
- Leistungsdichte von 40 - 60 kW pro Schrank mit 50 Schränken auf 220 m².
- Wassergekühlte Racktüren.
- Nutzung von PV auf dem Dach, welche auf maximal mögliche Leistung ausgerichtet ist. Zusätzlich ist Gebäudeform so ausgelegt, dass ein maximaler PV-Ertrag erreicht werden kann und weitere PV-Anlagen befinden sich auf umliegenden Gebäuden. Restlicher Strombedarf wird über Biogas und PPAs für Wind und Solar gedeckt. Damit wird das RZ zu 100 CO₂-frei betrieben.
- Nutzung mehrerer Blockheizkraftwerke, betrieben mit bilanziellem Biogas, welches zum einen elektrischen Strom für den RZ-Betrieb liefert und die thermische Leistung zum Antrieb n+2 redundant und modular aufgebauter Adsorptionskältemaschinen nutzt, welche wiederum das Kaltwasser herunterkühlt. Auf diese Weise ergibt sich ein KWKK-System. Im Maximalausbau sollen 3 bis 5 BHKW eingesetzt werden.
- Die Adsorptionsmaschine hat einen Wärmepumpenbetrieb. Mit der RZ-Abwärme (30 bis 40 % Anteil) und der BHKW-Wärme kann Wärme auf einem Temperaturniveau von bis zu 95 °C ausgekoppelt werden.
- Die Raumlufttemperatur beträgt konstant 22°C für alle Server. Die Rücklauftemperatur des Kaltwassers beträgt zwischen 23°C und 26°C.
- Zusätzlich wird die anfallende Abwärme ausgekoppelt und in ein zu errichtendes Nahwärmenetz (Baubeginn 2023) eingespeist.
- In Stöttlen mit etwa 2000 Einwohner war Heizöl früher der wichtigste Brennstoff für die Wärmeversorgung. Jetzt erfolgt der Wechsel auf ein warmes Nahwärmenetz und die initiale Anschlussquote beträgt 60 %. In den Haushalten werden Frischwasserstationen mit kleinen Pufferspeichern installiert.



Betriebswirtschaft

- Für das Nahwärmenetz wird eine separate Gesellschaft gegründet, bei der die Bewohner auch Anteilseigner werden können.
- Im Vergleich zu einem „klassischen Standard-RZ“ können die jährlichen Betriebskosten um etwa 66 % reduziert werden.



Kommunikation

- Ein Großteil der Bewohner konnte vom Projekt überzeugt werden, was auch an der hohen initialen Anschlussquote deutlich wird.

Equinix FR 4, FR 6 und FR 8



-  Deutschland
-  2000 m
-  Nahwärmenetz
-  Wärmetauscher, Niedertemperaturnetz, Wärmepumpen

-  Frankfurt - Griesheim
-  Gebäudebeheizung
-  Equinix, AS Enterprise Engineering GmbH



Technik

- Ein Niedertemperaturnetz ist in Planung. Innerhalb von vier Phasen soll ausgehend vom Norden die Mitte sowie der Osten von Griesheim erschlossen werden.
- Auskopplung der Abwärme durch Wärmetauscher und Pumpen im Netz zu Verbrauchern, aktuelle Entfernung von zwei Kilometern
- Beheizung der Gebäude über lokale Wasserpumpen
- Im Endausbauzustand sollen RZ um die 56 MW Abwärme liefern können für Wärmebedarf von 35-45 MW



Recht

- Vertrag, der kostenlose Bereitstellung der Abwärme für mindestens 20 Jahre garantiert, mit Option auf Erweiterung



Betriebswirtschaft

- Keine Entstehung von Investitionskosten, da Start-up Kosten übernimmt
- Möglicher langfristig verbindlicher Wärmepreis von 15 Cent pro Kilowattstunde, könnte sich nach Abschluss der Ausführungsplanung auch noch „deutlich verringern“



Kommunikation

- Start-up möchte Niedertemperaturwärmenetze für die städtische Beheizung der Stadt und Region Frankfurt am Main konzipieren und umsetzen
- Grund für die Idee sind die vielen Rechenzentren des Betreiber Equinix in der Lärchenstraße
- Idee auch relevant für Hauseigentümer und Mieter wegen aktueller Sorgen über Energie- und Wärmeversorgung



Sonstiges

- Bereist drei RZ vorhanden (FR4, FR6, FR8 (noch im Bau)) und weitere in Planung

 Bildquelle: [116]; Quellen: [117, 118]

Rechenzentrum Köln



Technik

- Abwärme der Server und der Klimaanlage wird zur Heizung der Büroräume und zur Warmwasseraufbereitung genutzt.

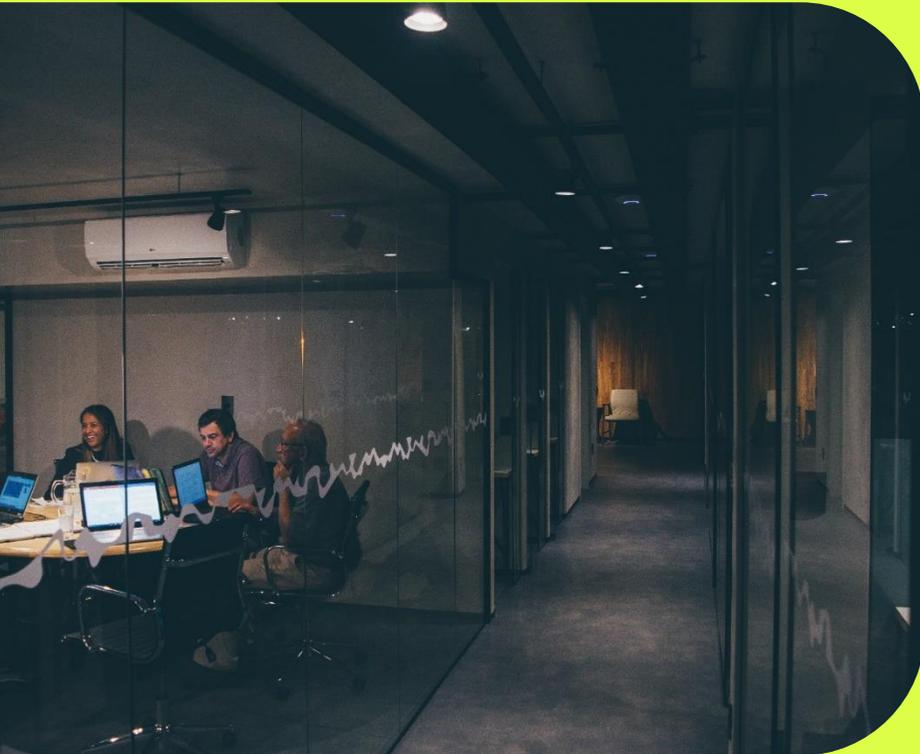
 Deutschland

 Köln

 Host Europe GmbH

 Bildquelle: [119]; Quellen: [120]

Rechenzentrum Kelsterbach



Technik

- Beheizung firmeneigener Büros

 Deutschland

 Kelsterbach

 Lufthansa

 Bildquelle: [121]; Quellen: [120]

Standort Hannover



Technik

- Abwärme aus dem Rechenzentrum wird zum Heizen der umliegenden Büroflächen genutzt, zusätzlich auch Gewerbeflächen in Nachbarschaft.
- 4.000 m² großes Rechenzentrum. Stromversorgung von 4.000 W/m². Datenübertragung pro Rack bei mehreren 100 Megabit pro Sekunde. Pro Rack entsteht nicht mehr als 4 kW Abwärme.
- Standort über deutschlandweitem Glasfaser-Backbone-Ring und über eigene 2-Gigabit-Verbindung an Niederlassungen in Frankfurt, Großbritannien und Bukarest angebunden.
- Stromversorgung über 10 kV-Anlage mit 5 MW, 1.000 kVA-Transformator.
- USV-Anlage mit 720 kVA, zwei Dieselgeneratoren mit je 1.000 kVA.
- Raumtemperatur des Rechenzentrums auf 21 °C (± 2 K) reguliert.
- Freikühlung bei niedrigen Außentemperaturen, Kältemaschinen schalten sich erst ab bestimmter Außentemperatur ein.
- Anlage druckbodenklimatisiert.
- Racks auf Doppelböden in Reihen und nach Front-zu-Front-Prinzip aufgestellt, Kaltluft wird mit Vorlauftemperatur von 22 °C über gelochte Doppelbodenplatten und Schranktüren von vorne zugeführt, hinter Racks wird Warmluft über Decken wieder abgesaugt, Kaltluftgänge und Warmluftgänge sind klar voneinander getrennt.



Kommunikation

- Inbetriebnahme neuester RZ-Anlage 2007, ständige Anpassung an steigende Anforderungen.
- Fünftes RZ im Bau (Stand 2008), Prinzip der Kalt- und Warmluftgänge wird konsequent weiterentwickelt, Hochdruck-Kaltluftpressen werden nicht verwendet



Deutschland



Hannover



Gebäudebeheizung



Im Gebäude,
Nachbarschaft



Kalt- und Warmgang-
einhausung



Hostway

Bildquelle: [122]; Quellen: [120, 123, 124]

ColocationIX Westend



Technik

- Rechenzentrumstandort war ehem. Atombunker.
- Nutzung der oberflächennahen Geothermie (bis zu 400 m tiefe Bohrung) zur Kühlung, konstante Wassertemperatur bei 12°C.
- Die patentierten Integralsonden nutzen das Prinzip der Grundwasserzirkulation. Durch die Nutzung der Grundwasserzirkulation verwandelt sich der Boden in einen Kältespeicher. Die Umgebungsluft außerhalb der sommerlichen Hitzeperiode dient als Kältequelle zum Regenerieren der Geothermieanlage.
- Dauerleistung 200 kW und Spitzenleistung 800 kW durch vier voneinander unabhängige Kreisläufe. In den IT-Räumen werden In-Row-Cooling-System eingesetzt.
- Bei Temperaturen zwischen 20°C und 28°C springen die adiabaten Rückkühler auf dem Dach ein. Pro Liter vernebeltem und verdunstetem Wasser werden ca. 0,7 kW/h zusätzlicher Energie zur Kühlung frei. Ab 28°C schaltet sich dann die geothermische Kühlung hinzu. Fällt die Umgebungstemperatur unter den Schwellenwert 20°C, macht sich das Rechenzentrum die freie Umluft zur Nutze.
- Neben der Luftkühlung wird das Gebäude über Betonkernaktivierung auch gekühlt und geheizt (mit Abwärme). Im Beton sind Rohrregister verbaut, in denen Wasser zirkuliert und je nach Temperatur Wärme aufnimmt oder abgibt.
- Durch dieses Energiekonzept kann vollständig auf Kompressionskälte und Wärmepumpen verzichtet werden.

 Deutschland

 Bremen

 Betonkernaktivierung, oberflächennahe Geothermie

 Grundwasserzirkulation mit Integralsonden

 Consultix

 Bildquelle: [125]; Quellen: [126]

München 2



Technik

- Die im Rechenzentrum entstehende Wärme wird am Standort München 2 zusätzlich dafür genutzt, die Fußbodenheizung beispielsweise in Büroräumen, im Eingangsbereich oder im Treppenhaus zur Heizung zu

 Deutschland

 München

 NTT Global Data
Centers

 Bildquelle: [127]; Quellen: [128]

MU4



Technik

- Erste 90 Millionen-Dollar-Phase bietet mehr als 2.250 m² Colocation-Fläche und mehr als 825 Schränke mit Kapazität
- Installation von Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) System in nächster Bauphase für Wärmerückgewinnung



Kommunikation

- "Auf lokaler Ebene engagieren wir uns gemeinsam mit Betreibern, politischen Entscheidungsträgern und Energieversorgern, um die langfristigen Herausforderungen der nachhaltigen Digitalisierung zum Wohle des Umfelds anzugehen. Dazu gehören gestalterische Aspekte wie die Verwendung von begrünten Fassaden ebenso wie mögliche Maßnahmen zur Unterstützung der Energiewende wie die Nutzung von Abwärme." Jens-Peter Feidner, Geschäftsführer Deutschland bei Equinix.



Sonstiges

- RZ wird mit voraussichtlich 100 % erneuerbarer Energie betrieben, die über ein Ökostrom-Zertifikat des lokalen Anbieters Mainova bezogen wird
- International Business Exchange (IBX) Anlage



Deutschland



München



Auifer Thermal Storage (ATES) System



Equinix

 Bildquelle: [129]; Quellen: [130, 131]

Voltastraße, Hattersheim



Technik

- Fünf NTT-Rechenzentren an der Voltastraßen sollen ihre Abwärme zur Beheizung von 460 Wohnungen in einem neuen Wohngebiet zur Verfügung stellen.
- Die Abwärme reicht aus, um etwa 80 % des Energiebedarfs der Gebäude zu decken.

 Deutschland

 Hattersheim

 NTT Global Data
Centers

 Bildquelle: [132]; Quellen: [133]

heiCOMACS



Technik

- Abwärme des RZ soll über eine Wärmerückgewinnung für den Gebäudebetrieb nutzbar gemacht werden.



Betriebswirtschaft

- Gesamtinvestition von rund 15 Mio. Euro.

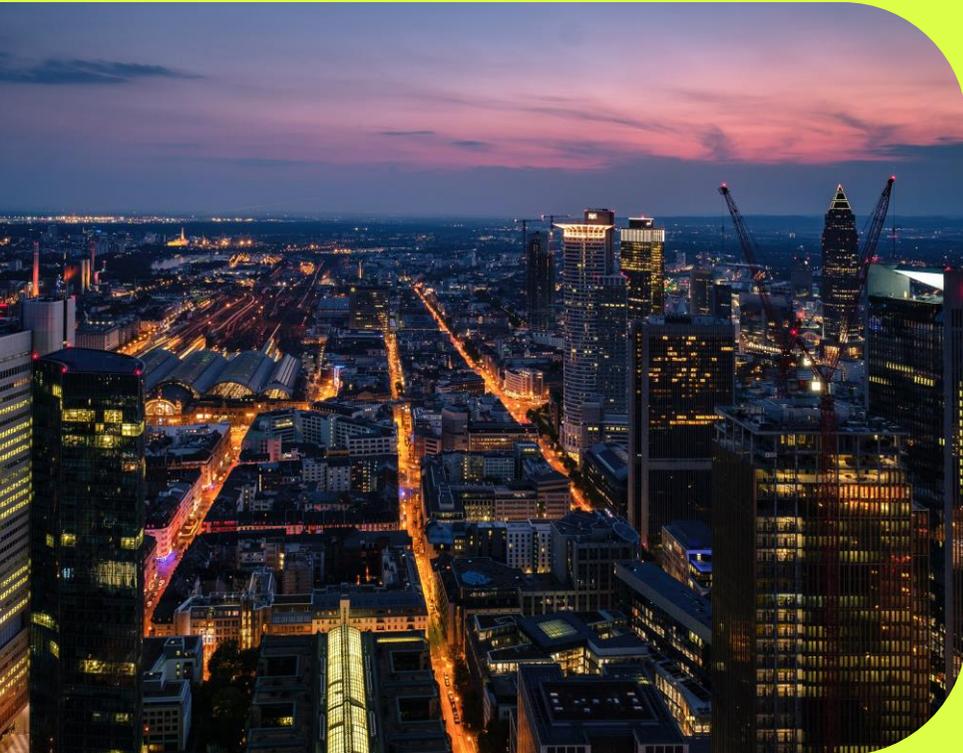
 Deutschland

 Heidelberg

 Landesregierung
Baden-Württemberg,
Klaus Tschira Stiftung,
Universität Heidelberg

 Bildquelle: [134]; Quellen: [135]

Digital Park Fechenheim (ehemaliges Neckermann-Gelände)



Technik

- Bei Vollausbau 20 MW Abwärme für Fernwärmeversorgung, Heizenergie für rund 3.600 Haushalte.
- Zudem ist Abwärmenutzung für Nahwärmenetz in Planung für rund 18.000 m² eigener Büro- und Lagerflächen.
- Installierung von mehreren industriellen Großwärmepumpen im denkmalgeschützten Kesselhaus auf dem Gelände des Digital Parks Fechenheim, um RZ-Abwärme auf erforderliches Temperaturniveau für Einspeisung in Fernwärmesystem zu heben.
- Bau neuer Fernwärmetrasse in unmittelbarer Nähe des Digital Parks zur Netzanbindung.



Recht

- Unterzeichnung einer Absichtserklärung für gemeinsames Projekt zur nachhaltigen RZ-Abwärmenutzung



Kommunikation

- Errichtung von Rechenzentrums-campus mit elf neuen Rechenzentren
- Machbarkeitsstudie zur Prüfung, ob Abwärme eines RZ in Mainova Fernwärmenetz einspeisen kann
- „Die Zusammenarbeit mit unserem Partner Digital Realty wird uns künftig erstmals ermöglichen, Rechenzentrumsabwärme in unserem Fernwärmesystem zu integrieren“, sagt Mainova-Technikvorstand Martin Giehl.
- Erstes RZ „FRA17“ mit modernster Infrastruktur bereits fertiggestellt und an Betrieb übergeben.
- FRA18 bereits im Rohbau, Fertigstellung im kommenden Winter 2023. Beginn mit Bau von FRA27, ebenfalls Fertigstellung im Winter 2023.

 Deutschland

 Frankfurt Fechenheim

 Großwärmepumpen

 Fernwärmenetz,
Nahwärmenetz

 Gebäudebeheizung,
Einspeisung ins
Fernwärmenetz

 Digital Realty
Mainova

 Bildquelle: [136]; Quellen: [137]

nLighten Rechenzentrum



 Deutschland

 800 m

 Gebäudebeheizung,
Beheizung von
Schwimmbecken

 Eschborn

 2,4 MW

 Fernwärmenetz

 nLighten, Stadt Eschborn,
Deutsche Gesellschaft für
Internationale
Zusammenarbeit GmbH (GIZ)

 Bildquelle: [138]; Quellen: [139, 140]



Technik

- Nutzung der Wärme aus Anlage mit 2,4 MW_{el} Leistung zur Fernwärmeversorgung der GIZ-eigenen Liegenschaften in Eschborn und des Wiesenbades der Stadt Eschborn.
- Bau von 800 m langer Versorgungsleitung für Verbindung zwischen Edge-RZ und Wiesenbad zur Übertragung von heißem Wasser.



Recht

- Unterzeichnung von Absichtserklärung zur Wiederverwendung der Abwärme des RZ.



Kommunikation

- GIZ möchte mit dem Projekt nicht nur ihre Energiekosten senken, sondern auch Nachhaltigkeitsinitiativen fördern
- nLighten prüft die Wärmerückgewinnung auch an seinen anderen zehn deutschen Standorten und befindet sich nach eigenen Angaben "bereits in Gesprächen mit kommunalen Behörden und lokalen Akteuren".



Sonstiges

- "Die fortschreitende Digitalisierung der Wirtschaft und die damit einhergehende Energiewende schaffen eine spannende Möglichkeit, Rechenzentren in die lokale Energieinfrastruktur zu integrieren", sagt Chad McCarthy, CTO bei nLighten

Ingelheimer Aue



Technik

- Grundstücksfläche von 25.000 m², sukzessive drei Gebäude mit einer IT-Leistung von insgesamt 54 MW.
- Abwärme von bis zu 60 MW wird über Großwärmepumpen ins Mainzer Fernwärmenetz eingespeist.
- Kühlwasser wird aus dem Rhein bezogen.



Kommunikation

- Wie Markus Blüm, Geschäftsführer der Green Mountain KMW Data Center GmbH, ausführt handle es sich um ein „ein Leuchtturmprojekt der Branche, da die Kombination aus sicherer, emissionsfreier Stromversorgung, nachhaltiger Wärmenutzung und effizienter Kühlung einzigartig für ein Rechenzentrum dieser Größe ist.“



Sonstiges

- Baubeginn erstes Gebäude im Herbst 2023
- KMW nutzt nach eigenen Angaben Synergien am Standort zur nachhaltigen Versorgung der Gebäude und verantwortet die spätere Instandhaltung
- Betriebsgelände der KMW auf der Ingelheimer Aue bietet einige Vorteile, wie die Stromversorgung durch das Portfolio an Erneuerbaren Energien der KMW sowie die gute Netzanbindung.
- umliegende Kraftwerke der KMW sichern die Notstromversorgung



Deutschland



Ingelheimer Aue in Mainz



Großwärmepumpen



54 MW



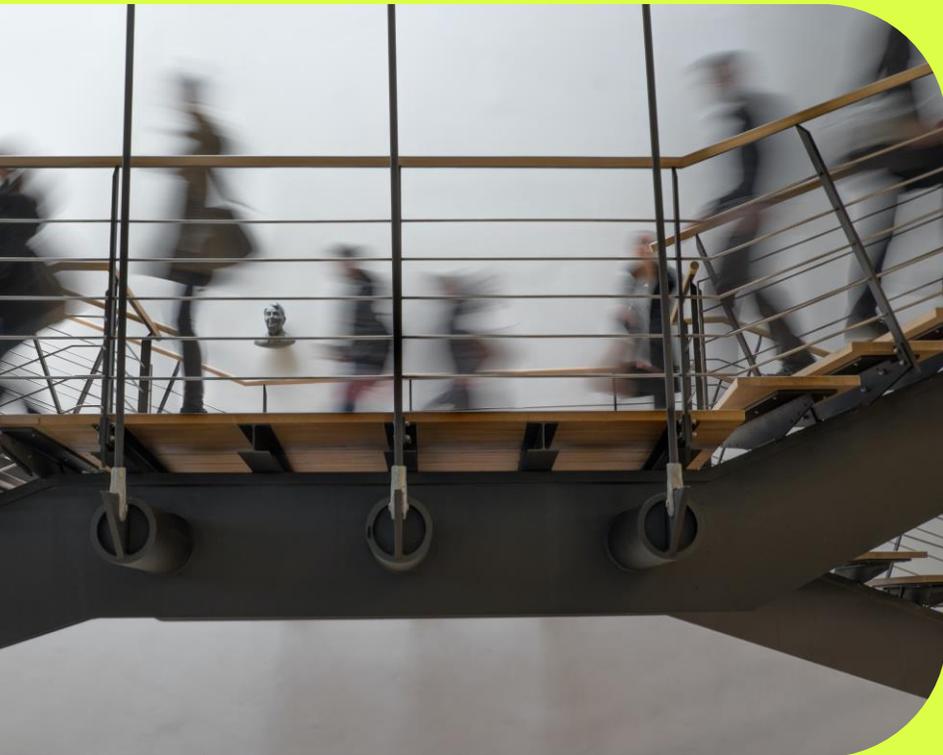
Fernwärmenetz



Kraftwerke Mainz-Wiesbaden
AG (KMW), Green Mountain

Bildquelle: [141]; Quellen: [142, 143]

ZIH TU Dresden



 Deutschland

 2024

 Drei Wärmepumpen

 Fernwärmenetz

 Dresden

 Gebäudebeheizung

 Staatsbetrieb Sächsisches
Immobilien- und
Baumanagement (SIB),
SachsenEnergie, TU
Dresden



Technik

- Aufbereitung der überschüssigen Abwärme (24.000 MWh) aus dem Hochleistungsrechner des ZIH mit drei Wärmepumpen.
- Nutzung der Abwärme im Fernwärmenetz der SachsenEnergie
- Theoretisch können durchschnittlich 3.100 Haushalte beheizt werden.
- Vermeidung von 2.700 Tonnen CO₂.
- Bau von Technikbauwerk mit Wärmepumpen westlich des Rechenzentrums des Lehmann-Zentrums.
- Nutzung der Abwärme für Einspeisung ins Netz, im Winter wird Wärme bereits für Beheizung umliegender Hochschulgebäude genutzt und soll noch verstärkt werden.



Betriebswirtschaft

- Gesamtkosten von rund 1,6 Millionen €.
- Baumaßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushalts.
- Investition von SachsenEnergie von rund 3,2 Millionen € in Anlage, mit finanzieller Förderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative.



Sonstiges

- Künftiger Nutzer SachsenEnergie wird Technikbauwerk technisch ausrüsten.

 Bildquelle: [144]; Quellen: [145, 146]

Rechenzentrum in der Wallotstraße 1 bis 5, Dresden



Technik

- Flüssigkeitsgekühltes (Warmwasserkühlung) Rechenzentrum mit Abwärmeauskopplung
- Großteil der Serverabwärme wird direkt für den Heißwasserkreislauf genutzt
- Kupferrohre laufen durch die Serverschränke, durch die Wasser fließt und sich erwärmt. Das Wasser wird zwischen 50 und 60 °C warm und gelangt dann in einen Pufferspeicher. Die Wärme wird entweder für die Warmwasseraufbereitung oder das Heizen genutzt.
- PUE-Wert von 1,05 und teilweise wird ein partieller PUE-Wert von 1,01.
- Die „Energy Reuse Effectiveness“ (ERE) liegt bei 0,62 während des Einsatzes von Wärmepumpen.
- Einsparung von Treibhausgasemissionen durch eine Reduzierung des Energieverbrauchs und Nutzung der Abwärme zur Beheizung von Wohn- und Gewerbekomplexe. In den Wohnungen sind Fußbodenheizungen verlegt.
- 20 Serverschränke stehen im Keller (Tiefgarage) und beheizen ein Haus mit 56 Wohnungen. Der L-förmige Neubau in der Wallotstraße 1 bis 5 erstreckt sich über fünf Etagen und verfügt über kleinere Zwei- bis Dreiraumwohnungen für Senioren und größere Vier- bis Fünfraumwohnungen für Familien. Die Serverschränke sind feuerfest und diebstahlgeschützt und befinden sich in einem separaten Raum in der Tiefgarage.



Betriebswirtschaft

- Die Rechen- und Datenspeicherleistung wird an Unternehmen verkauft.
- Die Abwärme verbleibt im Wohnhaus. Cloud&Heat verkauft die entstehende Wärme an die DREWAG, die als Vertragspartner und Wärmelieferant der WG Aufbau Dresden die Wärme an die Mieter des Gebäudes weiterverkauft. Sollte die Rechnerabwärme einmal nicht ausreichen, ist die Versorgung in Spitzenlastzeiten über die Fernwärme der Stadtwerke sichergestellt.
- Die Investition beginnt ab 60.000 € für die Kunden, um auf dieses System umzustellen.

Deutschland

Dresden

50-60 °C

Im Gebäude

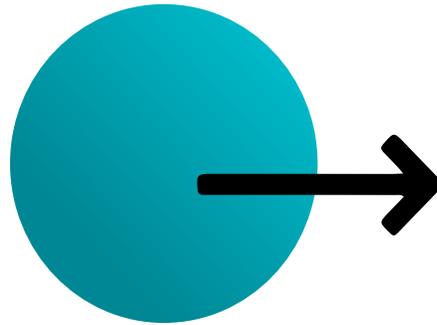
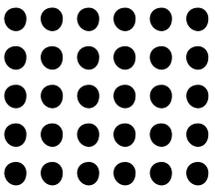
Heißwasserkreislauf

Gebäudebeheizung

Warmwasserkühlung, Wärmepumpe, Pufferspeicher, Fernwärme

Cloud&Heat Technologies GmbH, Wohnungsgenossenschaft Aufbau Dresden eG, Stadtwerke Dresden

Bildquelle: [147]; Quellen: [148–151]



ÖSTERREICH



Abwärmennutzung im Wiener Krankenhaus



Technik

- Der Interxion Campus besteht aus etwa 120.000 Servern auf einer Fläche von 22.000 m² und produziert kontinuierlich Abwärme. Die IT-Anschlussleistung beträgt bis zu 40 MW.
- Ab 2023 soll das Krankenhaus Floridsdorf durch das vom Interxion-Rechenzentrum erwärmte Wasser unter Zuhilfenahme von Wärmepumpen beheizt werden. Zwei Wärmetauscher in der Technikzentrale verbinden die Kältekreise von Interxion mit dem System der Abwärmennutzung der Wien Energie. Dabei wird eine CO₂-Einsparung in Höhe von 4.000 Tonnen/Jahr erwartet.
- Das nur wenige hunderte Meter entfernte Krankenhaus hat bereits ein Wärmekreislaufsystem mit einer Röhrenlänge von 90.000 m. Pro Jahr werden 73.000 m³ heißes Wasser genutzt. Die Anzahl der Heiztage liegt im Durchschnitt bei 150 Tage pro Jahr.
- Im Rahmen der Kooperation soll das Krankenhaus mit der Abwärme zwischen 50 und 70 % seines Wärmebedarfes decken können.
- Die Server werden mit Luft gekühlt, wodurch das Kühlwasser die Serverräume mit einer Temperatur von etwa 26 °C verlässt. Für das Krankenhaus wird anschließend mittels Wärmepumpen das Temperaturniveau auf bis zu 82 °C angehoben. Die Temperatur des Rücklaufs der Wärmepumpe liegt durchschnittlich bei 16 °C.
- Das Energieversorgungsunternehmen Wien Energie installiert dafür drei Wärmepumpen (COP ≈ 4) mit einer Leistung von jeweils 1 MW in das Energiezentrum des Krankenhauses. Dort wird Wärme aus dem Kühlkreislauf des Rechenzentrums entnommen und unter Zuhilfenahme der Wärmepumpen dem Heizkreislauf des Krankenhauses zugeführt. Die Wärme wird im Krankenhaus genutzt, während das gekühlte Wasser wieder dem Rechenzentrum zugeführt wird.
- Der elektrische Energiebedarf der Wärmepumpe wird unter anderem durch ein Windrad vor Ort gedeckt.

-  Österreich
-  2023
-  26 °C
-  Wärmepumpen, Wärmetauscher
-  wenige hundert Meter
-  Wien
-  40 MW
-  82 °C
-  Gebäudebeheizung
-  Wärmenetz
-  Interxion, Krankenhaus Floridsdorf, Wien Energie, österreichische Regierung

 Bildquelle: [152]; Quellen: [153–157]

Betriebswirtschaft

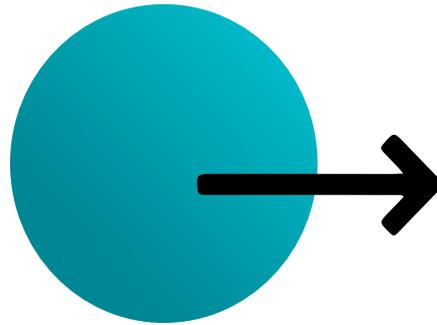
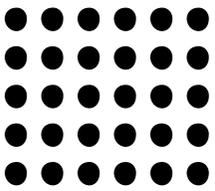
- Die österreichische Regierung zahlt 3,5 Mio. Euro aus dem Umweltfonds für eine Wärmeleitung zwischen dem Rechenzentrum von Interxion in der Louis-Häfliger-Gasse und dem Krankenhaus Floridsdorf, welche sich nebenan in der Brünner Straße befindet.

Kommunikation

- Die österreichische Umweltministerin Leonore Gewessler betonte, dass das Projekt Teil der Bestrebungen des Landes sei, den Energiebedarf durch lokale Produktion zu decken. Sie wies darauf hin, dass ein guter Weg dazu die Nutzung von Energie ist, die bereits im Land produziert wird, aber anschließend verschwendet wird.

Sonstiges

- Vorhaben wurde als Projekt des Monats der Umweltförderung im Inland erkoren



SCHWEIZ



ECO-Qube



-  Schweiz
-  Dübendorf
-  Wärmepumpen
-  Gebäudebeheizung
-  Mittel- und Niedertemperaturnetz
-  NEST, Lande, SDIA

 Bildquelle: [158]; Quellen: [159, 160]



Technik

- Das «ECO-Qube»-Rechenzentrum im NEST ist gleichzeitig Teil der IT-Infrastruktur und Teil der Gebäudetechnik.
- Im besten Fall dient dieses lokale Rechenzentrum aber nicht nur der Datenverarbeitung, sondern wird – angeschlossen an die Energieversorgung – auch gleich zum Heizen der Gebäude verwendet. Ein Feldtest mit Mikro-Rechenzentren im Forschungsgebäude NEST an der Empa und an zwei weiteren Standorten in der Türkei und den Niederlanden will das Potenzial dieser Idee ergründen.
- Die Kühlung der „ECO-Qube“-Rechenzentren sind intelligent: Die Sensordaten der einzelnen IT-Komponenten werden in Big-Data-Strukturen akkumuliert und tragen dazu bei, dass die Wärmeverteilung innerhalb der Anlage jederzeit genauestens erfasst wird. Künstliche Intelligenz kombiniert diese Daten mit Luftstromsimulationen, so dass die Kühlung sehr gezielt eingesetzt werden kann. Gleichzeitig werden die Rechenlasten in den drei Test-Rechenzentren in der Schweiz, der Türkei und den Niederlanden so verteilt, dass alle drei Anlagen so energieeffizient wie möglich betrieben werden können.
- Die drei Rechenzentren werden direkt in die Energiesysteme der umliegenden Quartiere integriert und sollen möglichst mit erneuerbarer Energie gespeist werden.
- Für das Rechenzentrum im NEST kommt der Strom für den Betrieb unter anderem von den Photovoltaikanlagen der NEST-Units und des Mobilitätsdemonstrators move.
- Die Abwärme des Rechenzentrums wird an das bestehende Mittel- oder Niedertemperaturnetz abgegeben. Im Winter speist sie so direkt die Gebäudeheizung und dient über das Jahr gleichzeitig als Quelle für eine Wärmepumpe, die das Brauchwarmwasser bereitstellt.



Betriebswirtschaft

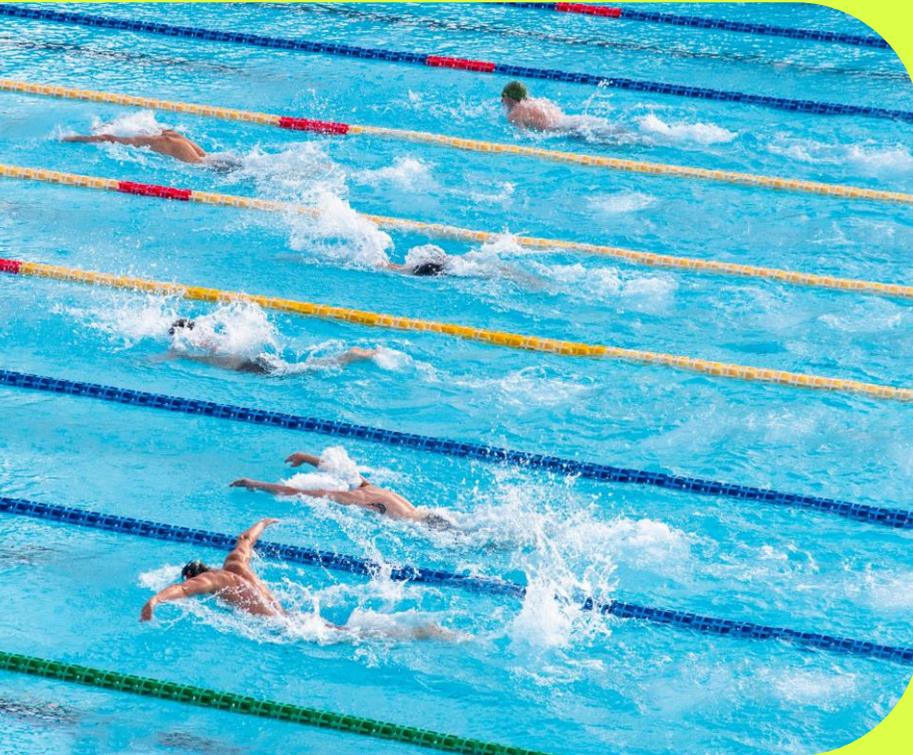
- Serveranlage ist Teil des EU-Forschungsprojekts „ECO-Qube“, welches die die Integration von Rechenzentren in Gebäudesysteme und deren energieeffizienten Betrieb untersucht.



Kommunikation

- Das Projekt mit dem Namen «ECO-Qube» wird durch das EU-Förderprogramm «Horizon 2020» unterstützt und bringt Forschungs- und Industriepartner aus der Schweiz, der Türkei, Spanien, Deutschland, den Niederlanden und Schweden zusammen.
- Das Projekt dauert rund drei Jahre. Nach dem Abschluss will das Team Richtlinien für Planer und Gebäudebetreiber bereitstellen können, um sie bei einer energieeffizienten Integration von Rechenzentren in Gebäude und Quartiere zu unterstützen.

Rechenzentrum von GIB-Services (IBM) nahe Zürich zur Beheizung eines Hallenbads



Technik

- Unterirdisches Rechenzentrum, welches bei voller Auslastung 300-500 Kundenserver auf 200 m² Platz bietet.
- Laut IBM erzeugt es bis zu 2800 MWh Abwärme jährlich, bei 8760 Stunden pro Jahr entspricht das knapp 320 kW Dauerleistung.
- Einsatz von Wärmetauschern, um die Abwärme einem Schwimmbad zur Verfügung stellen.
- Überschüssige Wärme wird in einem Speicherbereich gesammelt, damit wird Wasser erhitzt und zu Wärmetauscher im Schwimmbad geleitet.
- Erhitztes Wasser erwärmt das Poolwasser.
- Bis zu 130 Tonnen CO₂ pro Jahr sollen sich hier einsparen lassen.



Betriebswirtschaft

- Kostenlose Bereitstellung der Abwärme.
- Gemeinde übernahm ein Teil der Anschlusskosten.



Sonstiges

- Ehemaligen Militärbunker genutzt.
- Seit Mai 2008 für Colocationkunden geöffnet.



Schweiz



Uetikon



Wärmetauscher



320 kW



Prozesswärme -
Hallenbad



IBM, GIB-Services

Bildquelle: [161]; Quellen: [78, 162, 163]

Rechenzentrum Ostschweiz (RZO)



-  Schweiz
-  20 °C
-  benachbart
-  Wärmetauscher, Hochtemperaturwärmepumpen
-  Nahwärmenetz
-  Gais
-  100 °C
-  1,5 MW
-  Prozesswärme für Pasteurisierung, Gebäudebeheizung
-  St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke AG (SAK), St. Galler Stadtwerke, Bergkäserei Gais

 Bildquelle: [164]; Quellen: [165–168]



Technik

- RZ mit 1,5 MW IT-Anschlussleistung und einem PUE von 1,15.
- Fassade und Dachflächen flächendeckend mit Photovoltaik-Anlage ausgestattet, erzeugt jährlich 230.000 kWh Strom für RZ.
- Adiabatische Kühlung (ServeCool Geräte von Hoval) benötigt keine mechanischen Kältegeräte und arbeitet durch freie Kühlung klimaschonend.
- Lage 920 m über Meer spart Kühlleistung durch kältere Umgebung.
- Sammeln von Regenwasser für adiabate Kühlung in Gais.
- Kreuzstrom-Plattenwärmetauscher mit Seitenlänge von 1,20 Meter, Größe erlaubt eine überdurchschnittlich hohe Rückwärmzahl. Die Wärmeübertragerfläche beläuft sich pro ServeCool auf 1.200 Quadratmeter.
- Abwärmenutzung im Nahwärmeverbund durch Verbindung mittels Wasserkreislaufs.
- Wasser wird durch Abwärme auf 20 °C erhitzt, Käserei entzieht Energie, Wasser kühlt auf 14 °C herunter und fließt wieder zurück. Die benachbarte Berg-Käserei Gais bezieht jährlich rund 1,5 GWh anfallende Abwärme (ausgekoppelte Abwärmeleistung bis zu ca. 800 kW). Mit Abwärme werden jährlich rund 18 Millionen Liter Milch erhitzt.
- Hochtemperaturwärmepumpen müssen Temperatur für Käserei noch anheben (auf bis zu 100 °C). Abwärme wird zusätzlich auch für Heizen des Gebäudes verwendet.



Betriebswirtschaft

- Hochverfügbarer, energieeffizienter Kommunikationshub, gleichzeitig auch Solar- und Wärmekraftwerk.



Kommunikation

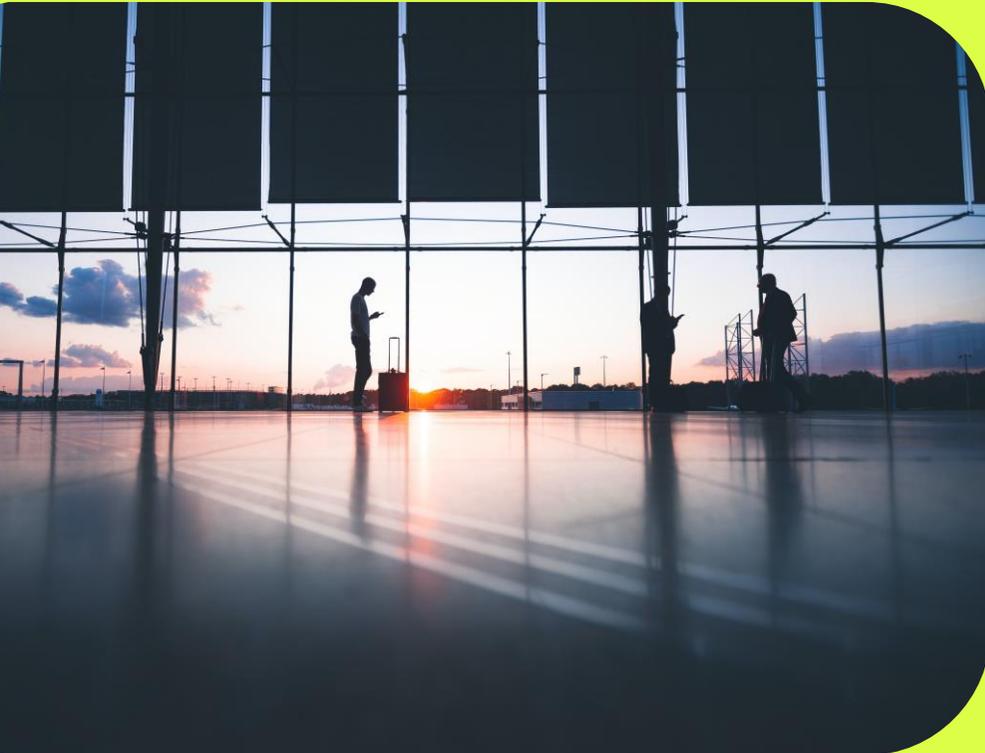
- Kontaktaufnahme vor Bau mit Nachbarn im vorgelagerten Industriegebiet der Gemeinde und kantonalen Ämtern für enge Zusammenarbeit.
- Projekt stieß auf große Zustimmung.
- In den nächsten sechs Jahren sollen 270 Racks vermietet werden, Auslastung von ca. 90 % (Stand März 2019).



Sonstiges

- RZ wurde auf TIER IV Level zertifiziert.
- im Moment befindet sich die Käserei noch im Bau und das Rechenzentrum ist zu wenig ausgelastet, um genügend Abwärme an den neuen Nachbarn liefern zu können (Stand März 2019).

Energieverbund Airport City



Schweiz



7,7 km



Großwärmepumpe



Energieverbund
(Rohrleitungsnetze)



Zürich



Gebäudebeheizung,
Kühlung, Warmwasser-
aufbereitung



InterXion, EBL
(Genossenschaft
Elektra Baselland),
Energie Opfikon AG



Technik

- Wärme und Kälte wird klimafreundlich im Energieverbund erzeugt.
- Primäre Energiequelle Abwärme aus RZ, welche über Großwärmepumpen aufbereitet und nutzbar gemacht wird.
- Zuleitung zu Kunden über Rohrleitungsnetze zum Heizen, Warmwasseraufbereitung oder Kühlung.



Betriebswirtschaft

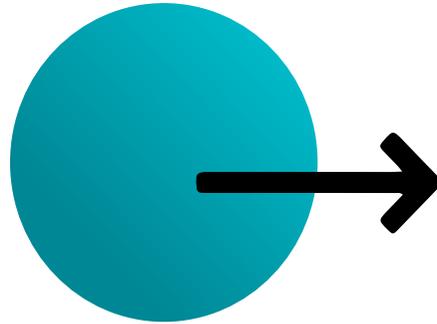
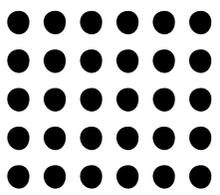
- Bau eines Energieverbundes mit dem Ziel, minimale Emissionen beim Heizen und Kühlen zu generieren und ungenutzte Abwärme des RZ im Energieverbund zu nutzen.
- Hohe Energiedichte und -bedarf im Gebiet zwischen Bahnhof Glattbrugg und Balsberg für Wärme und Kälte.
- Energieverbund für Fernwärme und Fernkälte lohnt sich.
- Abwärme wird im Sommer von der Energiezentrale zur Wärmeerzeugung genutzt.
- Kunden benötigen Wärme im Sommer unter anderem auch für betriebliche Prozesse.



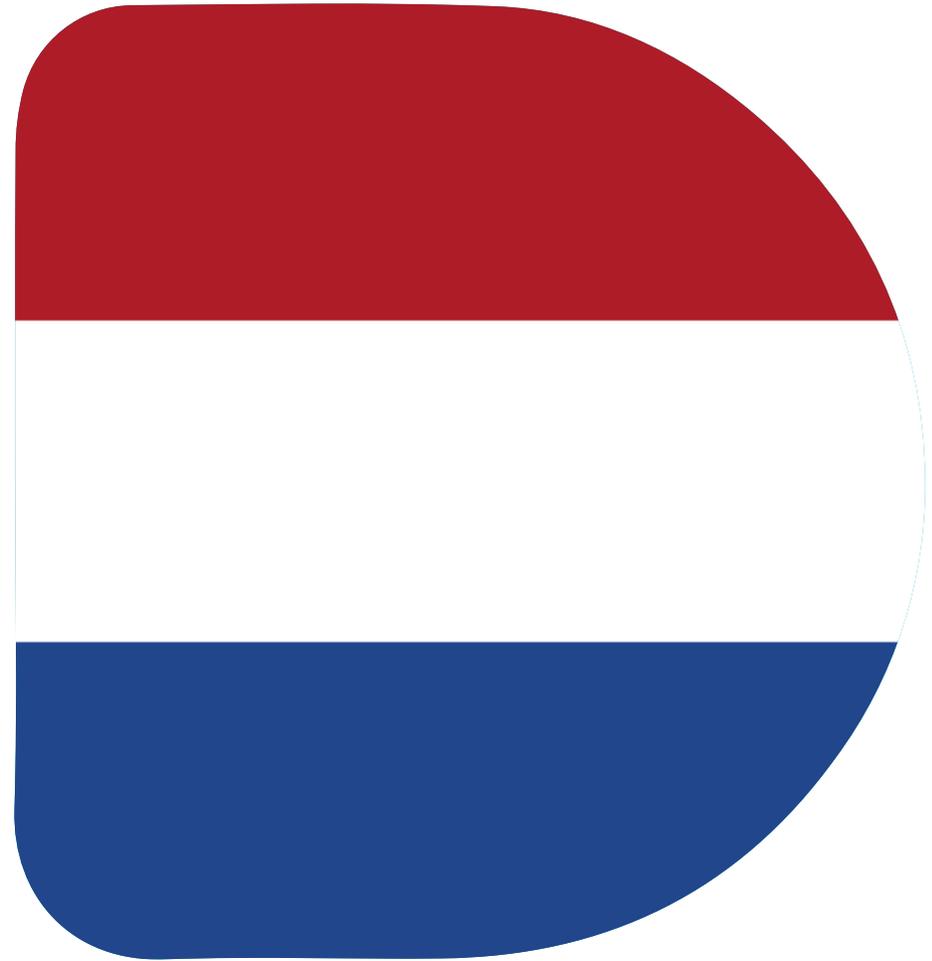
Sonstiges

- Keine Lärm-/ Geruchsemissionsbelästigung

Bildquelle: [169]; Quellen: [170]



NIEDERLANDE



QTS-Rechenzentrum



Technik

- Nutzung von 100 % der Abwärme.
- Wärmepumpen, betrieben mit erneuerbaren Energien, liefern Warmwasser über bestehendes unterirdisches Heizungsnetz, das in Zernike, Paddepoel und Selwerd installiert wurde.
- Wärmezeugung für mehr als 10.000 Haushalte, Gebäude und Wissenseinrichtungen bis 2026.



Betriebswirtschaft

- Heizen mit Wasser kann Erdgas ersetzen und reduziert CO₂-Emissionen.



Kommunikation

- QTS erstes Unternehmen, das Abwärme für groß angelegtes nachhaltiges Fernwärmeprojekt in Groningen liefert.
- Bau von innovativem Heizwerk abgeschlossen.
- Umweltziel der Stadt Groningen: bis 2035 vollständig CO₂-neutral.
- „QTS hat sich schnell als ein wichtiges Mitglied der Groninger Geschäftswelt etabliert und leistet einen wichtigen Beitrag zum nachhaltigen Fernwärmeprojekt“, sagte Dick Takkebos, Direktor von WarmteStad.



Niederlande



Bezirk Groningen



2026



Gebäudebeheizung



Wärmepumpen



QTS Data Centers,
WarmteStad



Wärmenetz

Bildquelle: [171]; Quellen: [60, 172]

Equinix AM3



-  Niederlande
-  30 °C
-  ATES, Wärmepumpen
-  naheliegend
-  Unterirdischer Fluss
-  Amsterdam
-  20 °C
-  14 MW
-  Gebäudebeheizung
-  Equinix, Universität van Amsterdam

 Bildquelle: [173]; Quellen: [174, 175]

Technik

- Rechenzentrum mit 14 MW, welches ganzjährig zu 80 % ausgelastet ist. Der PUE liegt bei 1,19.
- Luftkühlung: Eintrittstemperatur von 24 °C und Serveraustrittstemperatur von 34 °C. Im Kühlkreislauf wird zur Kühlung Wasser mit einer Temperatur von um die 18 °C bereitgestellt. Das Kühlwasser erwärmt sich auf ca. 30 C und steht für die Abwärmenutzung zur Verfügung. Es sind 4 unabhängige ATES (Aquifer Thermal Energy Storage) Systeme mit einer Kühlleistung von je 2,5 MW installiert.
- Kühlsystem: < 16 °C Außentemperatur: Freie Kühlung; > 16 °C: Wasserbestäubung des Hybridkühlers; > 22 °C: ATES-System wird genutzt. Im Sommer ist im Regelfall nur das ATES-System im Betrieb und im Winter erfolgt standardmäßig eine freie Kühlung. Für den Notfall sind mechanische Kühlmaschinen vorhanden. Insgesamt liegen die Betriebsstunden des ATES bei ca. 2.000 h pro Jahr.
- In einer Tiefe von etwa 180 m ist ein unterirdischer Fluss, welcher in die Nordsee mündet. Das Wasser hat eine Temperatur von 10 °C und wird im Sommer zu Kühlzwecken mittels des ATES-Systems genutzt. Infolge der Abwärmeabführung steigt die Temperatur im heißen Brunnen auf 20 °C. Zwischen den kalten und heißen Brunnen liegt eine Distanz von etwa 200 m. Der Wasserverbrauch des ATES-System beträgt während des Betriebes ca. 1.000 m³/h.
- In der Nähe des Rechenzentrums befindet sich ein Universitätscampus der Universität van Amsterdam. Diese nutzt für die Beheizung der Gebäude Wärmepumpen, welche im Winter als Wärmequelle das durch das Rechenzentrum auf 20 °C aufgeheizte Wasser des unterirdischen Flusses nutzen. Durch die sehr geringe Fließgeschwindigkeit des Wassers kann dieser als saisonaler Wärmespeicher genutzt werden.

Recht

- Es gibt eine Vereinbarung zwischen dem Rechenzentrenbetreiber und der Universität zur Nutzung der Abwärme. Es gibt aber keine Verpflichtungen auf beiden Seiten. Sollte der ATES ausfallen, würde die Temperatur der Wärmequelle der Universität im Winter anstelle von 20 nur noch 10 °C betragen. Dieser Fall sollte aber nicht auftreten, da etwaige Probleme beim ATES innerhalb weniger Stunden behoben werden können.

Betriebswirtschaft

- Die Abwärme wird kostenfrei zur Verfügung gestellt.
- Dieses System wird in derselben Stadt an den Standorten AM4, AM5 und AM6 eingesetzt. Daneben soll das neue Rechenzentrum MU4 in München ebenfalls über ein ATES-System verfügen.

Kommunikation

- Das Unternehmen, welche die Installation der elektrischen Komponenten des Rechenzentrums bei der Errichtung durchführte, ist parallel auch für die Wartung der elektrischen Anlagen der Universität verantwortlich. Durch deren Vorschlag wurde die Abwärmenutzung der Rechenzentrumsabwärme in der Universität angestoßen.

Interxion-Rechenzentrum AMS5



Technik

- Da sich AMS5 in unmittelbarer Nähe von RichPort und Starpark befindet und diese Gewerbegebiete bestrebt sind, nachhaltiger zu werden, ist es für Interxion und Polderwarmte möglich die Wärme effizient für sie zu erschließen.
- Versorgung von Gewerbegebieten in Schiphol-Rijk im Raum Amsterdam mit Restwärme.



Betriebswirtschaft

- Schätzungsweise 45.000 GJ Abwärme für die Unternehmen.
- Einsparung von ca. 1,5 Millionen m³ Gas bei Projektanlauf, kann fünf Jahre nach dem Start auf 75.000 GJ Abwärme und 2,5 Mio. m³ Gaseinsparung ansteigen.
- Interxion verwendet 100 % Ökostrom, daher zu Beginn des Projekts eine Einsparung von 2.500 Tonnen CO₂ pro Jahr, innerhalb von 5 Jahren Erhöhung auf 4.200 Tonnen CO₂ pro Jahr



Kommunikation

- Neben dem Interxion AMS5 will Polderwarmte auch andere Rechenzentren an das Wärmenetz anschließen und so verschiedene Gebäude in Schiphol-Rijk mit Wärme versorgen.



Sonstiges

- Interxion ist damit das erste Rechenzentrumsunternehmen in den Niederlanden, dass in großem Umfang Abwärme an Gewerbegebiete in der Umgebung seines AMS5-Rechenzentrums liefern wird.

 Niederlande

 Schiphol-Rijk

 naheliegend

 Wärmeversorgung von Gewerbegebieten

 Wärmenetz

 Interxion, Unternehmen von Digital Realty, Wärmeversorger Polderwarmte

 Bildquelle: [176]; Quellen: [177, 178]

Aalsmeer Energy Hub



 Niederlande	 Aalsmeer
 2024	 800 kW
 25 °C	 22 °C
 Wärmetauscher, kalte Nahwärme	 Gebäudebeheizung, Prozesswärme
 Wasserkreislauf	 NorthC
 1400 m	

 Bildquelle: [179]; Quellen: [180]



Technik

- 4-MW-Rechenzentrum.
- Das Rechenzentrum wird mit Außenluft gekühlt, solange die Temperatur unter 18°C liegt, ansonsten wird Kaltwasser verwendet. Die Luft wird auf etwa 25°C erwärmt und abgegeben.
- Abwärme wird ausgekoppelt und wiederverwendet und etwa 20 Prozent davon gehen an die Schule IKC Triade, die Pflanzengärtnerei Fertiplant, ein Schwimmbad und eine Sporthalle namens Die Waterlelie.
- Weitere Abwärme könnte anderswo genutzt werden, aber die Entfernung zu anderen potenziellen Kunden würde dies erschweren, so Reinders.
- Das Wasser wird durch ein 1.400 m langes Rohr geleitet (bis zu 25 m unter der Erde) und erreicht die Kunden mit einer Temperatur von 22 °C. Offenbar entschied man sich bei dem Projekt für die Tiefenbohrung und das horizontale Richtungsbohren (HDD), weil man Gefahr lief, auf andere Rohre und möglicherweise Munition aus dem Zweiten Weltkrieg zu treffen. Es werden zwei nicht-gedämmte Rohre (HDPE) mit einem Durchmesser von 160 mm genutzt.
- Nachdem das Wasser seine Wärme an die Kunden abgegeben hat, kehrt es mit einer Temperatur von 12 °C in das Rechenzentrum zurück, wo es erneut zur Kühlung verwendet wird. Das Rohr muss nicht isoliert werden, was die Kosten in die Höhe getrieben hätte, da das Wasser mit einer hohen Geschwindigkeit von 1,5 m/s fließt, so Jeroen Roos vom Energieübertragungsunternehmen Infinitus gegenüber Reinders.



Recht

- In der Nähe befindet sich ein Wohngebiet, das möglicherweise die Abwärme des Rechenzentrums nutzen könnte, was aber noch nicht geschehen ist. Offenbar müsste NorthC nach dem niederländischen Wärmegesetz die Lieferverpflichtungen für die Versorgung der privaten Verbraucher erfüllen.



Betriebswirtschaft

- Aalsmeer Energy Hub transportiert Warmwasser vom NorthC-Rechenzentrum zu Kunden wie einem Schwimmbad, einer Schule und einer Gärtnerei, die dann Wärmepumpen einsetzen, um das Wasser effizient auf höhere Temperaturen zu bringen.
- Fertiplant verwendet das ganze Jahr über warmes Wasser, um seine Büros und Pflanzbereiche zu beheizen und um die Wurzeln der Pflanzen zu reinigen. Das Unternehmen hielt zunächst an seinem Gaskessel als Reserve fest, hat ihn aber inzwischen aufgegeben.

Switch Datacenters



 Niederlande

 40-60 °C

 Direkte
Warmwasserkühlung

 Woerden

 Gebäudebeheizung

 Switch Datacenters



Technik

- Geplanten Aufrüstung des Switch-Rechenzentrums in Woerden ermöglicht Abwärme mit Temperaturen von 40 bis 60 Grad Celsius
- Statt die Server mit herkömmlichen Raumkühlern wie CRAH-Einheiten zu kühlen, erfolgt die Kühlung so nah wie möglich am Server, um die höchstmögliche Abwärmtemperatur von den Servern zu erhalten.
- DLC bietet eine viel höhere Kühlkapazität, die in den meisten Fällen eine höhere Leistungsdichte auf einer viel kleineren Grundfläche ermöglicht. Dies ist vorteilhaft für Rechenzentren in Stadtgebieten.



Betriebswirtschaft

- Das Kühlwasser wird von den Servern auf Temperaturen zwischen 40 und 60 Grad Celsius erhitzt und kann sofort zum Heizen von Büros oder Wohnungen verwendet werden. Kunden, die sich für DLC-Kühlung entscheiden, erhalten einen finanziellen Anreiz in Höhe von 20 bis 30 Prozent ihrer Stromkosten.
- Je mehr nutzbare Wärme produziert wird, desto höher ist der finanzielle Ausgleich.



Kommunikation

- Erstes Rechenzentrum in Europa, das seine Rechenzentrumskunden für die Rückführung von Abwärme finanziell entschädigt, indem es bestehende Direct Liquid Cooling (DLC)-Technologien zur Kühlung von Servern nutzt.
- Switch Datacenters geht davon aus, dass große Cloud-Anbieter durch den finanziellen Anreiz motiviert werden können, auf DLC- oder andere Hochtemperaturkühlung umzusteigen. Das Unternehmen möchte auch ein Beispiel für andere Rechenzentren sein, die dieselbe Strategie anwenden, was auch für die Rechenzentrumsbranche insgesamt sehr vorteilhaft sein könnte.

 Bildquelle: [181]; Quellen: [182]

Rechenzentrum Bytesnet



Technik

- Die Energie aus der Abwärme, die von den Servern und IT-Geräten abgegeben wird, soll für die Beheizung von mehr als 10.000 Haushalten und Unternehmen ausreichen.
- Laut Boston besteht die IT-Infrastruktur aus Supermicro-Serverknoten in Kombination mit großen DDN-Speichersystemen, die über Mellanox-Netzwerke miteinander verbunden sind. Die Softwareschicht nutzt vScaler, eine HPC-Plattform auf der Basis von OpenStack, die Überwachung, Management, Job-Scheduling und Message-Passing ermöglicht und Prozesse automatisieren kann, um den Verwaltungsaufwand zu reduzieren und die Kosten für Bytesnet zu senken.
- Kühlungs-Technologie von Asperitas, insbesondere die AIC24-Lösung für 21-Zoll-Server.
- Mainboards der Server vollständig in eine dielektrische Flüssigkeit getaucht, leitet durch Konvektion die Wärme ab und hält das System kühl.



Betriebswirtschaft

- Zusammenarbeit von niederländischem Rechenzentrumsunternehmen Bytesnet mit Computerhersteller Boston Ltd.
- "Dieser von Boston entwickelte Ansatz ermöglicht es uns, eine beispiellose Energieeffizienz zu erreichen und erhebliche Einsparungen bei unseren Vorlauf- und Betriebskosten zu erzielen - und das alles bei einer höheren Servicequalität, die den gestiegenen Anforderungen datengesteuerter Unternehmen gerecht wird", so Jan-Joris van Dijk, Geschäftsführer von Bytesnet.



Niederlande



Bezirk Groningen



Immersionskühlung

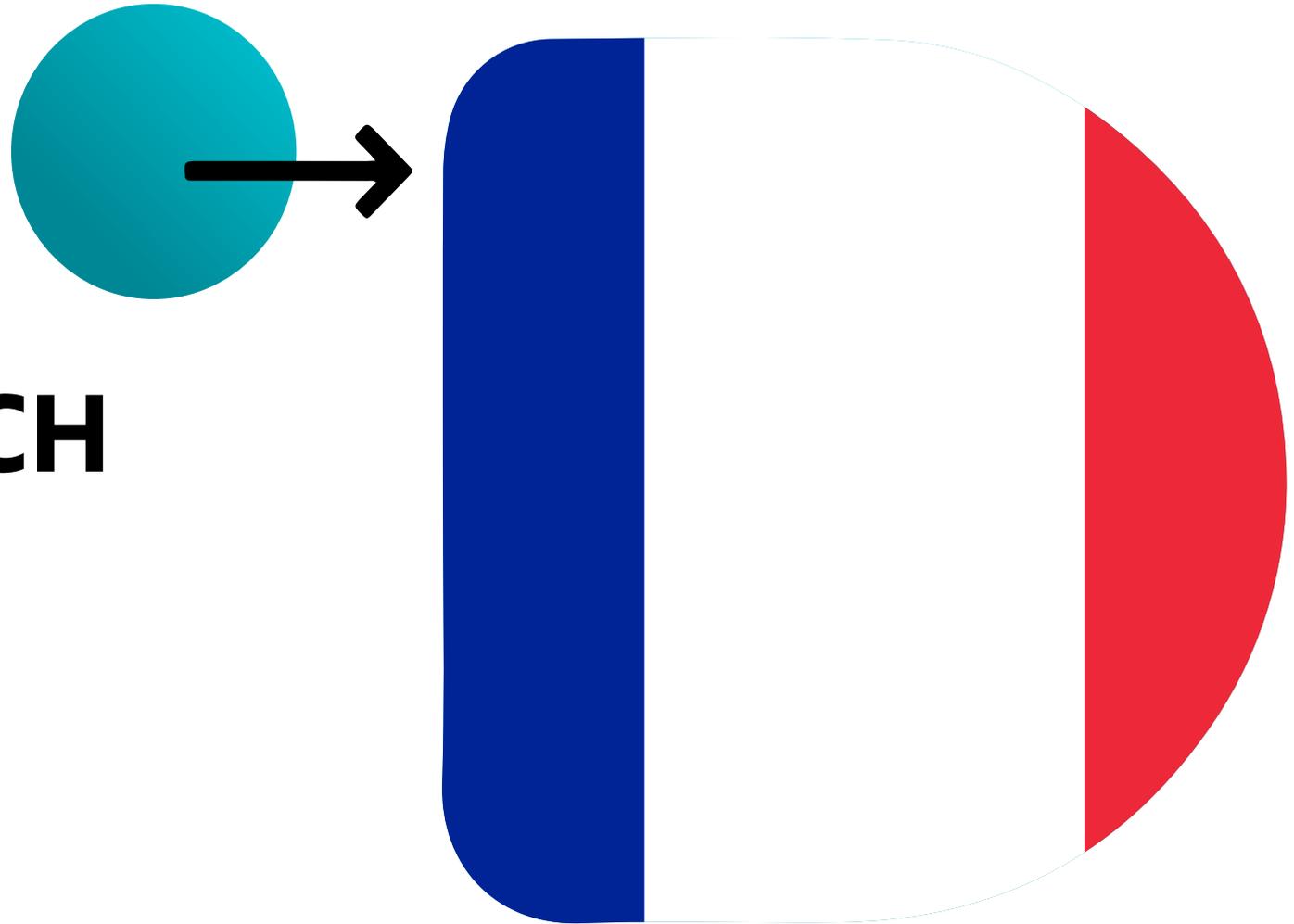
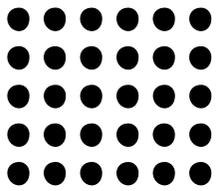


Gebäudebeheizung



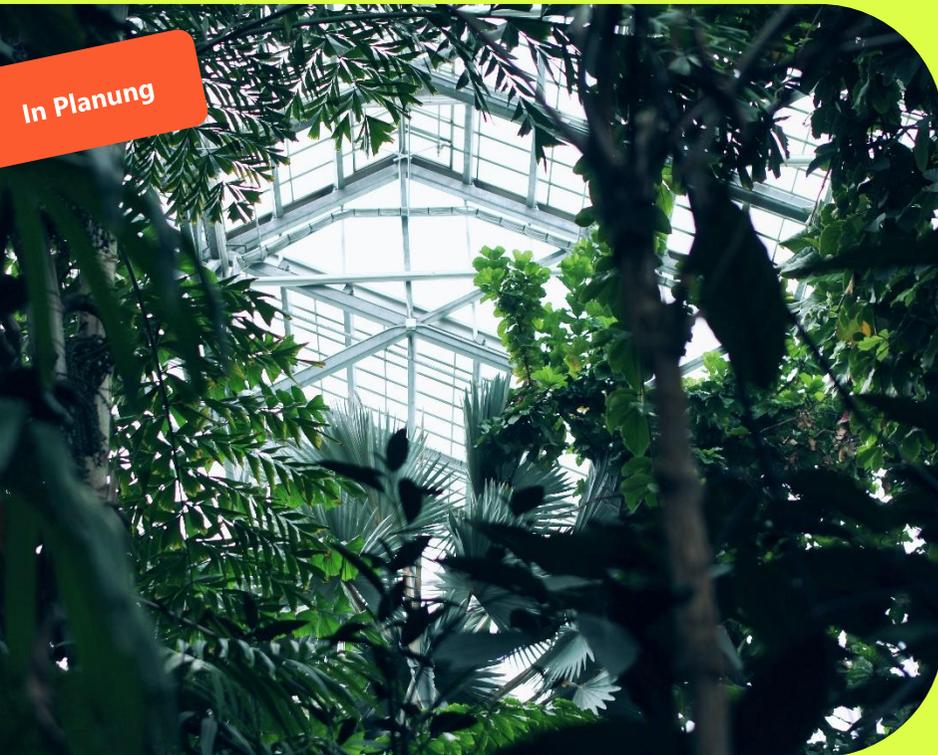
Bytesnet, Boston Ltd.,
WarmteStad

Bildquelle: [183]; Quellen: [184]



FRANKREICH

Rechenzentrum PA10 mit Dachgewächshaus und Schwimmbad



In Planung

-  Frankreich
-  ein Gebäude, naheliegend
-  Wärmetauscher
-  Paris im Saint-Denis Campus
-  Schwimmbad- und Gewächshausbeheizung
-  Equinix

Technik

- In Phase 1 sollen 3.775 m² Colocation-Fläche mit 1.525 Racks errichtet werden. Im Vollausbau steigt die Zahl auf 5.775 m² und ca. 2.250 Racks.
- Abwärmenutzung zur Beheizung eines lokalen Schwimmbades. Zusätzlich soll ein 430 m² großes Gewächshaus auf dem Dach gebaut werden, welches ebenfalls mit Abwärme beheizt werden soll.
- Zusätzlich besitzt das Gewächshaus ein hydroponisches System, welches mit aufgefangen Regenwasser gespeist wird. Damit werden der Abwärme- und Abwasseremissionen reduziert. Das neue Rechenzentrum PA10 wird in Übereinstimmung mit internationalen Umweltstandards gebaut, mit dem Ziel, eine LEED-Zertifizierung (Leadership in Energy and Environmental Design) zu erhalten. Equinix PA10 hat sich zum Ziel gesetzt, 100 Prozent erneuerbare Energie zu nutzen und verschiedene Nachhaltigkeitsmaßnahmen gemäß ISO 50001 umzusetzen.
- Temperatur wird gehalten durch Wärmetauscher, welche mit dem Kaltwasserkühlsystem des RZ verbunden sind.
- Zusätzliche Sensoren, die die Innen- und Außentemperaturen und Luftfeuchtigkeit überwachen.
- Nutzung von automatischen Sonnenschutz-, Bewässerungs- und Belüftungssysteme für ganzjährig kontrolliertes Klima.

Betriebswirtschaft

- Investitionskosten in Höhe von 163 Mio. \$

Kommunikation

- Equinix möchte bis 2030 global klimaneutral werden.

Sonstiges

- Ehemaligen Militärbunker genutzt.

 Bildquelle: [185]; Quellen: [186–188]

Rechenzentrum in Val d'Europe



-  Frankreich
-  4 km
-  Nahwärmenetz
-  Wärmetauscher, Erdgaskessel
-  Val d'Europe
-  48 - 55 °C
-  Gebäudebeheizung
-  Dalkia, ADEME



Technik

- RZ mit einer auskoppelbaren Abwärmeleistung von 7,8 MW soll bis zu 90 % des zukünftigen Wärmebedarfes der verbundenen Gebäude decken können. Dazu gehören das aktuelle Wassersportzentrum und das künftige Gewerbegebiet.
- Nahwärmenetz mit insgesamt 4 km Verteilungsleitungen zur Beheizung umliegender Gebäude.
- Errichtung von künftigen Gewerbegebiet (in Bailly-Romainvilliers) in unmittelbarer Nähe vom RZ.
- Zwei Wärmetauscher im RZ, angeschlossen an das Wärmenetz.
- Erdgaskessel zur Erhöhung der Temperaturen bei Bedarf und für Spitzenlast in Fall von hohem Wärmebedarf.
- Wärmetauscher können Fernwärmewassertemperaturen zwischen 48 und 55 °C liefern (ca. 7,8 MW).
- Wärmeverlust von 20.000 MWh und Emissionen von 4.000 Tonnen CO₂-Äquivalente können jährlich vermieden werden.



Betriebswirtschaft

- Gesamtkosten auf 3,46 Mio. € geschätzt, wovon das Projekt mit 1,0 Mio. € von ADEME (französische Agentur für Umwelt und Energiemanagement) gefördert wird.
- Die Wahrscheinlichkeit, dass das Projekt vollständig realisiert wird, wird durch diese nachhaltige Energierückgewinnung erhöht. Dadurch werden die Gesamtwärmekosten gesenkt, und die Wärmepreise werden durch eine reduzierte Mehrwertsteuer weiter begünstigt.
- Da das Rechenzentrum das ganze Jahr über in Betrieb ist, sind die Wärmepreise niedrig und dürften relativ stabil bleiben.
- Projektstart: 2013.

 Bildquelle: [189]; Quellen: [190–192]

3D-Animationsstudio



Technik

- Abwärme vom 3D-Animationsstudio TeamTo, welche beim Rendern von 3D-Bildern entsteht, liefert 20 % der benötigten Wärme für das öffentliche Schwimmbad in Paris Butte-aux-Cailles.
- Sechs intelligente „Stimergy-Kessel“ im Keller, welche effektiv Edge-RZ sind.
- In diesen können bis zu 100 Server verbaut sein, welche in eine ölbasierte Flüssigkeit eingetaucht sind.
- Die Flüssigkeitskühlung ist selbst an ein Wärmetauschersystem angeschlossen, das mit der Zentralheizung des Schwimmbads verbunden ist.
- Beheizung auf bis zu 27 °C.
- Genug Energie für gleichzeitige Beheizung von zwei der drei Bädern.
- Laut Stimergy kann ein einzelner Server genug Wärme freisetzen, um 80 Liter Wasser pro Tag zu erwärmen.
- Das System von Stimergy spart 45 Tonnen CO₂ und 250 MWh Energie pro Jahr ein.
- Schwimmbad ist seit 1945 an das öffentliche Zentralheizungssystem „CPCU“ angeschlossen.



Kommunikation

- Grünes IT-Startup Stimergy.
- Die tatsächlichen Auswirkungen des Projekts werden vom Rat im Frühjahr 2018 bewertet.



Frankreich



Paris



Wärmetauscher,
Immersionskühlung



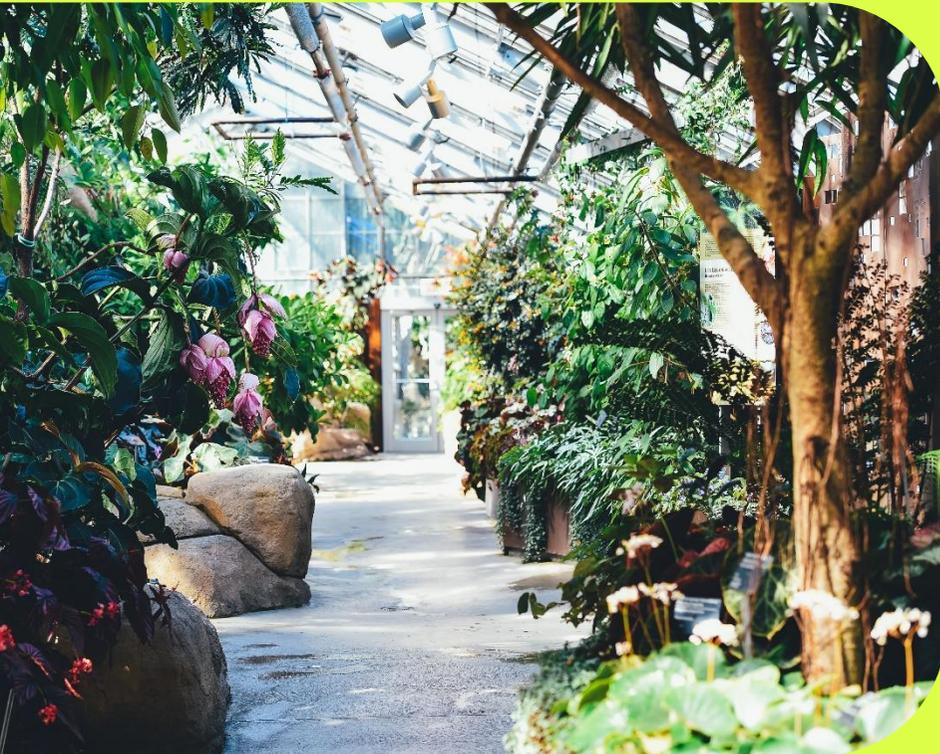
Schwimmbadbeheizung



Stimergy, TeamTo

 Bildquelle: [193]; Quellen: [194, 195]

Rechenzentrum Telecity



Technik

- Nutzung Abwärme für Beheizung von Arboretum auf Gelände.
- Abwärme von Condorcet-Rechenzentrum.



Kommunikation

- Arboretum wird genutzt, um klimatische Bedingungen nachzubilden, die in Frankreich im Jahr 2050 herrschen werden.

 Frankreich

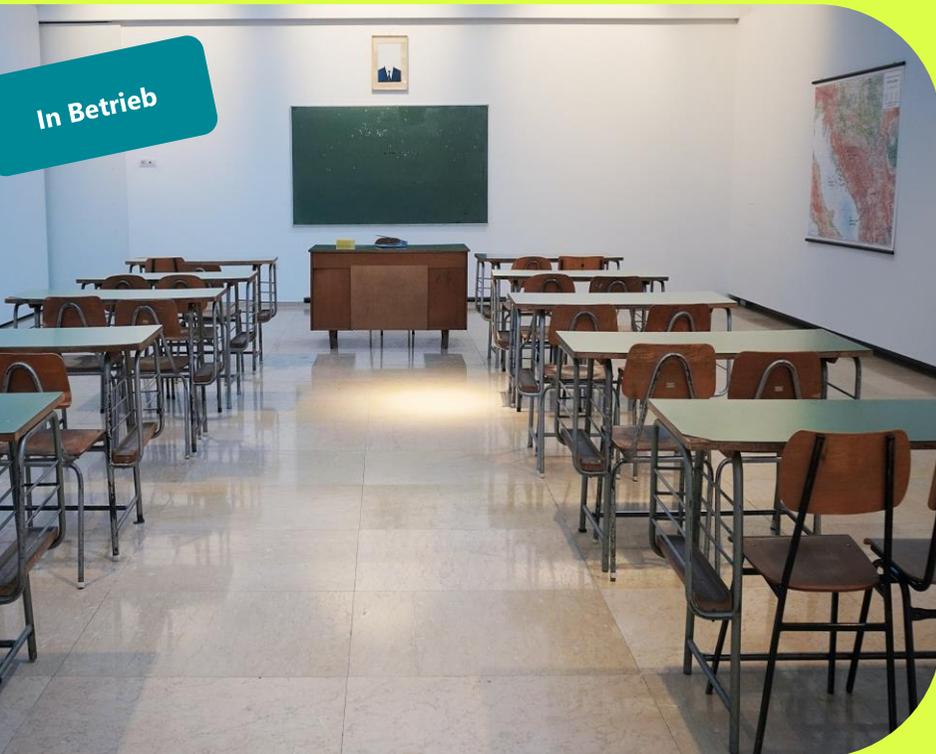
 Paris

 Beheizung von
Arboretum

 Telecity

 Bildquelle: [196]; Quellen: [197, 198]

Q.Rad heater



Technik

- Erzeugen 150 kW Wärme. Kleine Heizkörper verteilen Wärme in einzelnen Räumen.
- Q.Rads sind miteinander vernetzt, schalten sich bei Bedarf ein oder aus-
- Quarnot stellt spezielle Hochleistungsaufgaben bereit
- Nutzlasten: Q.Blender für Grafik-Rendering, XtremWeb für Hochenergiephysik
- Aufträge werden an verschlüsselten Zwischenspeicher in Gebäuden geschickt, in denen Q.Rads installiert sind, wenn Wärme benötigt wird, holen sich entsprechende Q.Rads Aufträge aus dem Cache.
- Standard-Intel-Prozessoren auf vereinfachten Hauptplatinen.
- Prozessor-Geschwindigkeit kann im Sommer gedrosselt werden, damit weniger Wärme produziert wird
- Sicherstellung von flexibler Wärme durch Überschuss an Supercomputing-Aufgaben, freie Kapazitäten werden Universitäten angeboten.
- Kostenlose Kapazitäten im Winter für Studierendenprojekte im Bereich 3D-Rendering.



Sonstiges

- Installierung von 350 Q-Rad-Heizungen, 300 in Pariser Wohnblöcken (Beheizung von 100) Haushalten, 30 in Schulgebäuden, 20 in Quarnot-Mitarbeiter Wohnungen



Frankreich



Paris



Im Gebäude

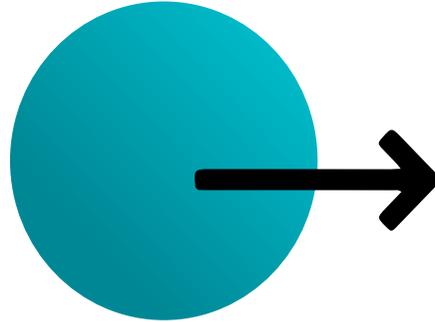
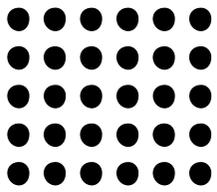


Gebäudebeheizung



Quarnot

 Bildquelle: [199]; Quellen: [200, 201]



GROßBRITANNIEN

Londoner Docklands



Technik

- 9 MW Heizleistung, 1100 Tonnen CO₂ einsparen, Beheizung von benachbarten Wohn- und Geschäftsgebäuden.
- Telehouse West verfügt über ein eingebautes Abwärmetauschsystem zur Wiederverwendung der Abwärme für die Verteilung an Dritte und zur Vorkühlung des Kühlwassers, wodurch der Strombedarf für Kältemaschinen und Trockenluftkühler gesenkt wird.

 Großbritannien

 London

 Abwärmetauschsystem

 Gebäudebeheizung

 2010

 Telehouse West, WSP

 Bildquelle: [202]; Quellen: [120, 203, 204]

Deep Green RZ



In Betrieb

 Großbritannien

 im Gebäude

 Immersionskühlung,
Wärmetauscher

 Schwimmbecken-
beheizung

 Exmouth

 30 °C

 28 kW

 Deep Green (Start-up),
Exmouth Leisure Centre

Technik

- 28 kW System mit HPC-Funktionen „digital boiler“
- Kühlung durch eigene Tauchkühlwannen von Deep Green mit Mineralöl, das Wärme einfängt und über Wärmetauscher an Wasser des Pools abgibt
- Die Wannen enthalten AMD Epyc Single-CPU-Server von Dell, die jeweils mit vier A100 80Gb PCIe GPUs und 4TB SSDs konfiguriert sind, so Craggs (CTO Deep Green). Die Server sind in einem "offenen Gehäuse installiert, um eine möglichst effiziente Wärmeübertragung zu gewährleisten."
- Pool verfügt zusätzlich über einen Gaskessel, um Wassertemperatur im Notfall zu erhöhen
- Etwas 96 % der von Computer verbrauchten Energie wird übertragen und Gasverbrauch des Schwimmbeckens um 62 % reduziert
- Insgesamt verfügt der HPC-Cluster in Exmouth über 12 Vier-CPU-Karten
- RZ hat Größe einer Waschmaschine
- Beheizung des Beckens auf etwa 30 °C

Betriebswirtschaft

- Deep Green bezahlt Exmouth Leisure Centre gesamten Strom, den RZ verbraucht, sowie alle Einrichtungskosten, und Exmouth Leisure Centre erhält Wärme kostenlos
- Deep Green bietet an, die digitalen Heizkessel kostenlos zu liefern, zu installieren und zu warten, einschließlich der Kosten für den Anschluss der Leitungen. Der Strom, den sie verbrauchen, wird im Voraus bezahlt, und zwar auf der Grundlage des derzeit vom Kunden gezahlten Stundensatzes.
- Die Energiekosten für Schwimmbäder sind seit 2019 um 150 Prozent gestiegen, so die Interessenvertretung UK Active.

Kommunikation

- Abwärmenutzung zur Beheizung eines 25 m langen Beckens und eines Kinderbeckens
- Das Unternehmen würde gerne ein Rechenzentrum unter "jeden Pool" stellen, sagte er: "Unternehmen, die grüne Ambitionen haben und ihr örtliches Schwimmbad unterstützen wollen, können sich gerne bei uns melden."
- Die Technologie könnte auch in allen Unternehmen eingesetzt werden, die Wärme benötigen, wie Bäckereien, Brennereien oder Waschsaloons, fügt Deep Green hinzu.

Sonstiges

- Start-up plant die Einrichtung von Rechenzentren an sieben weiteren Schwimmbädern in Großbritannien und strebt für 2023 20 Standorte durch hohe Nachfrage an
- Deep Green hebt sich dadurch ab, dass es die Wärme kostenlos abgibt und zielt derzeit auf eine Branche ab, die in finanzieller Hinsicht eine Pause gebrauchen könnte

 Bildquelle: [205]; Quellen: [206–211]

London Data Freeport



In Umsetzung

-  Großbritannien
-  2027
-  Agrarwirtschaft
-  Havering
-  600 MW
-  Reef Group



Technik

- Entwicklung einer "Null-Kohlenstoff-Anlage" an der Ecke Fen Lane und Dunnings Lane auf einem Gelände zwischen North Ockendon und Upminster.
- Geplante Campus soll aus zehn 50-MW- und fünf 20-MW-Einheiten bestehen, die zusammen eine Kapazität von 600 MW bieten.
- Gesamtfläche von rund 330.000 Quadratmetern an neuen Rechenzentren.
- Die Entwickler haben angekündigt, dass sie die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien vor Ort und den Ausgleich des Batterienetzes übernehmen werden.
- Der Campus soll Wärmerückgewinnungssysteme für eine kohlenstoffarme Agrarwirtschaft bieten.



Betriebswirtschaft

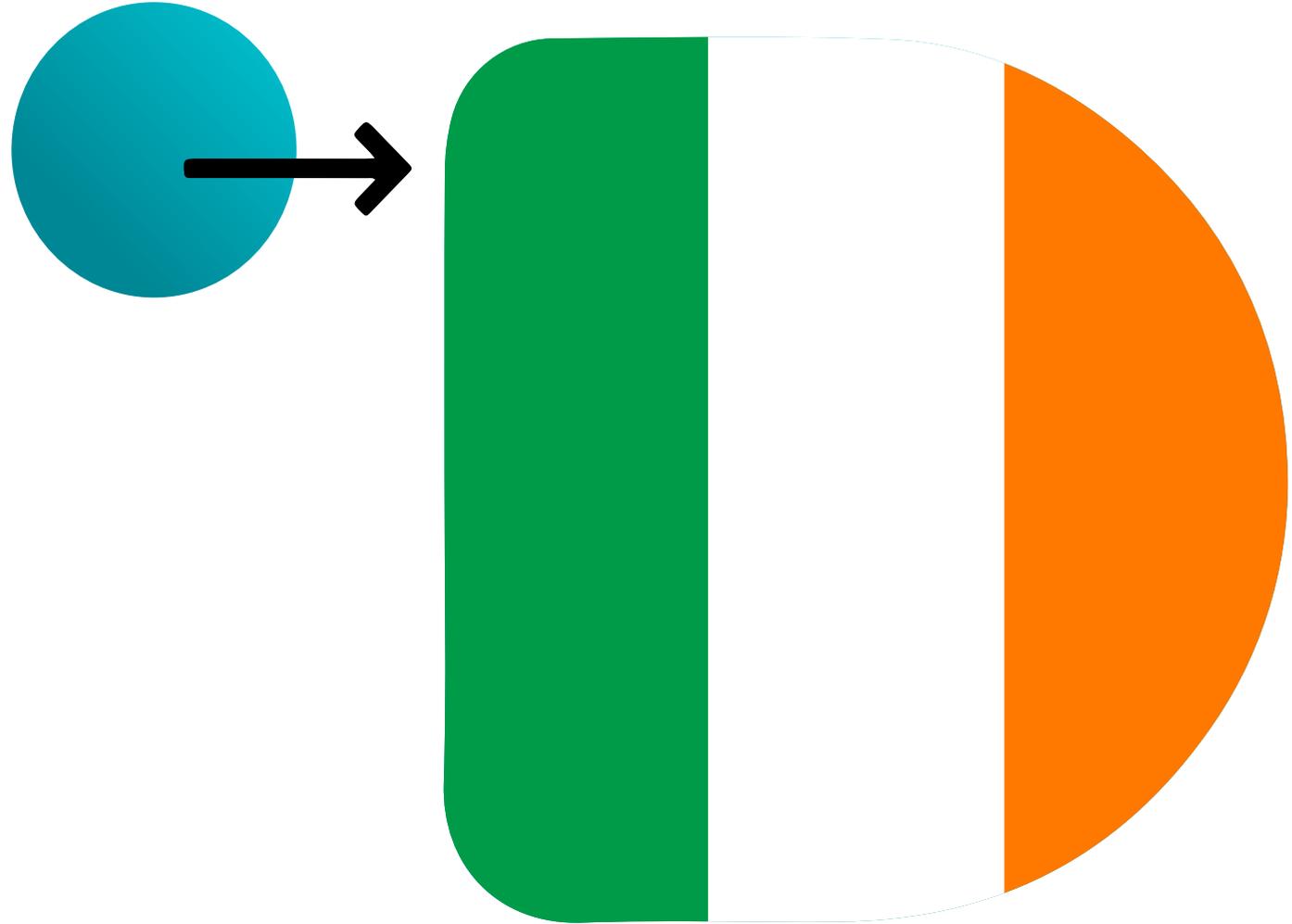
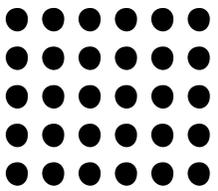
- 5,3 Mrd. £ (5,97 Mrd. \$) teures Projekt.



Kommunikation

- Fünfjährige Bauphase von 2023 bis 2027.
- Kooperation mit Space Park Leicester, Universität Leicester, Projekt Earth and Space Sustainability Initiative, um Innovationen in den Bereichen kohlenstofffreie Energie, digitale Infrastruktur und die Überwachung von landwirtschaftlichen und anderen Landnutzungsaktivitäten zu fördern.
- 120 Hektar der Fläche werden als auch als Ökopark für Öffentlichkeit zu Verfügung stehen.

 Bildquelle: [212]; Quellen: [213]



IRLAND

AWS Rechenzentrum



Irland



Dublin



Direkte Verdunstungs-
kühlsysteme,
Wärmepumpen



Gebäudebeheizung



Amazon, South Dublin
County Council
(SDCC), Fortum, City of
Dublin Energy
Management Agency



Technik

- Neues Fernwärmenetz in Tallaght, Süd-Dublin stellt Wärme aus AWS-Rechenzentrum für öffentlichen Sektor und Wohn- und Geschäftskunden bereit.
- Zunächst Beheizung von 47.000 m² öffentlicher Gebäude, 3.000 m² Gewerbeflächen und 135 erschwingliche Mietwohnungen.
- Einsatz von Wärmepumpentechnologie.
- Einsparung von 1.500 Tonnen CO₂ pro Jahr • 60 % Reduzierung der CO₂-Emissionen.
- Direkte Verdunstungskühlsysteme nutzen überwiegend Außenluft zur Kühlung der Server (mehr als 95 % des Jahres wird kein Wasser zur Kühlung benötigt).
- Neue Einrichtungen mit Dächern ausgestattet, die Regenwasser auffangen und so den Wasserbrauch aus der örtlichen Versorgung ausgleichen.
- Ziel: Kühlung des RZ ohne Wasser aus örtlicher Versorgung zu entnehmen.



Betriebswirtschaft

- Kostenlose Bereitstellung von Wärme.
- Fernwärmeunternehmen verkauft Wärme zu niedrigen Kosten an Endverbraucher.
- Die ersten Kunden werden der South Dublin County Council und der nahe gelegene Tallaght-Campus der Technologischen Universität Dublin (TU Dublin) sein. Zu den Gebäuden der Stadtverwaltung, die durch dieses Projekt kurzfristig beheizt werden, gehören das South Dublin County Hall, die Tallaght County Library, das Kunstzentrum RUA RED und das Civic Theatre.



Kommunikation

- Irland verfolgt Nachhaltigkeitsziele bis 2030

Bildquelle: [214]; Quellen: [215]

Ecologic Newtownmountkennedy Campus



Technik

- Fläche von 1.100.000 m².
- 150 MW Energie zur Beheizung geplanter lokaler Biodome und zur Versorgung benachbarter Dörfer und Unternehmen.
- Betrieben mit sauberer Energie wie Wind- und Wellenenergiequellen.
- Arklow Bank und Offshore-Windkraftanlagen befinden sich in unmittelbarer Nähe.
- Wiederverwendung der Abwärme als Heizenergie für Versorgung von Haushalten und Unternehmen.
- Klimanegative Anlage geplant.



Irland



Newtownmountkennedy

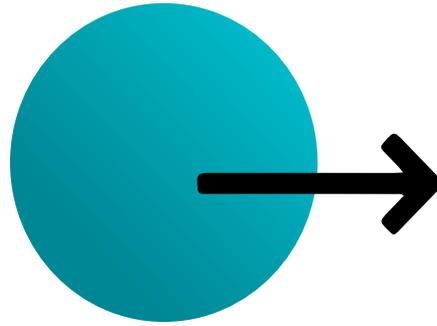
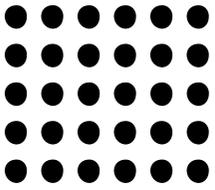


Gebäudebeheizung

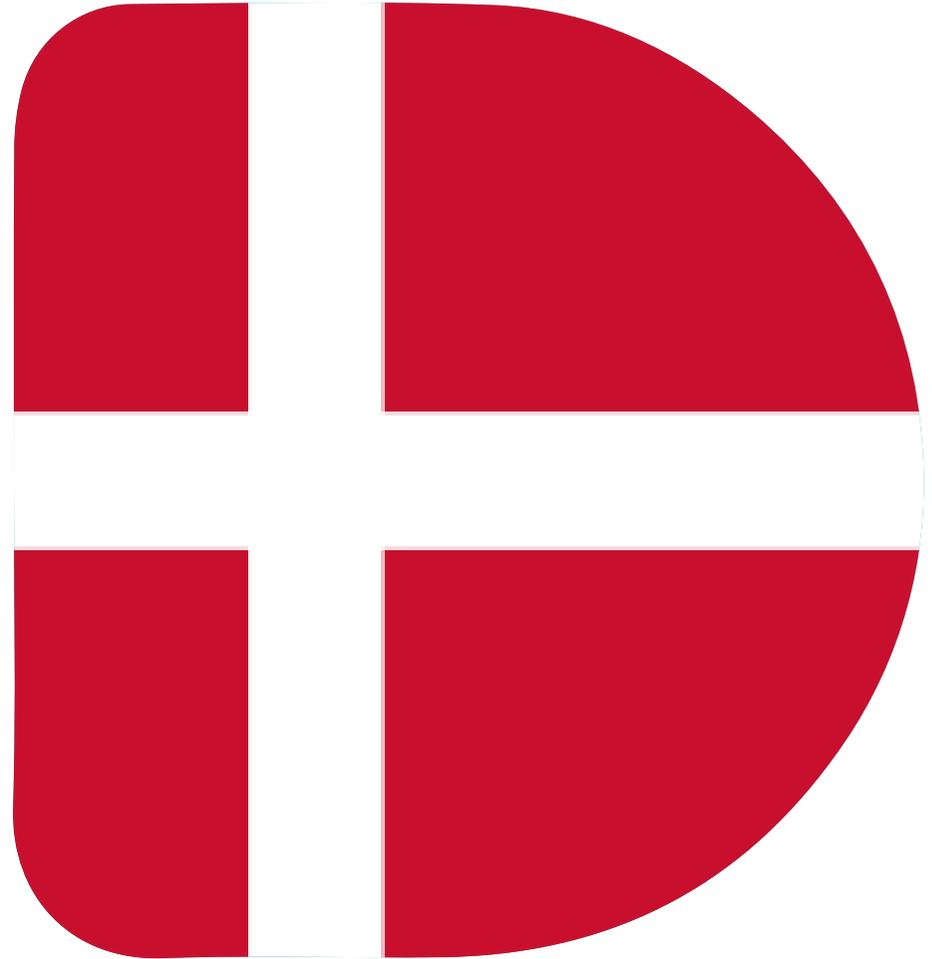


Ecologic datacentre

 Bildquelle: [216]; Quellen: [217]



DÄNEMARK



Rechenzentrum DigiPlex



Technik

- Abwärme wird in das Fernwärmenetz eingespeist.
- Regenwasserbecken für die Wasserbevorratung für die Kühlung



Dänemark



Kopenhagen



Fernwärmenetz



DigiPlex

 Bildquelle: [218]; Quellen: [219]

Odense



Technik

- Wärmeauskopplung von 100.000 MWh zur Beheizung von 6.900 Haushalten.
- Die Wärmeauskopplung erfolgt durch die Zirkulation von heißer Luft in Kupferspulen innerhalb der Kühleinheit, welche mit Wasser gefüllt sind.
- Das Wasser mit einer relativ niedrigen Temperatur wird zu der Fernwärmestation Fjernvarme Fyn geleitet und dort mittels Wärmepumpen weiter aufgewertet.
- Direkt neben dem RZ ist ein Windpark.



Betriebswirtschaft

- Facebook verschenkt die Abwärme.



Dänemark



Odense



Wärmepumpen



Gebäudebeheizung



Fernwärmenetz



Facebook

Bildquelle: [220]; Quellen: [221–223]

Rechenzentrum Viborg



Technik

- Vollständiger Betrieb mit erneuerbarer Energie aus regionalen Projekten.
- Windprojekt in Esbjerg und Solaranlagen in Thisted in Nordjütland.
- Fernwärme versorgt 64 % aller Haushalte in Dänemark.
- Abwärme wird in das Nahwärmenetz eingespeist und für die Beheizung von Wohnungen verwendet. Damit sollen ca. 100.000 Einwohner mit Wärme versorgt werden.

Sonstiges

- Mit dem 2020 Environmental Progress Report veröffentlichte Apple den Plan bis 2030 die Emissionen um 75 % zu reduzieren.

 Dänemark

 Viborg

 Nahwärmenetz

 Gebäudebeheizung

 Apple, Varta

 Bildquelle: [224]; Quellen: [225–227]

Supercomputer-Zentrum DTU



Technik

- Supercomputer-Zentrum der Dänischen Technischen Universität (DTU) in Risø hat eine Fläche von 3.800 m².
- Elektrisch betriebene Wärmepumpe nutzt die Abwärme, um Wasser auf das Temperaturniveau des Fernwärmenetzes anzuheben.
- Fernwärmenetz versorgt Hochschulgebäude auf Campus mit Heizwärme und warmem Wasser.
- Bis zu 600 kW Abwärme von IT-Geräten wird ins Fernwärmenetz eingespeist.
- Vier Monate im Jahr wird autark geheizt.
- Supercomputer liefern 19 % der insgesamt benötigten Wärme.
- Wärmepumpe speist sechsmal so viel Energie in das Fernwärmenetz ein, wie die Wärmepumpe an Strom für den Betrieb benötigt.
- Gesamtbilanz positiv fürs Klima.

 Dänemark

 Risø

 Wärmepumpe

 Gebäudebeheizung

 Fernwärmenetz

 Dänische Technische Universität (DTU)

 Bildquelle: [228]; Quellen: [229]

Rechenzentrum Danfoss



Technik

- Interne Abwärmenutzung im Unternehmen.
- Ca. 1 MW Abwärme des Rechenzentrums sollen nahezu vollständig im Unternehmen (Verwaltungssitz, Produktion, Kantine etc.) genutzt werden. Bis 2024 soll ca. 25 % des jährlichen Wärmebedarfs des rund 250.000 m² großen Fabrik- und Büroareals damit abgedeckt werden.
- Es besteht ein ganzjähriger Bedarf an Prozesswärme.
- Es ist eine Kälteanlage vorhanden, die nach Möglichkeit nicht im Betrieb sein soll, sondern als Backup dient. Die Wärme wird am Wasserkreislauf des Kühlkreises ausgekoppelt. Es sollen zusätzlich Wärmepumpen installiert werden.
- Das Verwaltungsgebäude wurde vor kurzem saniert und ist mit Flächenheizungen ausgestattet. Die anderen Gebäude haben teilweise aber andere Heizkörper.
- Es ist am Danfoss Standort eine Photovoltaik-Anlage installiert, welche einen Teil der Stromversorgung des gesamten Standortes übernimmt. Damit könnte das Rechenzentrum nahezu CO₂-neutral betrieben werden.
- Ab 2022 soll an dem Standort komplett CO₂-neutral gearbeitet werden.



Sonstiges

- Vollständige Inbetriebnahme voraussichtlich endgültig im Jahr 2024. Bisher sind noch nicht alle Gebäude miteinander vernetzt.



Dänemark



Nordborg



Kälteanlage,
Wärmepumpe



Gebäudebeheizung,
Produktion, Kantine



Im Unternehmen



1 MW



Wasserkreislauf

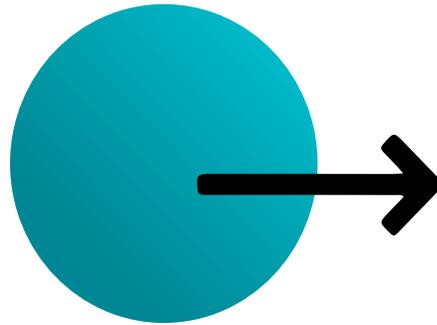
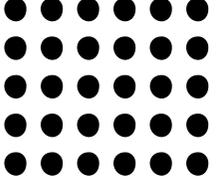


Danfoss



2024

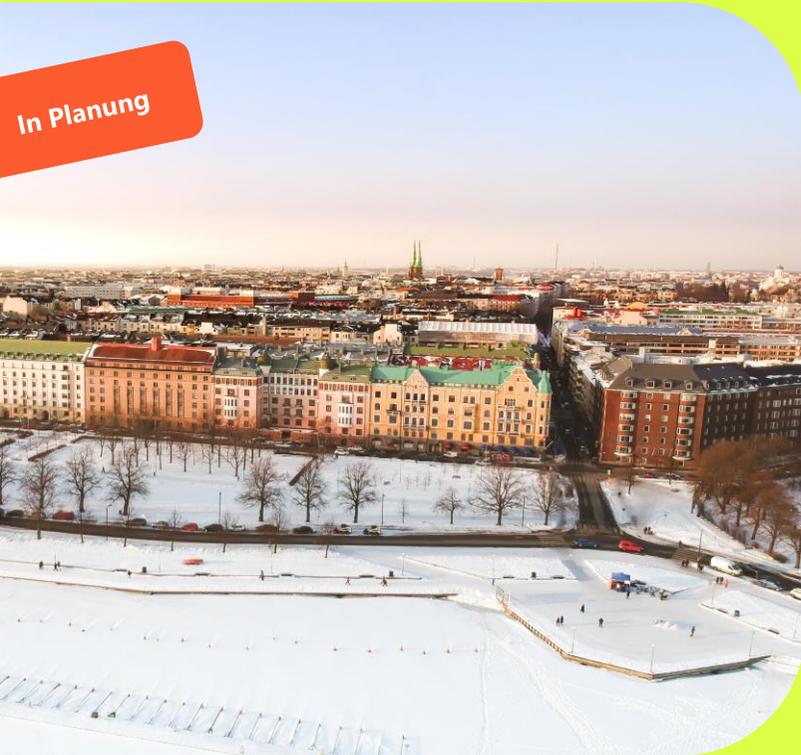
Bildquelle: [230]; Quellen: [231–233]



FINNLAND



Rechenzentrum bei Helsinki



✂ Technik

- Rechenzentrum, welches mit 100 % emissionsfreien Energie betrieben wird.
- Das Rechenzentrum soll genug Abwärme liefern, um etwa 40 % des Bedarfs von rund 250.000 Fernwärmekunden in den drei Kommunen (Espoo, Kauniainen und Kirkkonummi) zu decken und jährlich 400.000 Tonnen Kohlenstoffdioxid-Emissionen einsparen.
- In einer einzigartigen Zusammenarbeit mit der Fortum Corporation wird die in den Rechenzentren erzeugte Abwärme in Fernwärme umgewandelt, die Finnlands zweitgrößte Stadt Espoo und das benachbarte Kauniainen sowie die Gemeinde Kirkkonummi versorgt. Die für die Fernwärme aufbereitete Abwärme wird zusammen mit anderen Maßnahmen dazu beitragen, dass die Stadt Espoo und die umliegenden Gemeinden ihre ehrgeizigen Ziele zur Verringerung der CO₂-Emissionen erreichen, was unter anderem zur Stilllegung des letzten kohlebefeuernten Heizblocks von Fortum in Espoo führt.

€ Betriebswirtschaft

- Die Investition ist eine Reaktion auf die wachsende Nachfrage Finnlands nach leistungsstarken und nachhaltigen Computern sowie einem schnellen und zuverlässigen Zugang zu Microsoft-Diensten.
- Kooperation mit dem Unternehmen Fortum für die Abwärmenutzung.
- „Die Entwicklung von Lösungen für globale Herausforderungen zusammen mit Partnern ist eine strategische Priorität für Fortum, und wir sind stolz darauf, diese außergewöhnliche Reise gemeinsam mit Microsoft anzutreten. Durch die Nutzung der Abwärme von Rechenzentren können wir saubere Wärme für Haushalte, Unternehmen und öffentliche Gebäude in der finnischen Hauptstadt bereitstellen und jährlich bis zu 400.000 Tonnen CO₂-Emissionen einsparen. Dies ist ein wichtiger und praktischer Schritt für eine sauberere Welt“, sagte Markus Rauramo, Präsident und CEO von Fortum.

💬 Kommunikation

- „Die Entscheidung, in eine Rechenzentrumsregion zu investieren, die auch unsere Städte [...] mit überschüssiger Wärme versorgt, ist eine Win-Win-Situation. Sie wird das digitale Wachstum Finnlands beschleunigen und gleichzeitig unser Energiesystem umweltfreundlicher machen. [...]“, sagte Sanna Marin, Ministerpräsidentin von Finnland.
- „[...] In dieser einzigartigen Zusammenarbeit kombinieren Microsoft und Fortum ihr weltweit führendes Fachwissen im Bereich Cloud-Computing und nachhaltige Energielösungen und verändern damit das Designkonzept für die Rechenzentren der Zukunft“, sagte Cindy Rose, Präsidentin von Microsoft Westeuropa.

🇫🇮 Finnland

🏢 Espoo, Kauniainen und Kirkkonummi
(Absichtserklärung zur Errichtung eines neuen Rechenzentrums)

🇫🇮 Gebäudebeheizung, Warmwasserbereitung

🔌 Fernwärmenetz

👥 Microsoft, Fortum

📖 Bildquelle: [234]; Quellen: [60, 235–237]

Data Center in Mäntsälä



 Finnland	 Mäntsälä
 37 °C	 85 °C
 Gemeinde	 15 MW
 Fernwärmenetz	 Gebäudebeheizung
 Wärmepumpe, Wärmetauscher, Wärmerück- gewinnungsanlagen	 Mäntsälä, Yandex, Nivos

 Bildquelle: [238]; Quellen: [190, 239–241]



Technik

- Nutzung der Abwärme eines 15 MW-Rechenzentrums.
- Durch Wärmerückgewinnungsanlagen und Wärmepumpenanlage kann ein Drittel der vom Rechenzentrum verbrauchten Energie als Wärme genutzt werden.
- IT-Last von 6 MW
- Abluft hat Temperatur von 37 °C (20 °C Differenz zur zugeführten kälteren Luft)
- Wärmepumpen erhöhen auf 85 °C vor der Einspeisung
- Überlegung, Wärmetauscher näher an Server zu verlegen, sodass diese Wärme aus 45°C warmen Luft aufnehmen können
- Abnehmer 200 m von RZ entfernt



Betriebswirtschaft

- Mäntsälä konnte mit dieser Lösung seine Fernwärmepreise um 11 % senken.
- Die Möglichkeit, die Abwärme zu nutzen und das Rechenzentrum dafür zu entschädigen, verbessert den Business Case und kann ein entscheidender Faktor bei der Entscheidung für den Standort eines Rechenzentrums sein, was zu mehr Investitionen und Beschäftigung vor Ort führen kann.
- Abwärme wird an Nivos verkauft (tätig in Bereichen Strom-, Wärme- und Wasserwirtschaft)



Kommunikation

- Im Jahr 2018 wurden 20 GWh oder 54 % des Wärmebedarfs von Mäntsälä durch die Abwärme des Rechenzentrums gedeckt.
- Größter Vorteil am Standort Finnland ist vorhandenes Fernwärmesystem, in jeder Stadt vorhanden



Sonstiges

- Die Ausweisung von Industriegebieten in der Nähe des Fernwärmenetzes ermöglichte die Nutzung der Abwärme.

LUMI im Renforsin Ranta business park



Technik

- Die Abwärme des LUMI-Rechenzentrums (HPE Cray EX Racks; 550 PFLOPS) wird etwa 20 % der Fernwärme in Kajaani ausmachen und den CO₂-Fußabdruck der gesamten Stadt verringern.
- Die vom Supercomputer erzeugte Wärme (jährlich bis zu 60 GWh) wird durch Flüssigkeitskühlung effizient zurückgewonnen. Die Wassertemperatur wird dann durch Wärmepumpen weiter erhöht, um den Bedarf des Fernwärmenetzes zu decken.
- Zwischen dem Hochleistungsrechenzentrum und dem Wärmenetz befindet sich eine Wärmepumpe, die mit erneuerbarer Energie betrieben wird. Das Wärmenetz hat eine Last von etwa 10 MW und versorgt den Renforsin Ranta Business Park und die Stadt Kajaani mit Wärme.
- Das so entstandene Rechenzentrum hat einen negativen CO₂-Fußabdruck, da es mit erneuerbaren Energien (100 % Wasserkraft von Vattenfall) betrieben wird und seine Abwärme zur Beheizung lokaler Gebäude genutzt wird. Diese Wiederverwendung von Abwärme wird den jährlichen CO₂-Fußabdruck des Gebiets um 13.500 Tonnen verringern.



Recht

- Einer Vereinbarung zufolge wird das Rechenzentrum, das Anfang 2021 seinen Betrieb aufnehmen wird, die als Nebenprodukt anfallende Wärme sammeln, die Loiste Lämpö dann in sein Netz einspeisen wird, um Wohnungen und Geschäftsräume in Kajaani zu beheizen.



Betriebswirtschaft

- Loiste Lämpö entwickelt derzeit ein vollständig CO₂-neutrales Fernwärmeprodukt mit Abwärme.
- Dadurch sinken die Gesamtenergiekosten um bis zu 40 % und die CO₂-Emissionen.
- Die Finanzierung des insgesamt 202 Millionen Euro teuren Projektes erfolgte zur Hälfte durch die EU, zu einem Viertel durch Finnland.



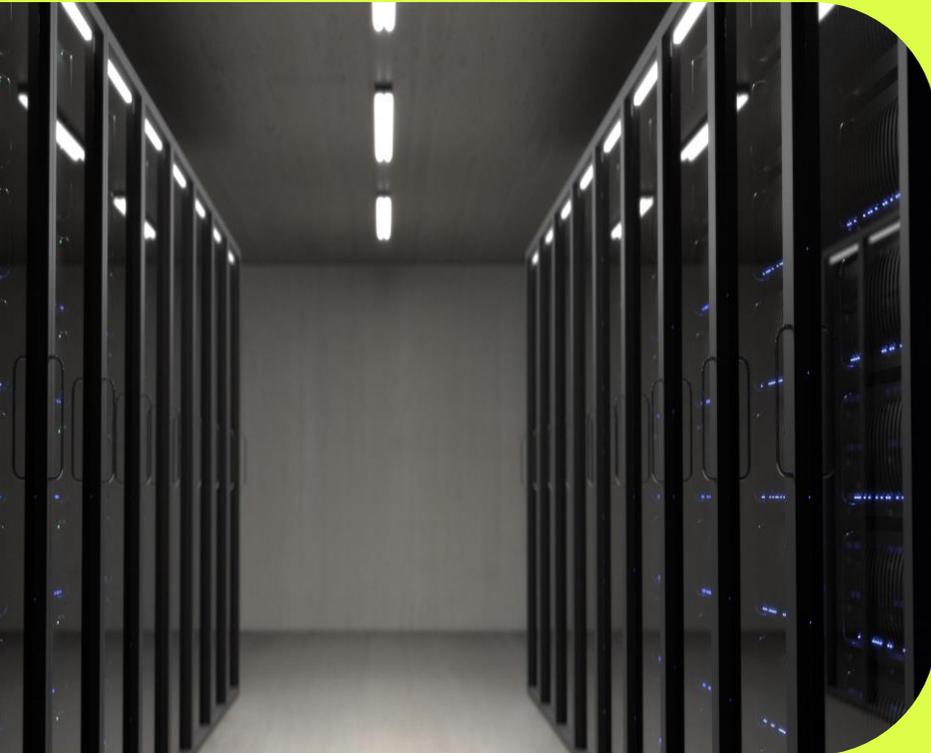
Kommunikation

- „Der Standort eines ökoeffizienten Rechenzentrums in Kajaani ist das Ergebnis langfristiger Verhandlungen zwischen mehreren Partnern. Dies ist eine wichtige Klimaschutzmaßnahme, die wir gemeinsam mit unseren Kunden ergreifen, und sie wird sich positiv auf die CO₂-Bilanz der gesamten Stadt auswirken. Darüber hinaus wird das Projekt Arbeitsplätze in der Region Kajaani schaffen“, sagt Heikki Juntunen, CEO von Loiste Lämpö.
- Gewinner des Data Center Design Innovation Award 2021.

- Finnland
- 2021
- Nahe Region
- Flüssigkeitskühlung, Wärmepumpe
- Kajaani
- Gebäudebeheizung
- Fernwärmenetz
- Loiste Lämpö, CSC - IT Center for Science Ltd., EuroHPC, UPM Kiinteistö, Vattenfall

Bildquelle: [242]; Quellen: [243–252]

Rechenzentrum Ericsson



Technik

- Wärmepumpen werden für den Wärmetransfer genutzt; Kältemittel: HFO-1234ze (1,3,3,3-Tetrafluoropropene).
- Jährliche Abwärmestrom zwischen 10.000 und 15.000 MWh.



Recht

- Vertrag zwischen der Energiefirma Fortum und Ericsson, die Wärmepumpen gehören dem Energieversorger.



Finnland



Kirkkonummi



Wärmepumpe



Fortum, Ericsson

Bildquelle: [253]; Quellen: [254]

Pitäjänmäki Data Centre



Technik

- 24 MW IT-Anschlussleistung.
- Die eingebaute Wärmepumpe erzeugt mind. 1,3x mehr Wärme aus dem Rechenzentrum, als es Strom verbraucht. Diese Wärme soll ca. 20.000 Einwohner in Helsinki versorgen (durch Einspeisung in Fernwärmenetz).
- Inbetriebnahme voraussichtlich um Juni 2022.



Finnland



2022



Fernwärmenetz



Wärmepumpe



Helsinki



24 MW



Gebäudebeheizung



Telia, Helen Ltd.

Bildquelle: [255]; Quellen: [256]

Equinix HE3 & HE5



Technik

- Equinix Rechenzentren in Suvihlati (HE3) und Viikinmäki (HE5) werden an das Wärmenetz von Helen Ltd. angeschlossen, um Stadtteile in Helsinki zu versorgen.
- Für die Beheizung tausender zusätzlicher Haushalte und Unternehmen in Helsinki
- 1.409 km langes Fernwärmenetz von Helen ermöglicht auch flexible Umsetzung verschiedener Abwärmekonzepte



Finnland



Helsinki



1.409 km



Gebäudebeheizung



Fernwärmenetz



Equinix, Helen Ltd.

 Bildquelle: [257]; Quellen: [258–260]

Elisa HQ



Technik

- Die Abwärme aus dem Rechenzentrum (im UG) wird bisher bereits zur Beheizung des HQ-Gebäudes verwendet. Dadurch wird seit 2019 40% des Energieverbrauchs eingespart, äquivalent zu 250 Tonnen CO₂.
- Nach dem Umbau wird das Rechenzentrum an das Wärmenetz von Helen Ltd. angeschlossen.
- Das Wärmenetz weist insgesamt eine Leitungslänge von 1490 km auf, mit einem „offenen“ Konzept, d.h. Kunden kann entweder Wärme aus dem Netz entnehmen oder ins Netz einspeisen.

 Finnland

 Helsinki

 Wärmenetz

 Telco Elisa, Helen Ltd.

 Bildquelle: [261]; Quellen: [60, 262]

Nokia-Rechenzentrum vLab



-  Finnland
-  2022
-  Wärmepumpe
-  Fernwärmenetz
-  Tampere
-  95 °C
-  Gebäudebeheizung
-  Uampereen Sähölaitos, Nokia



Technik

- Rechenzentrum wird ab Anfang 2022 Abwärme in Fernwärmesystem der Stadt einspeisen.
- Das Geschäftsgebäude Valtatie 30 in Tampere wird an das Fernwärmesystem angeschlossen, das vom örtlichen Versorgungsunternehmen Tampereen Sähkölaitos betrieben wird. Ermöglicht wird der Anschluss durch Verbesserungen an den Kühlsystemen des Rechenzentrums, das kürzlich auf das Greenlake On-Premises-Rechenzentrum-as-a-Service-Angebot von HPE umgestellt wurde.
- Bei der Verbindung werden Wärmepumpen des finnischen Unternehmens Oilon eingesetzt, um die Abwärme auf bis zu 95 °C zu erhöhen.
- Wärmepumpen werden jedes Jahr etwa 50 GWh Wärme bereitstellen.
- Mit überschüssiger Wärme aus dem Rechenzentrum können 50 Wohnhäuser pro Jahr beheizt werden.
- Gebäude wurde bereits im Jahr 2016 an das Fernwärmenetz angeschlossen, aber erst seit 2022 kann die Wärme wegen des Greenlake-Upgrades verkauft werden, da es die Rückgewinnung von Wärme aus dem Flüssigkühlsystem ermöglicht (Installierung mithilfe vom Ingenieurbüro Sweco).



Recht

- Vereinbarung mit Vermieter Castellum.



Kommunikation

- vLab ist Teil von Nokia Software und arbeitet an der Forschung für Bereiche wie 5G. Es hat auf eine Greenlake Cloud-as-a-Service umgestellt, die auf HPE-Hardware im Gebäude Valtatie 30 läuft. Nach Angaben von HPE und Nokia wird dadurch der Energiebedarf gesenkt und das Rechenzentrum kohlenstoffnegativ, da erneuerbare Energiequellen und eine Flüssigkeitskühlung mit Wasser aus einem nahen gelegenen See genutzt werden.

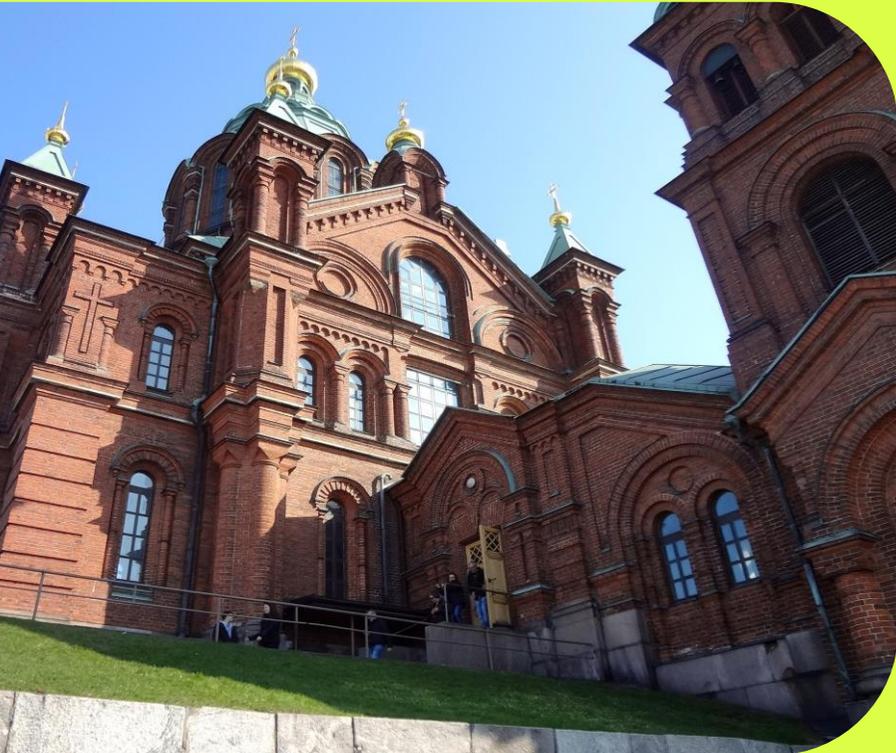


Sonstiges

- Finnland hat das ehrgeizige Ziel, bis 2035 kohlenstoffneutral zu sein, und der Eigentümer von Valtatie, Castellum, strebt das Jahr 2030 an. Nokia selbst plant, bis 2040 klimaneutral zu werden.

 Bildquelle: [263]; Quellen: [264]

Rechenzentrum Academica



Technik

- 2 MW RZ unter Uspenski-Kathedrale.
- Abwärme erwärmt Wasserleitungen zur Beheizung nahe gelegener Häuser.
- Genug Wärme für Beheizung von 500 großen Privathäusern.
- Nach Entziehen der Wärme wird Wasser wieder zurückgeführt.
- Wärme wird über separates Rohrsystem mit entsalztem Wasser übertragen und durch das ausgedehnte unterirdische Tunnelnetz der Stadt ins Fernwärmenetz weitergeleitet, für das die Tunnel ursprünglich gebaut wurden.
- Ostsee-Wasser wird zur Kühlung verwendet.



Kommunikation

- "Für uns in Finnland waren Brennstoffe und Energie schon immer recht teuer. Das hat uns dazu gezwungen, nach Lösungen zu suchen, um unseren Energieverbrauch zu senken. Die Nutzung des unterirdischen Bunkers hat noch einen weiteren Vorteil", so Juha Sipilä, Ingenieur bei Helsingin Energia und Projektleiter: "Die Server werden sehr sicher sein."



Finnland



Tampere



2010



95 °C



Wärmepumpe



Gebäudebeheizung

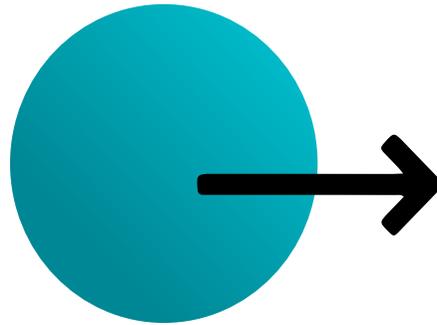
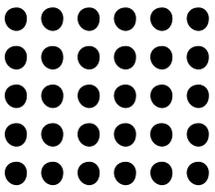


Fernwärmenetz



Uampereen Sähöläitos,
Nokia

Bildquelle: [265]; Quellen: [197, 266]



NORWEGEN



DC1-Stavanger



-  Norwegen
-  20 °C
-  Meerwasserkühlung
-  direkt nebenan
-  Rennesøy
-  20 °C
-  Fischzuchtanlage
-  Green Mountain, Norwegian Lobster Farm



Technik

- Das Colocation-Rechenzentrum DC1 befindet sich in einem ehemaligen NATO-Munitionslager und hat eine Gesamtfläche von 22.600 m². Die Kühlkapazität kann bis zu 2 x 26 MW betragen (PUE < 1,18).
- Die Norwegian Lobster Farm ist das erste Unternehmen der Welt, das Hummer in Tellergröße in einer landgestützten Fischzucht produziert. Um optimal zu wachsen, benötigt der Hummer eine Temperatur von 20 °C im Meerwasser. Dies ist genau die Temperatur des Meerwassers, das zur Kühlung der IT-Geräte im Rechenzentrum von Green Mountain verwendet wurde.
- Im DC1-Stavanger wird zu diesem Zweck eine innovative Lösung zur Fjordkühlung verwendet. Das Meerwasser gelangt mit einer Temperatur von 8°C in das Rechenzentrum. Anschließend gibt das Rechenzentrum das Wasser mit einer Temperatur von 20°C wieder in den Fjord ab. Geplant ist der Bau einer neuen Produktionsanlage neben dem Rechenzentrum. Hier kann das erwärmte Meerwasser direkt für die Hummerzucht verwendet werden. So kann die Energie wiederverwendet werden und es ist keine komplizierte RAS-Technologie erforderlich.



Recht

- Das norwegische Colocation-Unternehmen Green Mountain und die Norwegian Lobster Farm haben eine Vereinbarung über die Wiederverwendung der Abwärme des Rechenzentrums in der weltweit ersten landgestützten Hummerfarm geschlossen.



Betriebswirtschaft

- Die Vereinbarung bietet der Farm eine konstante Wasserversorgung bei der von Hummern bevorzugten Temperatur von 20 °C und reduziert die Kosten und den ökologischen Fußabdruck der Farm.
- Es gibt das Potential 900 Tonnen Hummer jährlich zu produzieren. Durch die optimale Temperatur des Meerwassers verkürzt sich die Markteinführungszeit für Hummer in Tellergröße von 60 auf 18/24 Monate. Zusätzlich fallen als „Abfall“ 360 Tonnen Fischschlamm an, welcher in Biogasanlagen weiterverarbeitet werden könnte.
- „In der Praxis bedeutet dies, dass wir die Produktion hochfahren können. Wir können das technische Risiko verringern und sowohl CAPEX als auch OPEX einsparen. Zusätzlich zu den Vorteilen für die Umwelt, versteht sich.“, sagt Asbjørn Drenstvig, CEO der Norwegian Lobster Farm.
- "Wir haben lange Zeit verschiedene Methoden zur Wiederverwendung der Abwärme aus unserem Rechenzentrum untersucht. Hier in Rennesøy, das dünn besiedelt ist, ist Fernwärme keine sinnvolle Alternative. Dieses Projekt hingegen passt wie die Faust aufs Auge. Daher hoffen wir, dass wir dieses und ähnliche Konzepte auch auf unsere zukünftigen Einrichtungen ausweiten können. ", sagt Green Mountain CEO Tor Kristian Gyland.

 Bildquelle: [267] ; Quellen: [268–276]

DC2-Telemark



-  Norwegen
-  2023
-  800 m
-  Rohrsystem
-  Wärmetauscher, Kreislauf-Aquakultur (RAS)
-  Rjukan
-  20 MW
-  Prozesswärme - Forellenzucht
-  Green Mountain, Hima Seafood

 Bildquelle: [277]; Quellen: [268, 271, 275, 278]



Technik

- Erweiterung von RJU1-Rjukan, Bau von einem zweistöckigen 20-MW-Gebäude.
- Hima wird in Rjukan eine Forellenzucht an Land einrichten.
- Nur 800 Meter von der Forellenzucht entfernt befindet sich die DC2-Telemark. Durch die Verbindung der beiden Anlagen über ein Rohrsystem kann Green Mountain erhitztes Wasser an Hima liefern.
- Die Wärmetauschertechnologie sorgt dann dafür, dass die Hima-Anlage die Energie des Wassers nutzen kann, um die richtige Wassertemperatur für ihre RAS-Lösung zu erhalten.
- DC-2 befindet sich in unmittelbarer Nähe zu einem Wasserkraftwerk.



Recht

- Green Mountain schloss eine Vereinbarung mit Hima Seafood über die Wiederverwendung der Abwärme des Rechenzentrums für die weltweit größte Forellenzucht an Land.
- Hima Seafood und Green Mountain sind beide fest entschlossen, die Umweltauswirkungen ihrer Tätigkeiten zu minimieren, und erkennen an, dass dieses Projekt ein bahnbrechendes Beispiel für Kreislaufwirtschaft in der Praxis darstellt.



Betriebswirtschaft

- Der Bau begann 2021 und wenn die Anlage 2023 vollständig in Betrieb ist, wird die Abwärme für die Produktion von 9.000 Tonnen Forellen pro Jahr genutzt.
- In das Projekt werden 100 Mio. € (99,9 Mio. \$) investiert, und die gesamte Abwärme der neuen Anlage wird von einer nahen gelegenen Fischzucht an Land genutzt.



Kommunikation

- Sten Falkum, geschäftsführender Direktor von Hima Seafood: "Die Abwärme von Green Mountain stellt eine erhebliche Kosteneinsparung in unserer Produktion dar, und wir sind begeistert, dass unser Wärmebedarf dazu beitragen kann, den ökologischen Fußabdruck von Green Mountain zu verringern und im Gegenzug das Rechenzentrum zu kühlen. Dies ist wirklich eine Win-Win-Lösung für beide Parteien.
- Der CEO von Green Mountain, Tor Kristian Gyland, fügt hinzu: "Rechenzentren sind zweifellos sehr energieaufwendig. Obwohl unsere Rechenzentren mit 100 % erneuerbarer Wasserkraft betrieben werden, möchten wir die Energie nicht verschwenden. Dieses Projekt ist ein bahnbrechendes Beispiel für die Kreislaufwirtschaft, bei der die Produktion eines Unternehmens einem anderen Unternehmen zugutekommt und obendrein noch die Umwelt entlastet. Unsere Vision ist es, "den grünen Standard zu setzen", und dieses Projekt unterstützt dies wirklich."

Ulven



-  Norwegen
-  Wärmetauscher
-  Fernwärme
-  Oslo
-  3,5 MW
-  Gebäudebeheizung
-  Stack Infrastructure, Hafslund Oslo Celsio

 Bildquelle: [279]; Quellen: [280]



Technik

- Auf dem Campus wurde eine spezielle Wärmetauscheranlage eingebaut, während das Rechenzentrum mit neuen isolierten Rohrleitungen und Kühlschlangen nachgerüstet wurde.
- Das OSL01-Rechenzentrum exportiert etwa 3,5 MW Wärme in das Osloer Fernwärmesystem, was einer Energiemenge von etwa 25 GWh pro Jahr entspricht.
- Ökostrom von Celsio wird für andere Zwecke wie die Elektrifizierung des Verkehrssektors freigesetzt.



Recht

- Zusammenarbeit mit Energieversorger Hafslund Oslo Celsio mit Vertrag für die Wärmelieferung an 5000 Wohnungen in der Stadt.
- Im Gegenzug gibt Hafslund Oslo Celsio kaltes Wasser an den Campus zurück.
- In der Zwischenzeit verkaufte Fortum im Mai 2022 seinen 50-prozentigen Anteil an Fortum Oslo Varme, das sich nun zu 60 Prozent im Besitz von Hafslund Eco befindet (Infranode und HitecVision halten jeweils 20 Prozent).
- Celsio betreibt ein 60 Meilen langes Wärmeverteilungsnetz in Oslo.



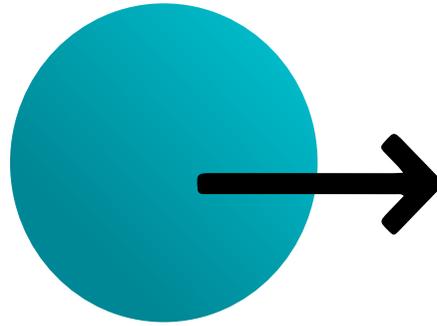
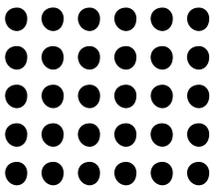
Betriebswirtschaft

- Noch weitere Anlagen vorhanden, aber noch keine Partner, die die überschüssige Wärme abnehmen können



Kommunikation

- Zusammenarbeit mit dem Wärmeversorger Hafslund Oslo Celsio.
- 2018 kündigte der nordische Rechenzentrumsbetreiber DigiPlex an, mit dem Energieversorger Fortum zusammenzuarbeiten, um die Abwärme seines Campus in Ulven, Oslo, zurückzugewinnen und zur Beheizung von Wohngebäuden zu nutzen. Als Teil der Vereinbarung würde Fortum kaltes Wasser an den Campus zurückgeben.
- Knut Inderhaug, Geschäftsführer von Hafslund Oslo Celsio. "Rechenzentren in städtischen Gebieten sind stabile und gute Quellen für überschüssige Wärme für die Fernheizung, und gemeinsam können wir zur Wiederverwendung von emissionsfreier Wärme beitragen. Projekte wie dieses sind positiv für uns als Energieversorger, für unsere Stadt und ihre Einwohner und für das Klima."
- Halvor Bjerke, CEO, Stack EMEA Nordics, kommentierte: "Die Wiederverwendung von Wärme ist jetzt Standard in unseren neuen Rechenzentren, und wir erwarten, dass wir auch weiterhin mit den städtischen Behörden sowie mit Wärme- und Stromversorgern zusammenarbeiten werden, um sicherzustellen, dass diese Kreislaufwirtschaft für Energie weit verbreitet wird, damit die digitale Wirtschaft nachhaltig ist."



SCHWEDEN



Stockholm Data Park



 Schweden

 2021

 Fernwärmenetz

 Wärmetauscher,
Wärmepumpen

 Fernwärmeeinspeisung,
Gebäudebeheizung

 Stockholm

 85 °C

 10 MW

 Stadt Stockholm
Business Region,
Fortum Wärme,
Stockholm Exergi,
Ellevio, Stokab,
Ericsson

 Bildquelle: [281]; Quellen: [190, 282–286]

Technik

- 10 MW RZ kann ca. 20.000 moderne Wohnungen beheizen, wobei der jährliche Fernwärmebedarf bei 12 TWh liegt.
- Ziel des Stockholm Data Parks (SDP) ist die Deckung von 10 % des Wärmebedarfs in Stockholm. Hierzu sollen ab Frühling 2021 20 MW von RZ eingespeist werden. Damit sollen 35.000 Wohnungen beheizt werden.
- Seit den 1950er gibt es ein Fernwärmenetz in Stockholm. In der Stadt sind Leitungen mit einer Länge von 2.800 km vorhanden, wobei jedes Haus über einen Wärmetauscher verfügt.
- Wärmepumpen heben das Temperaturniveau auf etwa 85 °C.



Betriebswirtschaft

- In Schweden sind die Stromkosten die geringsten in der EU und der spezifische CO₂ Ausstoß ist niedrig.
- Bemühung liegen auf der Sicherstellung der Unabhängigkeit gegenüber von Subventionen und einer von vorneherein marktwirtschaftlicher Tragfähigkeit.
- Einige Firmen priorisieren den ROI, während andere geringere Einnahmen akzeptieren.
- Business Modell: Über Open District Heating können RZ, Supermärkte etc. Ihre Abwärme über eine Art offenen Marktplatz an den Energieversorger verkaufen. Die ist vergleichbar mit einer Börse, wobei der Preis von vielen Faktoren (Nachfrage, Temperaturlevel) abhängig ist. Je nach Situation kann der Lieferant entscheiden, ob er einspeisen möchte.
- Ericsson betreibt ein RZ im SDP und der Grund für die Wärmeauskopplung lag in der Reduktion der Betriebskosten und einer Steigerung der Nachhaltigkeit. Energieverbrauch und Betriebsstunden der Kühlung konnten reduziert werden.
- Ziel von Exergi ist eine 100 % erneuerbare Wärmeversorgung.



Kommunikation

- Initiative der Stadt Stockholm, des Fernwärme- und Fernkälteanbieters Stockholm Exergi, des Stromnetzbetreibers Ellevio und des Glasfaseranbieters Stokab, der Standorte auf der grünen Wiese für den Bau von Rechenzentren anbietet.
- Der Fernwärmeanbieter Exergi ist aktiv auf die Wärmequellen, insbesondere die RZ, zugegangen und hat sie über die Möglichkeit der Wärmeauskopplung zu Heizzwecken und der gleichzeitigen Reduzierung der Kühlkosten informiert. Weiteres Argument war, dass Wärmepumpen und Kühler thermodynamisch betrachtet dieselbe Funktionsweise haben, wobei beim Kühler Wärme nur an die Umgebung abgegeben wird.



Sonstiges

- Die Philosophie hinter dem SDP ist, dass es für alle Beteiligten ein gutes Geschäft sein sollte.
- Infolge der geografischen Lage besteht ein erhöhter Heizbedarf.

Elementica



 Schweden

 Stockholm

 ~250 m

 21 MW

 Wasserkühlungs-
kompatibel

 Veredelung in
Biomasseheizkraftwerk

 Ericsson, Stokab,
Fortum Värme, Ellevio,
Elementica



Technik

- Redundantes Kühlsystem, welches mit Wasserkühlung kompatibel ist.
- Es sollen 10 MW ausgekoppelt werden
- 21 MW Datacenter



Recht

- Aufgrund der festen Installationen können langfristige und transparente Verträge mit einer Laufzeit von bis zu 15 Jahren angeboten werden.



Betriebswirtschaft

- Über einen Zeitraum von 15 Jahren mit einer Leistung von 10 MW soll über den offenen Fernwärmevertrag bis zu 23 Millionen Euro erwirtschaftet werden.
- Stromsteuer liegt in Schweden bei ca. 3,2 Eurocent/kWh und ab 2017 für RZ bei 0,06 Eurocent/kWh. Im Vergleich dazu liegt dieser in Deutschland bei 15 Eurocent/kWh.
- Abwärme des RZ wird an ein angrenzendes Biomasseheizkraftwerk Värtaverket (~250 m Entfernung) verkauft und anschließend veredelt.
- Fortum Värme hat einen Marktplatz für rückgewonnene Wärme und Produktionskapazitäten geschaffen, der die Möglichkeit gibt, langfristige transparente Verträge und offene Preise für den Handel mit überschüssiger Wärme und Kälte anzubieten.
- Wärmeauskopplung halbiert die Energiekosten.



Sonstiges

- Industrielle Kooperation zwischen dem Energieunternehmen Fortum Värme, dem Energieversorgungsunternehmen Ellevio und Elementica

 Bildquelle: [287]; Quellen: [80, 288–290]

Green Hub



Technik

- Nutzung von Meerwasser zur freien Kühlung und Reihe von Wärmepumpen, zur Einspeisung der Wärme ins Fernwärmenetz
- Platz für 1.600 hochdichte Racks mit Leistungsaufnahme von mehr als 25 kW/Rack.

 Schweden

 Stockholm

 2017

 Bahnhof, Fortum Värme

 Bildquelle: [291]; Quellen: [292]

Rosersberg



Technik

- Verteilung der Abwärme an Häuser und Büros im Großraum Stockholm.
- Kühlwassertemperatur 11 °C.



Betriebswirtschaft

- Fortum Värme investiert in neue separate hochmoderne Kühlanlage mit Wärmepumpen neben Ericsson RZ und Nähe des Fernwärmenetzes
- Ericsson nutzt auch Kühlungsservice von Fortum Värme für RZ in Kista, dort liefert Fortum Väre 3 MW Kühlleistung

 Schweden

 Rosersberg

 2017

 Fernwärmenetz

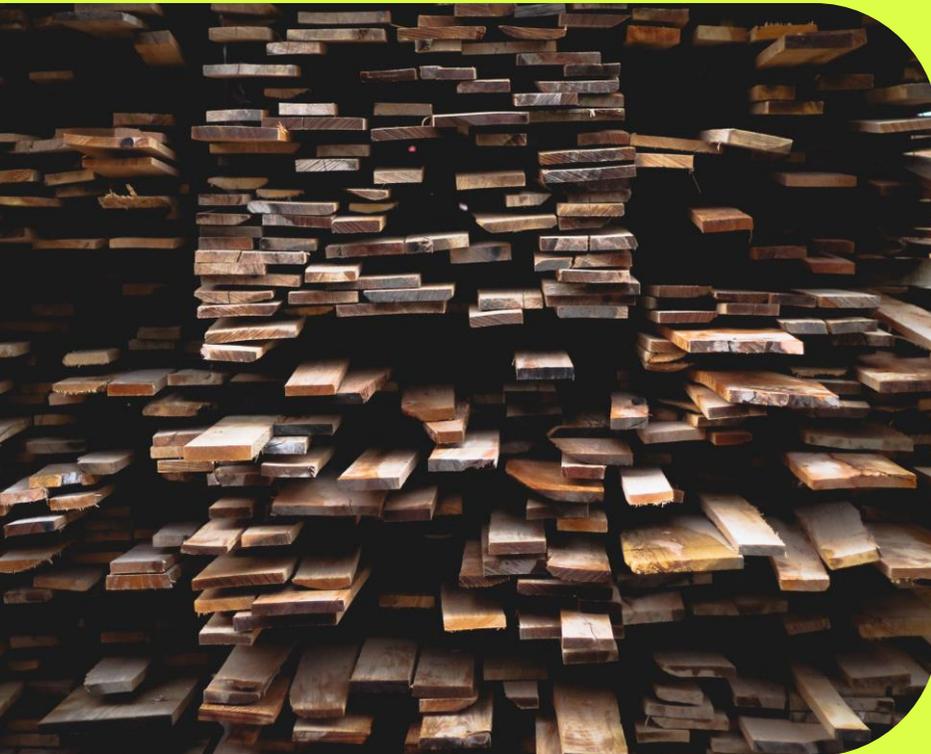
 Wärmepumpen

 Gebäudebeheizung

 Fortum Värme, Ericsson

 Bildquelle: [293]; Quellen: [294]

EcoDataCenter



Technik

- Rechenzentrum mit 2 MW mit PUE = 1,15 und 100 % erneuerbare Energie.
- Maßgeschneidertes Kühlsystem und Wärmeabfuhr in das lokale Nahwärmenetz.
- Wärmeversorgung von Wohn- und Gewerbeimmobilien (ca. 95 % der Stadt) sowie einer lokalen Holzpelletfabrik (für die Holz Trocknung).
- Verknüpfung mit der KWK-Anlage (Verbrennung von Holzabfällen in einer Wärmekraftanlage) der Stadt.



Kommunikation

- Gemeinschaftsprojekt zwischen einem lokalen Energieunternehmen und dem Betreiber des Rechenzentrums.



Sonstiges

- Soll laut Unternehmensangaben das erste klimapositive Rechenzentrum sein.
- Es handelt sich um ein Pilotprojekt. Es wird ein zweites Rechenzentrum auf derselben Basis mit 6 – 7 MW geplant.



Schweden



Falun



Nahwärmenetz



2 MW



Gebäudebeheizung,
Holztrocknung



EcoDataCenter (Falu
Energi & Vatten und
EcoDC AB)

Bildquelle: [295]; Quellen: [296, 297]

Rechenzentrum H&M



Technik

- 1 MW IT-Last.
- RZ wird über Rücklaufleitung im Fernkältesystem gekühlt, Fortum Wärme nimmt überschüssige Wärme ab. System kann auch als Backup genutzt werden, wenn ursprüngliches Kühlsystem nicht zur Verfügung steht.
- Kühlwassertemperatur 6 °C
- Beheizung von 2500 modernen Wohnungen mit Wärmepumpen in einer N+1 Konfiguration.
- 90 % der Haushalte in Stockholm sind an das Fernwärmenetz gekoppelt.

Betriebswirtschaft

- Energieversorger Fortum Wärme verteilt die Wärme in der Stadt durch das Fernwärmenetz.

 Schweden
 Wärmepumpen
 Fernwärmenetz

 Stockholm
 1 MW
 Gebäudebeheizung
 H&M, Fortum Wärme

 Bildquelle: [298]; Quellen: [190, 299–301]

ST06



Technik

- Wärmepumpen stellen heißes Wasser bereit, mit dem Wohnungen in Stockholm beheizt werden.
- Warmwasser mit einer Temperatur von mindestens 65-80 °C wird direkt ins Fernwärmenetz eingespeist
- Mit der überschüssigen Wärme aus den Rechenzentren von Interxion in Stockholm können 10.000 moderne Haushalte in Stockholm beheizt werden.



Betriebswirtschaft

- Fortum liefert kostenlos kaltes Wasser für die Kühlung des RZ.



Sonstiges

- Teil des Stockholm Data Parks.



Schweden



Stockholm



65-80 °C



65-80 °C



Wärmepumpen



Gebäudebeheizung



Fernwärmenetz



Interxion, Fortum,
Stockholm Exergi

Bildquelle: [302]; Quellen: [303, 304]

Rechenzentrum Bahnhof Thule



Technik

- Drei RZ-Hallen mit insgesamt drei Wärmepumpen (Carrier) in Reihenschaltung.
- Wärmesenke ist das Fernwärmenetz.
- Die Gesamtkälteleistung beträgt etwa 1.200 kW, wenn Fernkälte mit 5,5 °C (Kühlwassertemperatur) und Fernwärme mit 68 °C geliefert wird.
- Die Heizleistung entspricht etwa 1.600 kW. Bei Außentemperaturen von bis zu 0 °C werden Temperaturen von 65 °C in der Vorlaufleitung benötigt, bei niedrigeren Außentemperaturen sind höhere Vorlauftemperaturen erforderlich, bis zu 100 °C bei -18 °C Außentemperatur.
- Kühlung funktioniert auch ohne Wärmeauskopplung und passt sich an den Wärmebedarf an.
- Wärmepumpen nutzen im Normalbetrieb Rücklaufleitung des Fernwärmenetzes und kühlen auf gewünschte Temperatur für Nutzung im RZ runter.
- System kann ohne Fernkälte betrieben werden, wenn es zu Unterbrechungen bei Fernkältelieferung kommt
- Bei Außentemperatur von mindestens 20 °C produziert Kälteanlage Kälte mit voller Leistung, überschüssige Kälteenergie wird im Netzsystem den anderen Fernkältekunden zur Verfügung gestellt.
- Bei Außentemperaturen unter 20 °C und Kältebedarf laufen Kältemaschinen mit geringerer Leistung, damit Kältebedarf von Bahnhof Thule gedeckt wird
- Es besteht dauerhafter Bedarf an Wärme in der Stadt.



Betriebswirtschaft

- Preis hängt von den Umgebungsbedingungen und der Nachfrage ab.
- Die überschüssige Wärme der Wärmepumpen im Fernwärmenetz wird hauptsächlich dann genutzt, wenn die Außentemperatur unter 7 °C liegt, was etwa die Hälfte des Jahres der Fall ist.
- Bahnhof hat insgesamt 5,3 Mio. SEK in das Kühlsystem investiert, das drei Wärmepumpen (die auf der Verflüssigerseite der Druckklasse PN16 entsprechen, so dass sie direkt an das Fernwärmeverteilungsnetz angeschlossen werden können), Rohre, Verkabelung, Kontrollsysteme, Datenerfassung und Installation umfasst. Stockholm Exergi hat 2,6 Mio. SEK in die neuen Versorgungsleitungen für Fernwärme und -kälte investiert.



Schweden



Stockholm



Wärmepumpen



68 °C



Fernwärmenetz



Gebäudebeheizung



Fortum, Bahnhof,
Stockholm Exergi

Bildquelle: [305]; Quellen: [190, 306–309]

Rechenzentrum Bahnhof Pionen



Technik

- Ursprünglich wurde das 2007 errichtete RZ konventionell mit einer Klimaanlage gekühlt.
- Nachträgliche Installation von zwei Wärmepumpen, welche in Reihe geschaltet sind und eine Wärmeleitung (67 m lang, DN 125) vom RZ zum Fernwärmenetz von Stockholm Exergi.
- Die Kühlleistung der Wärmepumpen beträgt 694 kW und die Heizleistung 975 kW (COP = 3,47).
- Es erfolgt eine Temperaturregelung auf der „kalten“ und „heißen“ Seite.
- Im Notfall wird die alte Kältemaschine aktiviert.
- Die Wärmepumpen entsprechen auf der Verflüssigerseite der Druckklasse PN16, so dass sie direkt an das Fernwärmeverteilnetz angeschlossen werden können. Im Normalbetrieb beträgt die Wärmeabgabe etwa 600 kW bei einer Temperatur von 68 °C.
- 2x 61XWH0802 AquaForce-Einheiten (<70°C Warmwasser)
- Heizungssteuerung (Carrier Plant System Manager basierte Lösung mit der von AdvanTE3 C entwickelten Steuerungslösung)
- Bereitstellung einer 100-prozentigen Systemredundanz für die Serverkühlung im Rechenzentrum dank des bestehenden wassergekühlten Carrier AquaSnap-Systems (zwei 30RWs), das 2013 installiert wurde und als Backup für das neue System dienen wird;
- Erreichen eines "theoretischen" PUE-Wertes von unter 1,0, wenn das aus der Abwärme erzeugte Warmwasser bei der PUE-Berechnung berücksichtigt würde.
- Überdimensionierung der Anlage, um Erhöhung der Versorgungsleistung und höhere Energiedichte zu ermöglichen.
- Steuerung der Anlage durch Regelung der Temperatur auf der kalten und warmen Seite der Wärmepumpe.
- Bei Ausfällen springt das Reservesystem bestehend aus alten Bahnhof Kältemaschinen an.



Betriebswirtschaft

- Im Jahr 2015 soll über einen Zeitraum von drei Monaten Einnahmen in Höhe von £35K erzielt worden sein.
- Bahnhof hat 3,4 MSEK in das neue Kühlsystem in Pionen investiert, während Stockholm Exergi 1,3 MSEK investiert hat. Darin enthalten sind Kosten für Wärmepumpen, Rohre, Warmwasseranschlüsse, Leitungen, Kontrollsysteme, Isolierung, Installation und eine neue Zuleitung zum bestehenden Fernwärmenetz.
- Verkauf von überschüssiger Wärme über Open District Heating von Stockholm Exergi. Vergütungshöhe an Bahnhof abhängig von Außentemperaturen.



Sonstiges

- Befindet sich in einem stillgelegten Atombunker unter Grundgestein des Vitabergs-Parks in Stockholm

Schweden	Stockholm
67 m	68 °C
Wärmepumpen	Fernwärmenetz
Gebäudebeheizung	Bahnhof, Stockholm Exergi, Fortum Värme
	2014

Bildquelle: [310]; Quellen: [306, 311–315]

Rechenzentrum DigiPlex



Technik

- Weltpremiere, bei der ein bereits in Betrieb befindliches Rechenzentrum mit einer indirekten Luft-Luft-Kühlung ausgestattet wird.
- Wird nachgerüstet, um überschüssige Wärme für das örtliche Fernwärmenetz zu gewinnen.
- DigiPlex liefert ca. 5 MW Wärme.
- Vertrag für die Beheizung von 10.000 modernen Wohnungen.



Betriebswirtschaft

- Ein Ziel von Stockholm Exergi besteht darin, dass 10 % des Wärmebedarfs von Stockholm mit Abwärme aus RZ gedeckt werden soll.
- Nachhaltigkeit ist Teil der DNA von DigiPlex.



Kommunikation

- Demonstrator für die Kompatibilität der Wärmeauskopplung mit der Luftkühlung



Schweden



Stockholm



Gebäudebeheizung



DigiPlex, Stockholm
Exergi

Bildquelle: [316]; Quellen: [317, 318]

Container-Rechenzentrum



Technik

- Zwei 20 Fuß Container (Containerbauweise), in welche etwa 1.600 Nvidia-Grafikkarten eingebaut sind. Die enthaltenen High-End-Server sind für Künstliche Intelligenz (KI-) und High Performance Computing (HPC-) Anwendungen ausgestattet. Insgesamt liegt die Leistung bei 550 kW.
- Nutzung der anfallenden Wärme nach dem Prinzip „Combined Heat and Compute“ wird ein ressourcenschonender IT-Betrieb ermöglicht. Die direkte Wasserkühlung (60/50 °C) erlaubt die Nutzung überschüssiger Wärme im angrenzenden Fernwärmesystem für höchste Nachhaltigkeit. Die Wärme von den IT-Hauptverbrauchern wird an das Wärmenetz ohne die Einbindung von Wärmepumpen übertragen.
- Es ist eine kleine Wärmepumpe für Residuallasten vorhanden.
- Das Rechenzentrum befindet sich auf dem Gelände des biomassegefeuerten Fernheizwerks von Vattenfall in Jordbro südlich von Stockholm. Das Know-how von Vattenfall und die Technologie von Cloud&Heat ermöglichten die Errichtung eines wassergekühlten Rechenzentrums, das während seines Betriebs kein CO₂ emittiert und darüber hinaus direkt in das Wärmenetzwerk von Vattenfall integriert ist, um die Wärme wiederzuverwenden", sagt Dr. Jens Struckmeier, CTO bei Cloud&Heat Technologies.
- Bis zu 86 % Wärmerückgewinnung bei einem PUE von 1,04.



Recht

- Zur Absicherung der erforderlichen Infrastruktur gegenüber unerlaubten Zugriffen wird das Cloud-Angebot durch zusätzliche Security-Mechanismen der Secustack GmbH, ein Cloud&Heat-Tochterunternehmen, ausgestattet.
- Vattenfall stellt die Infrastruktur und den gesicherten Standort zur Verfügung, Cloud&Heat Technologies verantwortet den Betrieb.



Sonstiges

- Ziel des Pilotprojektes ist es, erste Betakunden für das Cloud-Angebot zu gewinnen, die die Infrastruktur testen und so zur Weiterentwicklung des Service beitragen.



Schweden



60 °C



Fernwärmesystem



Direkte Wasserkühlung,
Wärmepumpe



Jordbro



60 °C



550 kW



Gebäudebeheizung



Cloud&Heat
Technologies, Vattenfall

Bildquelle: [319]; Quellen: [320–322]

Datentechnik Moll



Technik

- Es wurden zwei bestehenden Pods mit einer Leistung von 2,2 Megawatt (MW) um zwei weitere mit 2,2 MW Leistung ergänzt. Durch die mittlerweile rund 20 Prozent leistungsfähigeren CPUs lässt sich die Rechenkapazität jetzt mit deutlich weniger Servern realisieren.
- Mit der Erweiterung intensiviert die DTM Group ihre Forschungsaktivitäten rund um die Themen Immersionskühlung und Abwärmenutzung im Rechenzentrum. Insgesamt vier Konzepte zur „Novac“-basierten Immersionskühlung will das Unternehmen im neuen Teil des Rechenzentrums ausführlich testen und zur Serienreife bringen. Auch hybride Konzepte, bei denen lediglich leistungsintensive Komponenten wie CPUs immersionsgekühlt werden und die Netzteile weiterhin eine Luftkühlung nutzen, werden erforscht.
- In Zusammenarbeit mit der Boden Business Agency, dem schwedischen Partner der DTM Group, sollen auf der neu gewonnenen Fläche praktische Nutzungsszenarien aufgebaut werden. Dazu zählt beispielsweise die Zucht von Pflanzen in einem durch die Abwärme temperiertem Gewächshaus, die Trocknung von Holz oder die Aufzucht von temperatursensitiven Futtertieren. Um eine konstante Lufttemperatur zu gewährleisten, muss die Abluft dazu mit einer Airbox aufbereitet werden, welche die Zumischung von Außenluft ermöglicht



Sonstiges

- Das Rechenzentrum arbeitet laut DTM vollständig autonom und wird mit einer KI-gestützten DCIM-Lösung überwacht. Der Strom für den Betrieb des Rechenzentrums ist regenerativ und stammt aus einem in der Nähe gelegenen Wasserkraftwerk.



Schweden



Boden



Immersionenkühlung



4,4 MW



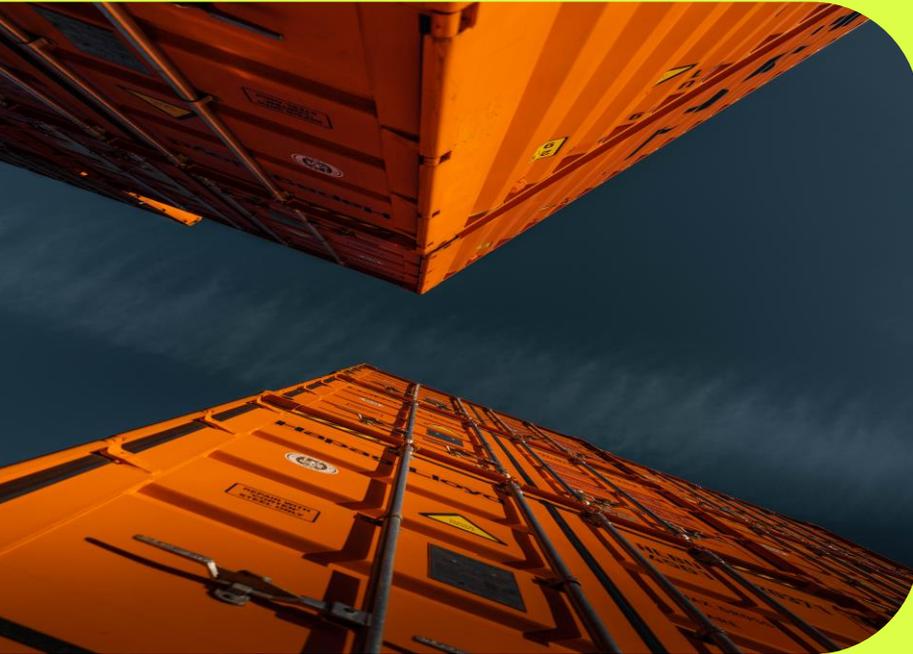
Gewächshaus-
Temperierung,
Holztrocknung, Aufzucht
von temperatursensitiven
Futtertieren



DTM Group, Boden
Business Agency

Bildquelle: [323]; Quellen: [324–326]

Edge-Rechenzentrum



Technik

- Kleines mit Brennstoffzellen betriebenes Rechenzentrum. Am Standort Luleå wurden das Rechenzentrum und die Brennstoffzellen in zwei übereinandergestapelten Containern untergebracht. Im oberen Container befinden sich die mit lokal erzeugtem Biogas (Polargas) betriebenen Brennstoffzellen. Der untere Container beinhaltet eine flüssigkeitsgekühlte Einheit und das Datenzentrum, das durch eine unterbrechungsfreie Stromversorgung unterstützt wird.
- Das System funktioniert mit Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC, Fab. SOLIDpower), die aus Biogas Strom erzeugen. Sie arbeiten bei hohen Temperaturen von etwa 600 °C und bieten sich damit als besonders effiziente Variante der Kraft-Wärme-Kopplungssysteme an, da die Abwärme gut zum Heizen und Kühlen genutzt werden kann.
- Es gibt einen kleineren Wärmerückgewinnungskreislauf innerhalb der beiden Container. Die vom Submer-Flüssigkeitstauchkühltank innerhalb des Rechenzentrumcontainers erzeugte Wärme dient dem Vorwärmen der in die Brennstoffzellen eintretenden Luft.
- Die Wasserrücklauftemperatur von der Kühlungsverteilereinheit in der Submer-Anlage beträgt etwa 50°C. Die Brennstoffzellen verbrauchen Luft mit einer optimalen Temperatur von 35°C, damit kann die Außenluft (-25°C bis 25°C) durch die Wärme aus dem Submer-System erwärmt werden.
- Die KWK soll Wärme mit einer Temperatur von 90°C auskoppeln und im Winter bei -20°C Außentemperatur wird die Vorlauftemperatur auf 110°C erhöht.



Recht

- RISE ist ein Partner des EU-finanzierten Projekts WEDISTRICKT, das vorführen soll, dass mithilfe einer Kombination aus erneuerbaren Energiequellen und Lösungen zur Wärmerückgewinnung Fernwärme- und Fernkältenetze aufgebaut werden können.

 Schweden

 50 °C

 Wärmerückgewinnungskreislauf

 Flüssigkeitskühlung, Festoxid-Brennstoffzellen

 Luleå

 35 °C

 Luftvorwärmung Brennstoffzelle

 RISE (Research Institute of Sweden)

 Bildquelle: [327]; Quellen: [328, 329]

Kista



Technik

- 4.800 m² RZ von Interxion.
- RZ wird mit gekühltem Wasser (14°C) versorgt und gibt Wasser mit ca. 24 °C wieder ab
- Kühlungsdienst von Fortum Värme wird genutzt.
- Kaltwasserkühlung und Wärmerückgewinnung wird über Anlage von Fortum Värme in Kiste/Akala und über das Fernkältenetz geliefert
- Wärmetauscher, Mischer und Umwälzpumpe am Standort Interxion
- Abwärme wird in große Wärmepumpen im Fortum Värme Werk geleitet und dann ans Fernwärmenetz weitergeleitet

 Schweden

 24 °C

 Wärmetauscher,
Wärmepumpen,
Umwälzpumpen

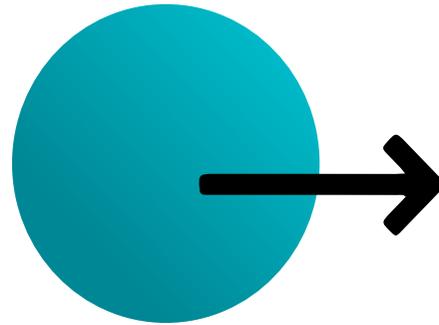
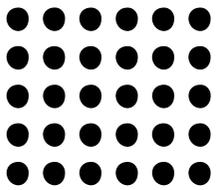
 Kista

 Gebäudebeheizung

 Fernkälte- &
Fernwärmenetz

 interxion, Fortum Värme

 Bildquelle: [330]; Quellen: [331]



VEREINIGTE STAATEN VON AMERIKA



National Renewable Energy Laboratory HPC Data Center



Technik

- 900 m² großes Rechenzentrum (HPC „Kestrel“ und „Eagle“) mit einer Leistung von 10 MW im Vollausbau (LEED Platin Zertifikat mit PUE ≤ 1,04).
- Es sind keine mechanischen Kühlmaschinen vorhanden, wodurch die teuren und ineffizienten Kältemaschinen eliminiert werden. Direkte Flüssigkeitskühlung auf Komponentenebene (Leistungsdichte der Racks: zwischen 60 und 80 kW/Rack) mit einer Kühlwasserversorgung mit 24 °C, welche sich über die Racks auf 30 °C bis 40 °C erwärmt. Die anfallende Abwärme wird ausgekoppelt und zur Beheizung von Büros und Laborräumen verwendet. Mindestens 95 % der Rack-Abwärme wird direkt an die Flüssigkeit abgegeben.
- Die ausgekoppelte Wärme wird in den Brauchwarmwasserkreislauf des Gebäudes eingespeist und versorgt folgende Systeme: Aktive Kühlbalken, Klimageräte, Schneeschmelzschleife und den Fernwärmekreislauf. Wenn zusätzliche Wärme für das Gebäude benötigt wird, kann der Brauchwarmwasserkreislauf Wärme aus dem Heizkreislauf des Campus beziehen.
- Zu den wichtigsten Auslegungsparametern für das flüssigkeitsgekühlte NREL-Rechenzentrum gehören die IT-Kühlwasserversorgung und der IT-Rücklauf, da die ESIF am heißesten Tag des Jahres mit Kühltürmen nur 24 °C (ASHRAE "W2"-Klasse) erzeugen kann und das Gebäude am kältesten Tag des Jahres mindestens 35 °C zur Beheizung der Anlage benötigt.



Betriebswirtschaft

- Im Vergleich zu einem typischen Rechenzentrum sind die Investitionskosten und Betriebsausgaben geringer.



Kommunikation

- NREL wurde mit dem Data Center Dynamics Data Center Eco-Sustainability Award 2018 für seinen bahnbrechenden Ansatz zur Effizienz von Rechenzentren ausgezeichnet.



USA



Golden, Colorado



30-40 °C



10 MW



im Gebäude



Gebäudebeheizung



Brauchwarmwasser-
kreislauf



U.S. Department of Energy
Office of Energy Efficiency
and Renewable Energy,
Alliance for Sustainable
Energy LLC



Direkte Flüssigkeits-
kühlung, Wärmetauscher,
Schneeschmelzschleife,
aktive Kühlbalken

Bildquelle: [332]; Quellen: [333–343]

Westin Building Exchange



Technik

- Das Wärmerückgewinnungssystem im Westin Building Exchange liefert bis zu 5 MW Abwärme aus dem Rechenzentrum an einen Amazon-Campus, wodurch 75 % der Energie eingespart werden. Fläche von 38.000 m² wird beheizt.
- Das Wärmenutzungskonzept basiert auf einem EcoDistrict-Ansatz mit unterirdischen Rohren, Wärmetauschern, Kältemaschinen mit Wärmerückgewinnung und Wasserspeichertanks.
- Die Abwärme des Rechenzentrums wird über den Kühlwasserkreislauf aufgenommen und über Rohre zum Amazon-Campus geleitet, wo Kältemaschine mit Wärmerückgewinnung die Wärme nutzt, um den Firmencampus zu heizen. Abgekühltes Wasser wird zurück zum Westin-Gebäude geleitet.
- Vor dem EcoDistrict leitete das Westin Building überschüssige Wärme in die Atmosphäre ab.
- Das Rechenzentrum nutzt den virtuellen Kühlturm, um die Wärme abzuführen und den Wasserverbrauch und den Einsatz von Kühlkompressoren zu reduzieren.
- Über 20 Jahre sollen durch das Wärmerückgewinnungssystem im Westin Building Exchange 180 Mio. kWh Energie eingespart und 650 Tonnen CO₂-Emissionen vermieden werden.



Recht

- Größtes gemeinsames Energiesystem der USA, das Grundstücksgrenzen überschreitet. Das Rechenzentrum und der Amazon Campus befinden sich in zwei unterschiedlichen Gebäuden, welche durch eine Straße getrennt sind.
- Edo betreibt den Seattle EcoDistrict, um die gemeinsamen Energiemöglichkeiten und die Gebäudeleistung über zu optimieren.
- Die Stadt Seattle war ein wichtiger Partner bei dem EcoDistrict-Projekt und half dabei den Weg für die Warm- und Kaltwasserleitungen freizumachen, die wie ein Standardversorgungseinrichtung unter der Straße verlaufen.



Betriebswirtschaft

- Jährliche Energie- und Betriebseinsparungen in Höhe von 240.000 \$.
- Die Bemühungen führen zu greifbaren Energie- und Kosteneinsparungen für alle Beteiligten - die Westin Building Exchange, Amazon, die Eigentümer der EcoDistrict-Anlagen und das lokale Versorgungsunternehmen.



USA



Seattle, Washington



gegenüberliegend



Gebäudebeheizung



Wasserleitungen



Amazon, Edo, Westin
Building Exchange



Wärmetauscher,
Kältemaschinen mit
Wärmerückgewinnung

Bildquelle: [344]; Quellen: [345]

Wyoming Hyperscale White Box



-  USA
-  Immersionskühlung
-  gegenüberliegend
-  Geothermische Grundwasserleitung
-  Wyoming
-  130 MW
-  Indoor-Farming
-  Kay Thornock & Sons



Technik

- IT-Anschlussleistung beträgt insgesamt 130 MW. Der 1. Bauabschnitt umfasst 30 MW.
- Der erste Bauabschnitt umfasst rund 235.000 Quadratmeter. Insgesamt gehören rund 2,6 Millionen Quadratmeter zum Projekt.
- Das gesamte Rechenzentrum wird von Anfang an auf Immersionskühlung mit Submer-Systemen ausgelegt. So lässt sich fast die gesamte Abwärme wiederverwerten. Mit der Immersionskühlung wird eine Leistungsdichte von 80 kW/Rack erzielt.
- Tauchkühlung für extreme Dichte, Effizienz und Nachhaltigkeit.
- Geothermische Grundwasserleitung für Wärmeaustausch mit Hilfe von Aquifer.
- Heißes Wasser wird zur Indoor-Farm (ein weiteres Tochterunternehmen des Thornock-Clans) weitergeleitet und dann in Grundwasserleiter zurückgeführt.
- Der Standort befindet sich in den unwirtlichen Bergen von Wyoming, mit insgesamt 500 MW regenerative elektrische Leistung rundum.
- Sie besteht aus fünf Windparks und einem 58-MW-Solarpark, die die Anlage mit Betriebsstrom versorgen werden. Sie wurden unabhängig von dem Rechenzentrumspark gebaut und stören in der Einöde niemanden. Außerdem nutzt der Rechenzentrumspark Geothermie.
- PUE-Wert von 1,08 und Wassernutzungseffizienz von 0,0 wird erwartet, bei Ausfallsicherheitsstufe 3.



Betriebswirtschaft

- Kunden, die besonders hochkalorische Abwärme erzeugen, bekommen eine Gutschrift



Kommunikation

- Nachverfolgung der CO₂-Belastung.
- Weitere RZ-Projekte geplant in Tuscon und Phoenix.
- Endziel: regeneratives Rechenzentrum.



Sonstiges

- Standortwahl wegen Glasfaserausbaumöglichkeiten, Knotenpunkt für Rechenzentren, guter Zugang zu erneuerbaren Energien aus nahe gelegenen Wind- und Solarparks.
- Noch in Bauphase.

 Bildquelle: [346]; Quellen: [347, 348]

Rechenzentrum Syracuse University



Technik

- Gasbetriebene Mikroturbinen zur Stromerzeugung vor Ort, deren 307 °C heiße Abgase durch Wärmetauscher für Wassererhitzung genutzt werden.
- Weiterleitung in nahegelegenes Bürogebäude durch Rohrleitungen und Wiederverwendung im Heizsystem des Gebäudes.



USA



New York



307 °C



nahegelegen



Rohrleitungen



Gebäudebeheizung



Wärmetauscher,
Mikroturbinen



IBM, Syracuse University

Bildquelle: [349]; Quellen: [197, 328, 329]

South Bend Greenhouse and Botanical Gardens



Technik

- Rack mit HPC-Knoten (High Performance Computing) in der Nähe eines kommunales Gewächshaus.
- Beheizung von Blumen und Pflanzen in der Einrichtung (South Bend Greenhouse and Botanical Garden).



USA



South Bend, Indiana



Im Gewächshaus

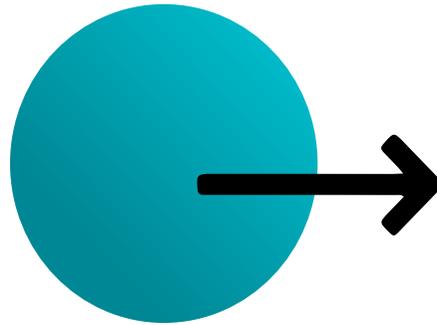
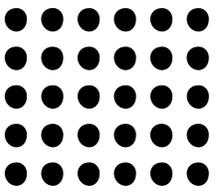


Gewächshausbeheizung



Notre Dame Center for
Research Computing,
South Bend Greenhouse
and Botanical Garden

Bildquelle: [350]; Quellen: [197]



KANADA

QScale Q01 Campus



Kanada



Quebec



2024



24 MW



Landwirtschaftliche
Nutzung und
Gebäudebeheizung



QScale, Energir
Development



Technik

- QScale ist speziell darauf ausgelegt, 100 % der Abwärme zurückzugewinnen
- RZ spezialisiert sich auf künstliche Intelligenz
- Ausbauziel liegt bei 98 MW IT-Leistung.
- 99,5 % Nutzung erneuerbarer Energien für Betrieb
- Abwärmennutzung auch für landwirtschaftliche Zwecke
- Errichtung von Gewächshäusern auf dem Gelände, um überschüssige Wärme für Landwirtschaft zu nutzen
- Potential zur Produktion von 2.880 Tonnen Himbeeren und 83.200 Tonnen Tomaten
- Abwärmennutzung im Sommer zur Trocknung von Getreide und Revitalisierung umliegender landwirtschaftlicher Flächen



Recht

- Unterzeichnung von Absichtserklärung zur Wiederverwendung der Abwärme des RZ



Betriebswirtschaft

- QScale, ein Anbieter von Hochleistungsrechenzentren, wird die Abwärme seiner Anlagen zur Verfügung stellen, während Energir die Umsetzung und den Betrieb des Projekts übernimmt.
- Kostenlose Bereitstellung der Wärmeenergie
- Planung einer zweiten Anlage im Ecoparc de Saint-Bruo-de-Montarville, Montreal



Kommunikation

- Qscale hat im September letzten Jahres den ersten Spatenstich für ein zweites Rechenzentrumsgebäude auf seinem Campus in Levis gesetzt. Mit dieser zweiten von acht Phasen wird sich die Gesamtkapazität auf 24 MW erhöhen, mit einem Ausbauziel von 98 MW.



Sonstiges

- Der Campus wird zu 99,5 Prozent aus erneuerbaren Energien gespeist und liegt in der Nähe von Landwirtschafts- und Industriegebieten, was ihn zu einem logischen Standort für eine Vielzahl von Nutzern macht, die von der Wärme profitieren können.

Bildquelle: [351], Quellen: [140, 352–354]

Rechenzentrum Winnipeg

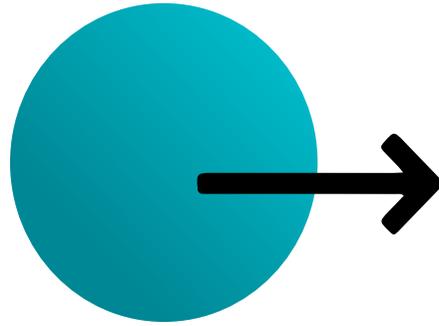
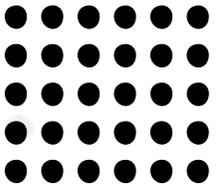


Technik

- Abwärme wird in die nahegelegenen Büros einer lokalen Zeitung weitergeleitet.
- Das Unternehmen verlegte einen zweiten Kanal aus dem Abluftplenum in den Ansaugkanal der Redaktion im Obergeschoss. Der Prozess wird durch pneumatische Leitbleche gesteuert, die sich je nach den Messwerten von Thermometern in den Kanälen öffnen und schließen.

-  Kanada
-  Pneumatische Leitbleche
-  Nahe gelegen
-  Winnipeg
-  Gebäudebeheizung
-  Quebecor

 Bildquelle: [355]; Quellen: [197]



JAPAN

White Data Center Project (WDC)



-  Japan
-  2021
-  33 °C
-  Schneeschmelzwasser, Wasserbecken
-  Wasserleitung
-  Bibai
-  40 kVA
-  27 °C
-  Prozesswärme - Aalzucht
-  unmittelbar beim RZ
-  White Data Center



Technik

- Ein Rechenzentrum im Norden der Insel Hokkaido wird mit Schneeschmelzwasser gekühlt und nutzt seine Abwärme, um eine Aalfarm zu betreiben. Auf dem Gelände des Rechenzentrums wird im Winter ein Schneehaufen aufgeschüttet, der das Rechenzentrum mit Hilfe von Frostschutzmittel kühlt, das in einer Leitung vom Haufen zum Rechenzentrum zirkuliert. Der Schneehaufen wird im Sommer oder zu wärmeren Zeit mit Isoliermaterialien (Holzspäne und Erde) bedeckt, sodass er bis zu einem Jahr bestehen bleibt. Dadurch können 20 % der Energiekosten des Rechenzentrums eingespart werden.
- Derzeit werden 20 Serverschränke betrieben, aber es ist bereits geplant, bis Ende 2022 ein zweites Rechenzentrum mit 200 Serverschränken zu eröffnen. Die Racks des haben eine Leistungsdichte von 2 kVA, während sie beim neuen RZ 5 kVA betragen sollen. Damit ergibt sich eine IT-Leistung von 40 kVA bzw. 1000 kVA. Die Temperatur im RZ wird auf etwa 25 °C gehalten.
- Nach der Kühlung des Rechenzentrums hat das Wasser eine Temperatur von 33 °C, die nach Angaben des Unternehmens ideal für die Landwirtschaft und Aquakultur und auch die Aalzucht sind. Das WDC hat hierzu 1700 Glasaale (junge Aale) importiert und wird sie in Tanks im Rechenzentrum züchten. Während seiner Zeit als Forschungsprojekt untersuchte das WDC verschiedene landwirtschaftliche Optionen für diese Wärme, darunter Abalone, Seeigel, japanischer Senfspinat, Kirschtomaten und andere Produkte.



Betriebswirtschaft

- In Zusammenarbeit mit der Stadt Bibai werden seit November 2021 6.000 Aale in erwärmten Schmelzwassern gezüchtet. Bibai ist häufig von starken Schneefällen betroffen und arbeitet mit dem WDC an der Möglichkeit, den von den Schneepflügen der Stadt gesammelten Schnee als vorgekühltes Wasser für die Server und als Süßwasserquelle für die Aale zu nutzen.
- Die Becken werden das ganze Jahr über auf 27 °C gehalten. WDC rechnet mit der Verschiffung von etwa 300.000 Aalen, die sieben Monate lang vor Ort gezüchtet werden, bis sie ein Handelsgewicht von 250 g erreichen. Aale aus Zuchtbetrieben werden im Großhandel für über 100 Dollar pro Kilo verkauft



Kommunikation

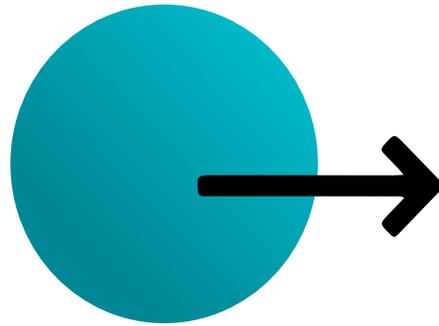
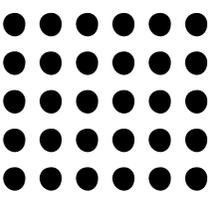
- Im Jahr 2010 führte Bibai ein Projekt durch, das zeigte, dass Server mit Schmelzwasser gekühlt werden können. Von 2014 bis 2019 führte die Stadt das Projekt "White Data Center" durch, das von der japanischen Forschungsorganisation NEDO unterstützt wurde, um zu zeigen, dass Schnee im Winter gelagert und das ganze Jahr über zur Kühlung eines Rechenzentrums verwendet werden kann.



Sonstiges

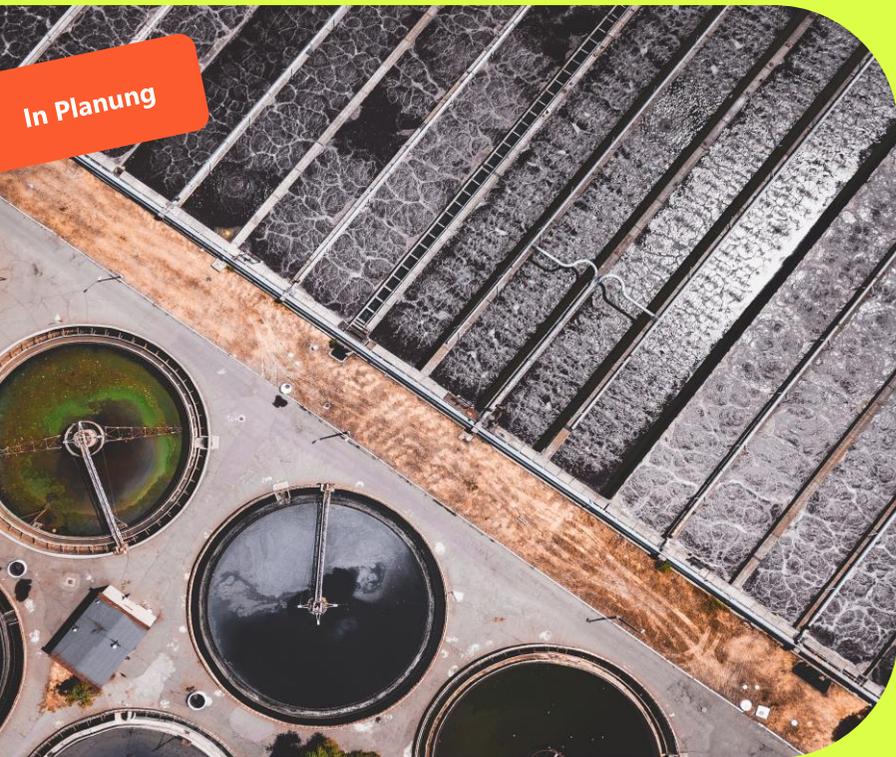
- Die Umsetzung dieser Methode an anderen Standorten wird schwer, da es wenige Orte gibt, die den nötigen Bedingungen gerecht werden.

 Bildquelle: [356]; Quellen: [357–364]



SÜDKOREA

Tomorrow Water Project



-  Südkorea
-  Seoul, Jungnang
-  Auf einem Grundstück
-  Prozesswärme - Wasseraufbereitung
-  Gemeinsame Wasser- und Energieströme
-  Tomorrow Water, Arcadis

Technik

- Co-Flow Idee: Kläranlagen, Biogasanlagen und Rechenzentren an einem Ort vereinen und mithilfe von KI die Effizienz des gesamten Prozesses über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg steigern.

Recht

- Nach Prüfung der Patente plant Arcadis eine Zusammenarbeit bei möglichen Projekten in den USA.

Betriebswirtschaft

- Errichtung von Rechenzentren auf demselben Grundstück wie Kläranlagen, so dass beide Wasser- und Energieströme gemeinsam nutzen können.
- Rechenzentrum verwendet aufbereitetes Wasser.
- Kläranlage nutzt Abwärme des Rechenzentrums.
- BKT, hat in Jungnang, Seoul, Südkorea, eine Abwasserrückgewinnungsanlage (WWRF) gebaut, in der das Proteus-Biofiltrationssystem von Tomorrow anstelle von Absetzbecken eingesetzt wird.

Kommunikation

- Nach Angaben von Tomorrow Water könnten Kläranlagen viel kleiner gebaut werden, wenn große Klärbecken durch das Biofiltrationssystem Proteus ersetzt würden. Diese Anlagen befinden sich in der Regel in städtischen Gebieten, die für Edge-Rechenzentren attraktiv sind, die laut Tomorrow am selben Standort angesiedelt werden könnten, wo sie Abwärme zur Senkung des Energiebedarfs der Wasseraufbereitungssysteme beitragen können, indem sie die biologischen Systeme erwärmen und zur Trocknung des Schlammes beitragen.
- "Die Zusammenlegung von Rechenzentren und Kläranlagen wird dazu beitragen, die Abwassereinleitungen zu reduzieren, den Trinkwasserbedarf auszugleichen und den wasserarmen Regionen dreifachen Nutzen zu bieten. Wir freuen uns, mit Tomorrow Water zusammenzuarbeiten, um zu erforschen, wie das Co-Flow-Verfahren gemeinsame Projekte zur Verbesserung der Lebensqualität ermöglichen kann", sagte Ufuk Erdal, Senior Vice President und Direktor für Wasserwiederverwendung bei Arcadis.

 Bildquelle: [365]; Quellen: [366–368]

Quellenverzeichnis

Literatur

- [2] HUAWEI TECHNOLOGIES Deutschland GmbH, *Wie wärmeliebende Algen von energiehungrigen Servern leben*. <https://www.huawei.com/de/deu/magazin/digitale-infrastruktur/gruenes-rechenzentrum> (Aufgerufen 10. Januar 2023).
- [3] M. Jordanova-Duda, *Green-IT: Wie Rechenzentren nachhaltiger werden können*. <https://www.dw.com/de/rechenzentren-effizienter-machen/a-54067587> (Aufgerufen 24. November 2022).
- [4] ReUseHeat, *Brunswick*. <https://www.reuseheat.eu/brunswick/> (Aufgerufen 30. Januar 2023).
- [5] RINA-C, *D3.1 Best practices: Transfer of best practices and lessons learnt from urban waste heat recovery investments*. <https://www.reuseheat.eu/wp-content/uploads/2018/10/D3.1-Best-practices.pdf> (Aufgerufen 30. Januar 2023).
- [6] J. Stachura, *VW-Rechenzentrum nimmt den Betrieb auf*. <https://www.braunschweiger-zeitung.de/braunschweig/article215911797/VW-Rechenzentrum-nimmt-den-Betrieb-auf.html> (Aufgerufen 24. November 2022).
- [7] Veolia Deutschland GmbH, *In Braunschweig, Waste Heat is not secondary*. <https://www.planet.veolia.com/en/waste-energy-data-centers-braunschweig-germany> (Aufgerufen 24. November 2022).
- [8] Veolia Deutschland GmbH, *Reuse heat: Energie nutzen, wo sie anfällt*. <https://www.veolutions.veolia.de/reuseheat-energie-nutzen-wo-sie-anfaellt> (Aufgerufen 24. November 2022).
- [9] Volkswagen Financial Services AG, *Umwelt: Wir übernehmen ökologische Verantwortung – wir leisten einen Beitrag zum Erhalt und Schutz unserer Umwelt*. <https://www.vwfs.com/corporate-responsibility/environment.html> (Aufgerufen 24. November 2022).
- [11] U. Ostler, *Cloud&Heat übernimmt ehemaliges Rechenzentrum er EZB in Frankfurt*. <https://www.datacenter-insider.de/cloudheat-uebernimmt-ehemaliges-rechenzentrum-der-ezb-in-frankfurt-a-613373/> (Aufgerufen 30. Januar 2023).
- [12] C. I. Rittel, *Klimakollege Computer*. <https://www.fr.de/frankfurt/klimakollege-computer-12640332.html> (Aufgerufen 30. Januar 2023).
- [13] Netzpalaver, *Cloud&Heat eröffnet grünes Rechenzentrum in der ehemaligen EZB in Frankfurt*. <https://netzpalaver.de/2017/12/10/cloudheat-eroeffnet-ihr-gruenes-rechenzentrum-in-der-ehemaligen-ezb-in-frankfurt/> (Aufgerufen 30. Januar 2023).
- [14] „Open for All.: Power to data - data to heat“. <https://drive.google.com/file/d/1TLUX1hSPj80qSw-4hZR6Dxm1r8ixuHfK/view>. (Aufgerufen: 30. Januar 2023).
- [15] S. Höhne, *Wenn der Serverraum das ganze Bürogebäude heizt*. <https://www.businessinsider.de/gruenderszene/technologie/cloud-heat-server-heizung/> (Aufgerufen 30. Januar 2023).
- [17] Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart, *HPE Apollo (Hawk)*. <https://www.hlrs.de/de/loesungen/systeme/hpe-apollo-hawk> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [18] H. J. Reiter, „Nutzung der Abwärme des Höchstleistungsrechenzentrums an der Universität Stuttgart (HLRS)“, 30. Juni 2022. https://www.landtag-bw.de/files/live/sites/LTBW/files/dokumente/WP17/Drucksachen/2000/17_2804_D.pdf. (Aufgerufen: 22. März 2023).
- [19] C. M. Williams und E. Gedenk, „2021 Jahresbericht“, Stuttgart, 2022. https://www.hlrs.de/fileadmin/about/Annual_Report/HLRS-Annual_Report_2021_de.pdf.

- [20] N. Conrad, „Nachhaltigkeit im Rechenzentrum“, Stuttgart, 19. Mai 2021. https://hochschule-n-bw.de/wp-content/uploads/2021/05/2021-05-12-Nachhaltigkeit_im_RZ.pdf. (Aufgerufen: 22. März 2023).
- [21] N. Conrad und M. Resch, „Nachhaltigkeit und Abwärmenutzung an HPC-Zentren“, 2021. <https://dl.gi.de/bitstream/handle/20.500.12116/37712/E1-3.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. (Aufgerufen: 22. März 2023).
- [22] M. Drexelius und D. Turek, „Machbarkeitsstudie zur Abwärmenutzung des HLRS“, Stuttgart, Mai 2019.
- [24] K. Schinarakis, *Neuer Supercomputer für das KIT*. https://www.kit.edu/kit/pi_2020_035_neuer-supercomputer-fur-das-kit.php (Aufgerufen 20. März 2023).
- [25] M. Mantel, *Effizienz bei HPC: Deutscher Supercomputer HoreKa wird diese Woche eingeweiht*. <https://www.heise.de/news/Deutscher-Supercomputer-HoreKa-wird-diese-Woche-eingeweiht-6147516.html> (Aufgerufen 20. März 2023).
- [26] A. Gölz, *KIT weiht Supercomputer HoreKa ein*. <https://industrie.de/technik/kit-weiht-supercomputer-horeka-ein/> (Aufgerufen 20. März 2023).
- [28] Leibniz-Rechenzentrum der Bayrische Akademie der Wissenschaften, Hg., „Jahresbericht 2011“, Garching, Juni 2012. <https://www.lrz.de/wir/berichte/JP/JBer2011.pdf>. (Aufgerufen: 20. März 2023).
- [29] U. Ostler, *Das Leibniz Rechenzentrum kühlt mit Rechnerabwärme*. <https://www.datacenter-insider.de/das-leibniz-rechenzentrum-kuehlt-mit-rechnerabwaerme-a-519944/> (Aufgerufen 20. März 2023).
- [30] L. Palm, „CoolMUC-3“ *Neuer energieeffizienter Hochleistungsrechner am LRZ*. <https://badw.de/die-akademie/presse/pressemitteilungen/pm-einzelartikel/detail/coolmuc-3-neuer-energieeffizienter-hochleistungsrechner-am-lrz.html> (Aufgerufen 20. März 2023).
- [31] Fahrenheit GmbH, *Höchstleistungsrechner kühlt sich selbst*. <https://fahrenheit.cool/hoechstleistungsrechner-kuehlt-sich-selbst/> (Aufgerufen 20. März 2023).
- [32] Franka.
- [33] F. Kretschmer, E-Mail, Jan. 2023.
- [35] U. Ostler, *Wo ein Rechenzentrum CO₂-absorbiert, wachsen Algen*. <https://www.datacenter-insider.de/wo-ein-rechenzentrum-co2-absorbiert-wachsen-algen-a-966555/> (Aufgerufen 20. März 2023).
- [36] U. Ostler, *Wilfried Ritter: Die Vision eines CO₂-absorbierenden Rechenzentrums wird wahr*. <https://www.datacenter-insider.de/wilfried-ritter-die-vision-eines-co2-absorbierenden-rechenzentrums-wird-wahr-a-967010/> (Aufgerufen 20. März 2023).
- [37] HUAWEI TECHNOLOGIES Deutschland GmbH, *Wie wärmeliebende Algen von energiehungrigen Servern leben*. <https://www.huawei.com/de/deu/magazin/digitale-infrastruktur/gruenes-rechenzentrum> (Aufgerufen 20. März 2023).
- [39] M. Offermann, B. von Manteuffel, J. Blume und D. Kühler, „Klimaschonende Klimatisierung (Heizen und Kühlen) mit natürlichen Kältemitteln – Konzepte für Nichtwohngebäude mit Serverräumen/Rechenzentren“, Dessau-Roßlau, März 2016. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_18_2016_klimaschonende_klimatisierung_0.pdf. (Aufgerufen: 20. März 2023).
- [40] S. Koschinsky, *Universität Greifswald, Neubau Rechenzentrum*. <https://www.sbl-mv.de/universit%c3%a4t-greifswald-neubau-rechenzentrum+2400+1025657> (Aufgerufen 20. März 2023).
- [42] pv magazine group GmbH & Co. KG, *Mainova baut klimaschonendes Rechenzentrum in Frankfurt-Seckbach mit hohen Standards*. <https://www.pv-magazine.de/unternehmensmeldungen/mainova-baut-klimaschonendes-rechenzentrum-in-frankfurt-seckbach-mit-hohen-standards/> (Aufgerufen 20. März 2023).

- [43] Vogel IT-Medien GmbH, *Mainova-Datacenter versorgt Kulturzentrum mit Wärme*. <https://www.datacenter-insider.de/mainova-datacenter-versorgt-kulturzentrum-mit-waerme-a-297e6636da9b3b7032732fbc48ef5a2a/> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [44] U. Ostler, *Mainova Webhouse plant ersten Rechenzentrums-Campus*. <https://www.datacenter-insider.de/mainova-webhouse-plant-ersten-rechenzentrums-campus-a-1070140/> (Aufgerufen 20. März 2023).
- [45] Mainova AG, *Mainova WebHouse plant ersten Rechenzentrums-Campus und komplettiert Geschäftsführung*. <https://www.mainova.de/de/ihre-mainova/presse-und-politik/pressemitteilungen/2021/mainova-webhouse-plant-ersten-rechenzentrums-campus-und-komplettiert-geschaeftsfuehrung-83260> (Aufgerufen 20. März 2023).
- [46] Mainova AG, *Frankfurter Batschkapp profitiert von Abwärmenutzung aus Mainova-Rechenzentrum*. <https://www.mainova.de/de/ihre-mainova/presse-und-politik/pressemitteilungen/2023/frankfurter-batschkapp-profitiert-von-abwaermenutzung-aus-mainova-rechenzentrum-117368> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [48] B. Wiesneth, *Grüne Rechenzentren statt heißer Luft*. <https://www.dreso.com/de/unternehmen/presse/presseinformationen/details/gruene-rechenzentren-statt-heisser-luft> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [49] M. Franke, *Die Wärme der Herzkammern des World Wide Webs: Grüne Rechenzentren*. <https://www.ingenieurbau-online.de/fachartikel/artikeldetail/die-waerme-der-herzkammern-des-world-wide-webs> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [50] energate GmbH, *"Abwärme aus Rechenzentren besser nutzen"*. <https://www.energate-messenger.de/news/203385/abwaerme-aus-rechenzentren-besser-nutzen> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [53] U. Schulz und J. Herrmann, *Innovatives Wärmekonzept für Frankfurter Wohnquartier "Westville" vorgestellt*. <https://www.instone.de/news/details/innovatives-waermekonzept-fuer-frankfurter-wohnquartier-westville-vorgestellt> (Aufgerufen 24. November 2022).
- [54] C. I. Rittel, *Frankfurt: Rechenzentrum versorgt Neubauquartier Westville mit Wärme*. <https://www.fr.de/frankfurt/frankfurt-die-waerme-von-nebenan-90850547.html> (Aufgerufen 24. November 2022).
- [55] vedec – Verband für Energiedienstleistungen, Effizienz und Contracting e.V., *Abwärme aus Rechenzentrum beheizt zukünftig neues Quartier "Westville"*. <https://vedec.org/projekt/abwaerme-aus-rechenzentrum-beheizt-zukuenftig-neues-quartier-westville/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [56] B. Waldhauser und B. Pfister, „Digitalisierung, Rechenzentren und Nachhaltigkeit – Wie passt das zusammen?“, 29. Juni 2021. (Aufgerufen: 24. November 2022).
- [57] B. Waldhauser, *DC Waste Heat for neighborhood „Westville“ - Insights into the project*. https://drive.google.com/file/d/1Aisd3IeU79h__trNnpJS5A9Ac6TN2sU/view (Aufgerufen 24. November 2022).
- [58] BCC Business Communications Consulting GmbH, *Das Bauprojekt*. <https://baustelle-westville.de/das-bauprojekt/> (Aufgerufen 24. November 2022).
- [59] aam2core Holding AG, *FRANKY – DAS NEUE WOHNQUARTIER IM GALLUS*. <https://franky-quartier.de/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [60] S. Fisher, *Data Centers Leverage Cooling to Heat Homes*. <https://www.datacenterknowledge.com/power-and-cooling/data-centers-leverage-cooling-heat-homes> (Aufgerufen 19. Mai 2023).
- [61] D. Müller und U. Ostler, *RZ-Abwärme versorgt 400 Wohnungen*. <https://www.datacenter-insider.de/rz-abwaerme-versorgt-400-wohnungen-a-816813/> (Aufgerufen 24. November 2022).
- [62] H. Lutz und U. Ostler, *Das Leuchtturmprojekt Westville soll Frankfurter Energiebedarf senken*. <https://www.datacenter-insider.de/das-leuchtturmprojekt-westville-soll-frankfurter-energiebedarf-senken-a-1032012/> (Aufgerufen 24. November 2022).
- [64] Vogel IT-Medien GmbH, *OVHcloud baut in Limburg ein neues Datacenter*. <https://www.datacenter-insider.de/ovhcloud-baut-in-limburg-ein-neues-datacenter-a-1108410/> (Aufgerufen 22. März 2023).

- [65] G. Voss, *OVHcloud baut neues Data Center in Limburg*. <https://www.iavcworld.de/cloud-computing/7882-ovhcloud-baut-neues-data-center-in-limburg.html> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [66] OVHcloud, *OVHcloud baut neues Data Center in Limburg*. <https://corporate.ovhcloud.com/de/newdatacentergermany/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [67] A. Chehade, *Water cooling: from innovation to disruption – Part II*. <https://blog.ovhcloud.com/water-cooling-from-innovation-to-disruption-part-ii/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [68] S. Narloch, *Drittes Rechenzentrum in Limburg eröffnet*. <https://www.connect-professional.de/datacenter-netzwerke/drittes-rechenzentrum-in-limburg-eroeffnet.190184.html> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [70] U. Ostler, *Für 15 Megawatt: Jülich bekommt einen Exascale-Computer*. <https://www.datacenter-insider.de/fuer-15-megawatt-juelich-bekommt-einen-exascale-computer-a-e01ac14e7c566405439883e0a677ccd0/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [72] F. Sommer, *EVO-Abwärme geht ins Fernwärmenetz*. <https://www.op-online.de/offenbach/evo-abwaerme-geht-ins-fernwaermenetz-91747129.html> (Aufgerufen 30. Januar 2023).
- [73] F. Sommer, *Nach Kritik an Offenbacher Rechenzentrum: Cloud HG-Chef äußert sich*. <https://www.op-online.de/offenbach/cloud-hq-offenbach-rechenzentrum-kritik-reaktion-abwaerme-91719983.html> (Aufgerufen 30. Januar 2023).
- [74] V. Schade, *Riesiges Rechenzentrum wächst weiter: Stadt löst entscheidendes Problem*. <https://www.op-online.de/offenbach/offenbach-rechenzentrum-cloud-hq-bau-problem-anwohner-kritik-90573085.html> (Aufgerufen 30. Januar 2023).
- [75] U. Ostler, *CloudHQ baut in Offenbach ein Datacenter*. <https://www.datacenter-insider.de/cloudhq-baut-in-offenbach-ein-datacenter-a-902474/> (Aufgerufen 30. Januar 2023).
- [76] V. Schade, *Lokale Agenda 21 kritisiert Rechenzentrum: „Mittelalter der Umweltrelevanz“*. <https://www.op-online.de/offenbach/lokale-agenda-21-kritisiert-kuenftiges-offenbacher-rechenzentrum-90661738.html> (Aufgerufen 30. Januar 2023).
- [78] G. Warnke, *Abwärme vom Internet*. <https://www.dgs.de/news/en-detail/060919-abwaerme-vom-internet/> (Aufgerufen 20. März 2023).
- [79] Technische Universität Darmstadt, *Energieeffizientes Rechenzentrum*. https://www.hrz.tu-darmstadt.de/hrz_aktuelles/news_details_121152.de.jsp (Aufgerufen 20. März 2023).
- [80] T. Weis, *Abwärmenutzung aus Rechenzentren: Möglichkeiten – Potenziale – Einsatzgebiete*. <https://www.ikz.de/heizungstechnik/news/detail/abwaermenutzung-aus-rechenzentren/> (Aufgerufen 20. März 2023).
- [81] Technische Universität Darmstadt, *Rechnerabwärme als wertvolle Ressource*. https://www.ttd.tu-darmstadt.de/ttd/aktuelles_7/archiv_9/archiv__details_264064.de.jsp (Aufgerufen 20. März 2023).
- [82] A. Rüdiger, *Heiße Themen - Flüssigkühlung und Schwungradtechnik*. <https://www.datacenter-insider.de/heisse-themen-fluessigkuehlung-und-schwungradtechnik-a-604705/> (Aufgerufen 20. März 2023).
- [83] Technische Universität Darmstadt, *Bauliche Maßnahmen*. https://www.tu-darmstadt.de/eneff/forschungsprogramm_eneff/bauliche_massnahmen_eneff/index.de.jsp (Aufgerufen 22. März 2023).
- [84] Technische Universität Darmstadt, *Hochleistungsrechnen*. <https://www.hhlr.tu-darmstadt.de/hhlr/index.de.jsp> (Aufgerufen 20. März 2023).
- [86] D. Gintars, *Server heizen Bürogebäude*. https://www.researchgate.net/publication/316878563_Server_heizen_Burogebaude (Aufgerufen 20. März 2023).
- [87] STROBEL VERLAG GmbH & Co. KG, *Abwärme aus Rechenzentrum heizt Bürogebäude*. <https://www.ikz.de/detail/news/detail/abwaerme-aus-rechenzentrum-heizt-buerogebaeude/> (Aufgerufen 20. März 2023).
- [88] Forschungszentrum Jülich GmbH, *Bürogebäude als Labor für nachhaltiges Bauen*. <https://www.energiwendebauen.de/projekt/buerogebaeude-als-labor-fuer-nachhaltiges-bauen/> (Aufgerufen 20. März 2023).

- [89] M. Genswein *et al.*, „Ressourceneffizientes Gebäude für die Welt von Übermorgen : Forschungsprojekt REG II : Projektbericht“, Stuttgart, 2016. Forschungsprojekt REG II: Projektbericht: <https://www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT:871441314/>. (Aufgerufen: 20. März 2023).
- [91] RAL gGmbH, *Green IT Cube*. <https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/elektrogeraete/rechenzentren/green-it-cube> (Aufgerufen 22.03.23).
- [92] T.P.I. Trippe und Partner, *GSI Green IT Cube - Darmstadt*. <https://tpi-online.de/rechenzentren/articles/projekte-rechenzentren.html> (Aufgerufen 22.03.23).
- [93] Helmholtz Forschungsakademie Hessen für FAIR, *Green Cube*. <https://hfhf-hessen.de/blog/technologie/green-cube/> (Aufgerufen 22.03.23).
- [94] U. Ostler, *Green-Cube – das umweltfreundlichste Höchstleistungs-Rechenzentrum*. <https://www.datacenter-insider.de/green-cube-das-umweltfreundlichste-hoehchstleistungs-rechenzentrum-a-327078/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [96] A. Pommerenke, *Hamburg: Abwärme von Servern heizt Turnhalle: Rechenzentren sind nicht nur Stromfresser sondern können auch Energielieferanten sein: Ein Hamburger Rechenzentrum zeigt, wie es geht*. <https://www.ndr.de/home/hamburg/Hamburg-Abwaerme-von-Servern-heizt-Turnhalle,serverwaerme100.html> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [97] RAL gGmbH, *akquinet Rechenzentrum AKQ-RZ-HAM-02*. <https://www.blauer-engel.de/de/produkte/akquinet-rechenzentrum-akq-rz-ham-02> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [98] H. König, *Wie behinderte IT-Profis das Rechenzentrum schmeißen*. <https://www.computerwoche.de/a/wie-behinderte-it-profis-das-rechenzentrum-schmeissen,2551182> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [99] akquinet GmbH, *Soziale Verantwortung Wir setzen uns für Sie ein*. <https://karriere.akquinet.de/soziale-verantwortung.html> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [100] S. Ehneß, *Redundante Rechenzentren für die Öffentliche Hand*. <https://www.egovernment-computing.de/redundante-rechenzentren-fuer-die-oeffentliche-hand-a-425423/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [102] N. Keller, *Wie die Universität mit Hochleistungsrechnern Labore heizt*. <https://www.uni-hamburg.de/newsroom/im-fokus/2020/1217-abwaermenutzung.html> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [104] VKU Verlag GmbH München/Berlin, *Lülsfeld in Unterfranken: Wärmepumpe optimiert Energiehaushalt: Die systematische Abwärmenutzung des Rechenzentrums in Lülsfeld spart viel Heizenergie, um genau zu sein bis zu 100 000 kWh im Jahr*. <https://www.zfk.de/energie/waerme/luelsfeld-in-unterfranken-waermepumpe-optimiert-energiehaushalt> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [105] ieQ-systems SHK GmbH & Co. KG, *Systematische Abwärmenutzung mit NOVELAN: Unterfränkischer Energieversorger optimiert Energiehaushalt mit NOVELAN Wärmepumpe: Systematische Abwärmenutzung des Rechenzentrums spart bis zu 100.000 Kilowattstunden Erdgas im Jahr*. https://www.grunze-ht.de/marke_hersteller_produkte/novelan/neuheiten/referenz_rechenzentrum (Aufgerufen 22. März 2023).
- [106] energie-experten.org, *Überlandzentrale Lülsfeld nutzt Server-Abwärme für Wärmepumpe*. <https://www.energie-experten.org/projekte/ueberlandzentrale-luelsfeld-nutzt-server-abwaerme-fuer-waermepumpe> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [108] Heinrich-Böll-Stiftung e.V., *Das Energiekonzept der Heinrich-Böll-Stiftung*. <https://www.boell.de/de/das-energiekonzept-der-heinrich-boell-stiftung> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [110] Vogel IT-Medien GmbH, *Stack plant ein 80-MW-Hyperscale-Datacenter in Frankfurter Nähe*. <https://www.datacenter-insider.de/stack-plant-ein-80-mw-hyperscale-datacenter-in-frankfurter-naehe-a-ae751ee0fd278f8308704bdaa7d22ea4/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [112] Vogel IT-Medien GmbH, *Data Castle baut in Schwalbach Rechenzentrum mit 25 MVA*. <https://www.datacenter-insider.de/data-castle-baut-in-schwalbach-rechenzentrum-mit-25-mva-a-775470cc6120995250f5f854149d362e/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [114] JH Computers, 20. Okt. 2022.
- [115] JH Computers, Gespräch.

- [117] H. Vonhof, „Bahnbrechende Zukunftsidee oder nur heiße Luft?: Abwärme von Rechenzentren soll den Stadtteil heizen - erste Förderung ist bewilligt“, *Frankfurter Neue Presse*, 28. Dez. 2022, 2022. https://www.linkedin.com/posts/as-enterprise-engineering_rechenzentren-beheizung-frankfurt-activity-7016398407174868992-T27r?utm_source=share&utm_medium=member_android. (Aufgerufen: 26. April 2023).
- [118] H. Vonhof, *Frankfurter Neue Presse*, 28. Dez. 2022, 2022.
- [120] C. Windeck, *Rechenzentrum beheizt Wohnungen: Die erheblichen Mengen an Abwärme, die in Rechenzentren anfallen, lassen sich sinnvoll nutzen: Zur Gebäudeheizung oder zur Erwärmung von Badewasser*. <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Rechenzentrum-beheizt-Wohnungen-213529.html> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [123] S. Schoene, *Hostway heizt mit seiner RZ-Abwärme Firmenbüros*. <https://www.computerwoche.de/a/hostway-heizt-mit-seiner-rz-abwaerme-firmenbueros,1874356,2> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [124] M. Gams, *HOSTWAY DEUTSCHLAND WECHSELT ZU GRÜNER ENERGIE*. <https://www.hostway.de/hostway-deutschland-wechselt-zu-gruener-energy/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [126] Vogel IT-Medien GmbH, Hg., „Energiekonzepte für Rechenzentren“.
- [128] U. Klotzki, *Nachhaltigkeit in unserem Rechenzentrum München 2 – Wie wir nachhaltige Lösungen schaffen*. <https://services.global.ntt/de-de/insights/blog/how-were-creating-sustainable-solutions-at-our-munich-2-data-center> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [130] D. Swinhoe, *Equinix opens new Munich data center: Company adds 2,250 sqm to Munich footprint with MU4*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/equinix-opens-new-munich-data-center/> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [131] D. Swinhoe, *Equinix opens new Munich data center: Company adds 2,250 sqm to Munich footprint with MU4*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/equinix-opens-new-munich-data-center/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [133] A. Rost, *Hattersheim: Rechenzentren auch an der Autobahn*. <https://www.fr.de/rhein-main/main-taunus-kreis/hattersheim-ort87439/hattersheim-rechenzentren-auch-an-der-autobahn-91199124.html> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [135] Staatsministerium Baden-Württemberg, *Neuer Forschungsbau und Sanierung des Rechenzentrums an der Uni Heidelberg*. <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/neuer-forschungsbau-und-sanierung-des-rechenzentrums-an-der-uni-heidelberg/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [137] W. Greiner, *Machbarkeitsstudie zur RZ-Abwärmenutzung*. <https://www.lanline.de/green-it/machbarkeitsstudie-zur-rz-abwaermenutzung.255182.html> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [139] Stadt Eschborn, *nLighten unterschreibt Absichtserklärung mit Stadt Eschborn und GIZ für die Nutzung der Abwärme eines Rechenzentrums*. <https://www.eschborn.de/en/aktuelles/detail/News/nlighten-unterschreibt-absichtserklaerung-mit-stadt-eschborn-und-giz-fuer-die-nutzung-der-abwaerme-eines-rechenzentrums> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [140] G. Butler, *nLighten data center to provide waste heat for German Development Agency buildings in Eschborn: QScale and Energir sign similar deal in Quebec, Canada*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/nlighten-data-center-to-provide-waste-heat-german-development-agency-buildings-in-eschborn/> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [142] Vogel IT-Medien GmbH, *Mainz bekommt ein Green-Mountain-Rechenzentrum*. <https://www.datacenter-insider.de/mainz-bekommt-eine-green-mountain-rechenzentrum-a-b98187ab69f38d751816e8cec303b894/> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [143] Green Mountain, *Green Mountain and KMW partners to build new sustainable data center site in Germany*. <https://greenmountain.no/green-mountain-and-kmw-partners-to-build-new-sustainable-data-center-site-in-germany/> (Aufgerufen 19. Mai 2023).

- [145] Technische Universität Dresden, *Energieeffiziente Nutzung der Abwärme des Hochleistungsrechners der TU Dresden*. <https://tu-dresden.de/zih/die-einrichtung/news/energieeffiziente-abwaermenutzung-lzr> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [146] Technische Universität Dresden, *Hochleistungs-rechnen auf HRSK-II und HPC-DA*. <https://tu-dresden.de/zih/hochleistungsrechnen#intro> (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [148] J. Mundus, *Wenn der Computer die Wohnung heizt: Die Dresdner Firma „Cloud & Heat“ nutzt die Wärme von Servern zum Heizen. Ihre Idee zieht bald nach Norwegen*. <https://www.saechische.de/wenn-der-computer-die-wohnung-heizt-3614043.html> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [149] M. Smolaks, *CeBIT: Cloud&Heat claims PUE of 1.05 with waste heat reuse: A data center in Dresden has been heating homes for a year*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/cebit-cloudheat-claims-pue-of-105-with-waste-heat-reuse/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [150] Hoschke & Consorten Public Relations GmbH, *Mit Servern heizen: Cloud&Heat, WG Aufbau Dresden und DREWAG realisieren Neubau mit innovativem Heizsystem*. <https://www.openpr.de/news/803929/Mit-Servern-heizen-CloudHeat-WG-Aufbau-Dresden-und-DREWAG-realisieren-Neubau-mit-innovativem-Heizsystem.html> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [151] M. Kien, *Das grünste Rechenzentrum der Welt steht in Dresden*. <https://www.connect-professional.de/datacenter-netzwerke/das-gruenste-rechenzentrum-der-welt-steht-in-dresden.128940.html> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [153] S. Moss, *Digital Realty's Interxion acquires land near Vienna campus for 40MW data center: Complementing its existing two sites*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/digital-realtys-interxion-acquires-land-near-vienna-campus-40mw-data-center/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [154] VIENNA.AT, *Innovativ: Abwärme aus Wiener Rechenzentrum heizt ab 2023 Klinik Floridsdorf*. <https://www.vienna.at/innovativ-abwaerme-aus-wiener-rechenzentrum-heizt-ab-2023-klinik-floridsdorf/7392847> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [155] P. Judge, *Vienna hospital to get waste heat from Interxion data center: Austrian government pays €3.5m for pipe between Floridsdorf Hospital and its neighbor*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/vienna-hospital-to-get-waste-heat-from-interxion-data-center/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [156] D. Balgaranov, *Data centre and hospital in Vienna will exchange heat in circular energy scheme*. <https://www.themayor.eu/en/a/view/data-centre-and-hospital-in-vienna-will-exchange-heat-in-circular-energy-scheme-10338> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [157] Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, *Umweltförderung im Inland: Abwärme aus Rechenzentrum heizt Spital*. <https://infothek.bmk.gv.at/umweltfoerderung-im-inland-abwaerme-aus-rechenzentrum-heizt-spital/> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [159] S. Kälin, *Heizen beim Rechnen*. <https://www.empa.ch/web/s604/ecoqube> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [160] eecomm GmbH, *Empa: Abwärme von Rechenzentren nutzen - Heizen beim Rechnen*. <https://www.ee-news.ch/de/article/48185/empa-abwarmer-von-rechenzentren-nutzen-heizen-beim-rechnen> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [162] IDG Tech Media GmbH, *Rechenzentrum heizt öffentliches Hallenbad*. <https://www.computerwoche.de/a/rechenzentrum-heizt-oeffentliches-hallenbad,1860074>.
- [163] J. Brodtkin, *Swimming pool heated by data center's excess heat: Former Swiss military bunker turned into data center, heats public swimming facility*. <https://www.networkworld.com/article/2277915/swimming-pool-heated-by-data-center-s-excess-heat.html> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [165] Rechenzentrum Ostschweiz AG, *Lesenswertes zum Rechenzentrum Ostschweiz*. <https://www.rechenzentrum-ostschweiz.ch/presse/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [166] st.gallisch-appenzellische kraftwerke ag, *Rechenzentrum Ostschweiz (RZO)*. https://www.sak.ch/downloads/rzo/geschaeftskunden_digital_rzo.pdf (Aufgerufen 22. März 2023).

- [167] ki-portal.de, *Grünstes Rechenzentrum Europas*. https://www.ki-portal.de/wp-content/uploads/2019/02/KI_2019_01-02_Praxis_Hoval.pdf (Aufgerufen 22. März 2023).
- [168] S. Posavec, *Mit Daten Käse machen*. <https://www.kulturpublizistik.ch/mit-daten-kaese-machen/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [170] InterXion (Schweiz) GmbH, *Die intelligente Kampfansage gegen CO2*. <https://www.interxion.com/ch/news/01/2022/energieverbund-airport-city> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [172] M. Nelson, *Groningen data centre takes part in new district heating scheme*. https://digitalinfranetwork.com/news/groningen-data-centre-takes-part-in-new-district-heating-scheme/?utm_content=232468812&utm_medium=social&utm_source=linkedin&hss_channel=lcp-35715679 (Aufgerufen 22. März 2023).
- [174] v.G.
- [175] Equinix, *Green by design*. <https://www.equinix.com/data-centers/design/green-data-centers> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [177] P. Judge, *Interxion shares waste heat with business parks in Schiphol, Amsterdam: District heat firm Polderwarmte wants more data centers to sign up*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/interxion-shares-waste-heat-with-business-parks-in-schiphol-amsterdam/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [178] Hosting Journalist, *Interxion Plans to Deliver Residual Heat to Business Parks in Amsterdam Region*. <https://hostingjournalist.com/interxion-plans-to-deliver-residual-heat-to-business-parks-in-amsterdam-region/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [180] P. Judge, *NorthC's Aalsmeer data center ships waste heat to local customers: A school, a plant nursery, and a swimming pool all use warm water from the site*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/northcs-aalsmeer-data-center-ships-waste-heat-to-local-customers/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [182] Z. Derksen, *Switch Datacenters Pays Its Clients for Server Waste Heat*. <https://www.dutchdatacenters.nl/en/nieuws/switch-datacenters-pays-its-clients-for-server-waste-heat/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [184] D. Robinson, *Plans for Dutch datacenter to warm thousands of homes: Bytesnet working with Boston to recycle residual heat in Groningen district*. https://www.theregister.com/2022/04/22/boston_bytesnet_datacenter_heat/ (Aufgerufen 22. März 2023).
- [186] D. Swinhoe, *Equinix announces tenth Parisian data center: Company plans 430 sqm rooftop greenhouse in the French capital*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/equinix-announces-tenth-parisian-data-center/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [187] P. Judge, *Equinix opens urban farm on its PA10 Paris data center in Paris: Waste heat powers a greenhouse on the Paris site*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/equinix-opens-urban-farm-on-its-pa10-paris-data-center-in-paris/> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [188] Hosting Journalist, *Equinix Announces \$163M Investment in Tenth Paris Data Center*. <https://hostingjournalist.com/equinix-announces-163m-investment-in-tenth-paris-data-center/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [190] A. B. Petersen und G. Energi, *Experiences from other urban waste heat recovery investments*. http://toolbox.celsiuscity.eu/images/e/e1/Handbook_-_25_cases_of_urban_waste_heat_recovery.pdf (Aufgerufen 19. Mai 2023).
- [191] celsiuscity.eu, *Excess heat from a datacentre in Val d'Europe, France*. <https://celsiuscity.eu/excess-heat-from-data-centre-in-val-deurope-france/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [192] celsiuscity.eu, *Excess heat from data centre in Val d'Europe, France*. <https://celsiuscity.eu/wp-content/uploads/2019/11/Excess-heat-from-data-centre-in-Val-d.pdf> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [194] A. Galán Herranz, *These Parisians Are Splashing Into Water Heated by Servers*. <https://en.reset.org/about-reset/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [195] T. Dawn-Hiscox, *Stimergy's edge platform used to heat French public pool: Saving 250MWh a year*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/stimergys-edge-platform-used-to-heat-french-public-pool/> (Aufgerufen 22. März 2023).

- [197] R. Miller, *Data Centers Heat Offices, Greenhouses, Pools*. <https://www.datacenterknowledge.com/archives/2010/02/03/data-centers-heat-offices-greenhouses-pools> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [198] Data Center Knowledge, *Data Centers That Recycle Waste Heat*. <https://www.datacenterknowledge.com/data-centers-that-recycle-waste-heat> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [200] Qarnot, *More IT, less energy, low carbon: The most efficient IT infrastructure leveraging heat reuse*. <https://qarnot.com/en#free-heating> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [201] P. Judge, *France's Qarnot says supercomputers heat better*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/frances-qarnot-says-supercomputers-heat-better/> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [203] The Architects' Journal, *Telehouse West Data Centre Docklands, London by YRM*. <https://www.architectsjournal.co.uk/archive/telehouse-west-data-centre-docklands-london-by-yrm> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [204] Telehouse International Corporation, *Telehouse West*. https://telehousewebsi.wpengine.com/wp-content/uploads/2020/08/Telehouse-London-Data-Centre_West.pdf (Aufgerufen 22. Februar 2023).
- [206] Z. Kleinman, *Tiny data centre used to heat public swimming pool*. <https://www.bbc.com/news/technology-64939558> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [207] R. Schesswendter, *Großbritannien: Rechenzentren heizen öffentliche Schwimmbäder – für lau*. <https://t3n.de/news/grossbritannien-rechenzentren-heizen-oeffentliche-schwimmbaeder-gratis-kostenlos-lau-super-deal-abwaerme-kuehlung-1543118/> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [208] R. Thubron, *Data center uses its waste heat to warm public pool, saving \$24,000 per year: Stopping waste heat from going to waste*. <https://www.techspot.com/news/97995-data-center-uses-waste-heat-warm-public-pool.html> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [209] S. Harding, *Free data-center heat is allegedly saving a struggling public pool \$24K a year*. <https://arstechnica.com/information-technology/2023/03/free-data-center-heat-is-allegedly-saving-a-struggling-public-pool-24k-a-year/> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [210] J. Heinrich, *Swim-Win-Situation: Rechenzentren heizen Freibäder*. <https://www.wuv.de/Themen/Tech/Swim-Win-Situation-Rechenzentren-heizen-Freibader> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [211] P. Judge, *UK data center startup offers to heat Britain's swimming pools with waste heat: Deep Green takes a deep dive starting in Exmouth, Devon*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/uk-data-center-startup-offers-to-heat-britains-swimming-pools-with-waste-heat/> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [213] D. Swinhoe, *175-hectare, 600MW data center campus proposed outside London in Havering: Reef Group planning up to 12 buildings totaling 330,000 sqm*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/175-hectare-600mw-data-center-campus-proposed-outside-london-in-havering/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [215] Amazon, *Local community buildings in Ireland to be heated by Amazon data centre*. <https://www.aboutamazon.eu/news/amazon-web-services/local-community-buildings-in-ireland-to-be-heated-by-amazon-data-centre> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [217] ecologic datacenters, *Sustainability*. <http://www.ecologicdata.com/sustainability.html> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [219] Invest in Denmark, *MAJOR DATA CENTRE CAMPUS COMING UP - DIGIPLEX EXPANDS ITS ACTIVITIES IN DENMARK*. <https://investindk.com/cases/major-data-centre-campus-coming-up-digiplex-expands-its-activities-in-denmark> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [221] sustainability.fb.com, *Denmark data center to warm local community*. https://sustainability.fb.com/wp-content/uploads/2020/12/FB_Denmark-Data-Center-to-Warm-Local-Community.pdf (Aufgerufen 22. März 2023).
- [222] edie, *Facebook to capture and donate wasted heat from Danish data centre*. <https://www.edie.net/facebook-to-capture-and-donate-wasted-heat-from-danish-data-centre/> (Aufgerufen 22. März 2023).

- [223] A. Alley, *Facebook begins data center and district heating expansion in Odense, Denmark: Facebook is adding another 30,000 square meters to the campus which will heat more homes*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/facebook-begins-data-center-and-district-heating-expansion-odense-denmark/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [225] R. Fingas, *Apple's upcoming Danish data center will help warm area homes*. <https://appleinsider.com/articles/17/04/21/apples-upcoming-danish-data-center-will-help-warm-area-homes> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [226] Apple, *Apple baut den Einsatz erneuerbarer Energien in Europa aus*. <https://www.apple.com/de/newsroom/2020/09/apple-expands-renewable-energy-footprint-in-europe/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [227] A. Alley, *Apple invests in two huge turbines to power Viborg data center: Just make stuff bigger*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/apple-invests-two-huge-turbines-power-viborg-data-center/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [229] W. Kempkens, *Supercomputer heizen Hochschulinstitute: Statt Abwärme in die Atmosphäre zu entlassen, wird sie von der Dänischen Technischen Universität genutzt*. <https://www.golem.de/news/klimaschutz-supercomputer-heizen-hochschulinstitute-2210-169301.html> (Aufgerufen 22. Februar 2023).
- [231] J. Saar, Telefonat.
- [232] U. Ostler, *Klimafreundliche Rechenzentren von und bei Danfoss*. <https://www.datacenter-insider.de/klimafreundliche-rechenzentren-von-und-bei-danfoss-a-1025993/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [233] Horisont Gruppen, *Danfoss wants to halve its energy consumption*. <https://csr.dk/danfoss-vil-halvere-sit-energiforbrug> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [235] Microsoft, *Microsoft announces intent to build a new datacenter region in Finland, accelerating sustainable digital transformation and enabling large scale carbon-free district heating*. <https://news.microsoft.com/europe/2022/03/17/microsoft-announces-intent-to-build-a-new-datacenter-region-in-finland-accelerating-sustainable-digital-transformation-and-enabling-large-scale-carbon-free-district-heating/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [236] W. Pluta, *Microsoft-Rechenzentrum liefert Fernwärme für Finnland*. <https://www.golem.de/news/nachhaltigkeit-microsoft-rechenzentrum-liefert-fernwaerme-fuer-finnland-2203-163968.html> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [237] Datacenter Forum, *FORTUM WILL CAPTURE THE EXCESS HEAT GENERATED BY MICROSOFT'S NEW DATA CENTER REGION IN HELSINKI REGION, FINLAND*. <https://www.datacenter-forum.com/fortum/fortum-will-capture-the-excess-heat-generated-by-microsofts-new-data-center-region-in-helsinki-region-finland> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [239] The Finnish Innovation Fund Sitra, *District heating from data centre waste heat, Mäntsälä*. <https://www.sitra.fi/en/cases/district-heating-from-data-centre-waste-heat-mantsala/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [240] M. Wahlroos, M. Pärssinen, S. Rinne, S. Syri und J. Manner, „Future views on waste heat utilization – Case of data centers in Northern Europe“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Jg. 82, S. 1749–1764, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.10.058.
- [241] Data Centre Dynamics Ltd, *DCD at CeBIT: Heat reuse worth more than PUE - Yandex: Yandex' Finland data center manager says waste heat is a jackpot*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/dcd-at-cebit-heat-reuse-worth-more-than-pue-yandex/> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [243] LUMI, *Sustainable future: Kajaani, the green home of LUMI*. <https://lumi-supercomputer.eu/sustainable-future/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [244] LUMI, *LUMI world-class supercomputer*. <https://www.lumi-supercomputer.eu/lumi-world-class-supercomputer/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [245] LUMI, *The waste energy of LUMI supercomputer produces 20 percent of the district heat of the city of Kajaani*. <https://www.lumi-supercomputer.eu/the-waste-energy-of-lumi-supercomputer-produces-20-percent-of-the-district-heat-of-kajaani-csc-and-loiste-lampo-have-signed-an-agreement/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [246] A. Rüdiger, *Der leistungsstärkste Rechner Europas steht in Finnland*. <https://www.datacenter-insider.de/der-leistungsstaerkste-rechner-europas-steht-in-finnland-a-f9e82cb41b47a82572e44c8283303f97/> (Aufgerufen 22. März 2023).

- [247] LUMI, *LUMI receives honors in global DCD Awards 2021*. <https://www.lumi-supercomputer.eu/lumi-receives-honors-in-global-dcd-awards-2021/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [248] A. Alley, *LUMI supercomputer to use district heating for cooling: Pre-exascale system hopes to keep Finnish citizens toasty*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/lumi-supercomputer-use-district-heating-cooling/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [249] *Deep dive into the building of the LUMI data center*. <https://www.lumi-supercomputer.eu/deep-dive-into-the-building-of-the-lumi-data-center/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [250] Granlund Oy, *A supercomputer to heat houses in northern Finland*. <https://www.granlundgroup.com/news/a-supercomputer-to-heat-houses-in-northern-finland/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [251] Kajaani Data Center, *LUMI: Carbon Negative Data Centre Operation*. <https://www.dpconline.org/docs/miscellaneous/events/2021-events/2524-dpc-csc-lumi-presentation-11112021-val/file> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [252] HPCwire, *CSC LUMI Supercomputer Waste Heat Will Help Meet District Heating Needs*. <https://www.hpcwire.com/off-the-wire/csc-lumi-supercomputer-waste-heat-will-help-meet-district-heating-needs/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [254] S. Moss, *Ericsson sells waste heat from data center in Finland: Waste not, freeze not*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/ericsson-sells-waste-heat-from-data-center-in-finland/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [256] S. Moss, *Telia Finland's Pitäjänmäki data center to share waste heat from 2022: Partners with Helen on heat pump project*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/telia-finlands-pit%C3%A4j%C3%A4nm%C3%A4ki-data-center-to-share-waste-heat-from-2022/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [258] D. Swinhoe, *Equinix signs 42MW wind PPA in Finland: Second Finnish PPA colo giant has signed with Neoen in Finland this year*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/equinix-signs-42mw-wind-ppa-in-finland/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [259] Helen Oy, *Helen and Equinix extend successful cooperation to distribute more waste heat from data centers to properties in Helsinki*. <https://www.helen.fi/en/news/2022/helen-and-equinix-extend-successful-cooperation-to-distribute-more-waste-heat-from-data-centers-to-properties-in-helsinki> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [260] Equinix, *Equinix and Helen extend successful cooperation to distribute more waste heat from data centers to properties in Helsinki*. <https://www.equinix.fi/newsroom/press-releases/2022/06/equinix-and-helen-extend-successful-cooperation-to-distribute-more-waste-heat-from-data-centers-to-properties-in-helsinki> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [262] P. Judge, *Finland's Elisa shares heat in Helsinki, helped by Helen: Energy company Helen hooks up telco's data center to district heating*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/finlands-elisa-shares-heat-in-helsinki-helped-by-helen/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [264] P. Judge, *Nokia vLabs data center in Tampere, Finland connects to district heating: Castellum's Valtatie 30 uses heat pumps to boost temperature of waste heat for sale to the city*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/nokia-vlabs-data-center-in-tampere-finland-connects-to-district-heating/> (Aufgerufen 22. März 2023).
- [266] J. Vela, *Helsinki data centre to heat homes: Water warmed while cooling a server centre installed in a cathedral bomb shelter will go on to heat 500 homes*. <https://www.theguardian.com/environment/2010/jul/20/helsinki-data-centre-heat-homes> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [268] S. A. Hagaseth, *Green Mountain: How to truly deliver a CARBON NEGATIVE Datacenter*. <https://drive.google.com/file/d/1eTAKymFu6h2DGAT92RlzM8ECTpQLZ0Y/view> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [269] Green Mountain, *Land-based lobster farming will use waste heat from data center*. <https://www.mynewsdesk.com/no/green-mountain/pressreleases/land-based-lobster-farming-will-use-waste-heat-from-data-center-3107932> (Aufgerufen 23. März 2023).

- [270] The Fish Site Limited, *Plans unveiled for “world’s first” land-based lobster farm*. <https://thefishsite.com/articles/plans-unveiled-for-worlds-first-land-based-lobster-farm> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [271] D. Swinhoe, *Green Mountain to heat land-based trout farm: Company warming trout waters after announcing it was piping warm water to a nearby lobster farm*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/green-mountain-to-heat-land-based-trout-farm/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [272] Green Mountain, *A sustainable data center built for the modern world*. <https://greenmountain.no/dc1-stavanger/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [273] N. Arellano, *Data centre waste water to heat RAS lobster farm*. <https://www.rastechmagazine.com/data-centre-waste-water-to-heat-ras-lobster-farm/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [274] <https://greenmountain.no/news/>.
- [275] Datacenter Forum, *GREEN MOUNTAIN FISHING EXPEDITION LEADS TO HEAT RE-USE FOR LOBSTER -AND TROUTFARMING*. <https://www.datacenter-forum.com/green-mountain-data-centre/green-mountain-fishing-expedition-leads-to-heat-re-use-for-lobster-and-troutfarming> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [276] G.-E. Blaaid, *Lobster farmer claws back energy used by data centre*. <https://www.fishfarmingexpert.com/article/lobster-farmer-claws-back-energy-used-by-data-centre/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [278] D. Swinhoe, *Green Mountain expanding Rjukan data center campus again: Company adding two-story 20MW building to site in Norway*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/green-mountain-expanding-rjukan-data-center-campus-again/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [280] P. Judge, *Stack shares heat from Oslo data center: Completes project started by DigiPlex in 2018*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/stack-shares-heat-from-oslo-data-center/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [282] Stockholm Data Parks, *Green Computing Redefined*. <https://stockholmdataparks.com/benefits-of-green-computing-in-stockholm/#large-scale-heat-recovery> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [283] Stockholm Data Parks, *Stockholm Data Parks: making the modern sustainable city*. <https://energydigital.com/company-reports/stockholm-data-parks-making-modern-sustainable-city> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [284] B. van der List, *How data centers can give back to society*. <https://www.strategy-business.com/article/How-data-centers-can-give-back-to-society> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [285] Data Centre Dynamics Ltd, *Taking the next steps: Stockholm, the Circular City: How Stockholm Data Parks is revolutionizing heat recovery*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/analysis/taking-next-steps-stockholm-circular-city/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [286] U. Ostler, *Stockholm Data Parks sollen Rechenzentren anlocken*. <https://www.datacenter-insider.de/stockholm-data-parks-sollen-rechenzentren-anlocken-a-579396/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [288] S. Reveman, *Die Energie in deutschen Datacenter verpufft zu 100%*. <https://www.datacenter-insider.de/die-energie-in-deutschen-datacenter-verpufft-zu-100-a-541729/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [289] Elementica, *Turning Data Center Power Equations Up-Side Down*. https://www.elementica.se/wp-content/uploads/2016/08/Elementica_Quick_Facts.pdf (Aufgerufen 23. März 2023).
- [290] Elementica, *Large benefits can be achieved through heat recovery from urban data centers*. <https://www.elementica.se/technology/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [292] M. Smolaks, *Fortum Värme wants your waste heat*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/fortum-varme-wants-your-waste-heat/> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [294] Stockholm Data Parks, *Ericsson*. <https://stockholmdataparks.com/wp-content/uploads/customer-references-ericsson2.pdf> (Aufgerufen 26. April 2023).

- [296] M. Smolaks, *EcoDataCenter set to open 2MW facility in Falun, Sweden: The 'climate positive' data center will start operations on October 15.* <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/ecodatacenter-set-open-2mw-facility-falun-sweden/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [297] P. Judge, *Strange bedfellows: new data center locations: Build near a complementary industry, and a data center can go from a liability to an environmental asset.* <https://www.datacenterdynamics.com/en/analysis/strange-bedfellows-new-data-center-locations/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [299] Stockholm Data Parks, *H&M.* <https://stockholmdataparks.com/wp-content/uploads/customer-references-hm5.pdf> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [300] Open District Heating, *New H&M data center in Stockholm features large-scale heat recovery.* <https://www.opendistrictheating.com/new-hm-data-center-in-stockholm-features-large-scale-heat-recovery/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [301] P. Judge, *H&M will add 1MW data center to Stockholm district heating system: Fashion vendor plumbs more output into Fortum Värme's district heating system.* <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/hm-will-add-1mw-data-center-to-stockholm-district-heating-system/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [303] Interxion HeadQuaters, *STO6 Data center - For Sustainable & Secure Digitisation.* <https://www.interxion.com/locations/europe/stockholm/sto6> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [304] E. Biba, *The city where the internet warms people's homes.* <https://www.bbc.com/future/article/20171013-where-data-centres-store-info---and-heat-homes> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [306] celsiuscity.eu, *Excess heat from datacentres: Let your Insta-selfies heat your home.* <https://celsiuscity.eu/waste-heat-from-datacentres/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [307] Stockholm Data Parks, *Bahnhof.* <https://stockholmdataparks.com/wp-content/uploads/customer-references-bahnhof.pdf> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [308] <https://celsiuscity.eu/wp-content/uploads/2020/06/Waste-heat-from-data-centres.pdf>.
- [309] Carrier, *Bahnhof - Data center.* <https://www.carrier.com/commercial/en/pl/about/case-studies/bahnhof/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [311] ebm-papst SEA Pte. Ltd., *Sweden's coolest data center.* <https://www.ebmpapst.com/sg/en/newsroom/projects/sweden-coolest-data-centre.html> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [312] Open District Heating, *Profitable recovery with Open District Heating.* <https://www.opendistrictheating.com/media/open-district-heating-bahnhof-pionen.pdf> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [313] Open District Heating, *Profitable recovery with Open District Heating.* <https://www.opendistrictheating.com/case/bahnhof-data-centre-pionen/> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [314] Carrier, *Bahnhof - Data center.* <https://www.carrier.com/commercial/en/pl/about/case-studies/bahnhof/> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [315] ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG, *Sweden's coolest data center.* https://mag.ebmpapst.com/en/industries/refrigeration-ventilation/ebm-papst-supports-efficient-cooling-of-data-center-pionen-by-bahnhof-in-stockholm_12790/ (Aufgerufen 26. April 2023).
- [317] P. Judge, *DigiPlex plugs into district heating in Stockholm: Waste heat from established data center now goes to good use.* <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/digiplex-plugs-into-district-heating-in-stockholm/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [318] Bioenergy International, *Residual DigiPlex data centre heat to warm Stockholm households.* <https://bioenergyinternational.com/residual-digiplex-data-centre-heat-to-warm-stockholm-households/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [320] Vattenfall, *Excess heat utilization from data centers.* <https://drive.google.com/file/d/1UTaO-42rAYpMBWFIHcxKLCyfHIKKuGRT/view> (Aufgerufen 23. März 2023).

- [321] Vattenfall, *Pilotprojekt zur Bereitstellung nachhaltiger Rechenkapazität*. <https://group.vattenfall.com/de/newsroom/pressemitteilungen/2021/pilotprojekt-zur-bereitstellung-nachhaltiger-rechenkapazitaet> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [322] U. Ostler, *Vattenfall baldowert mit Cloud&Heat Technologies neue Services aus*. <https://www.datacenter-insider.de/vattenfall-baldowert-mit-cloudheat-technologies-neue-services-aus-a-912081/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [324] Vogel IT-Medien GmbH, *Datentechnik Moll: Mehr Platz für Immersionskühlung und Abwärmenutzung*. <https://www.datacenter-insider.de/datentechnik-moll-mehr-platz-fuer-immersionskuehlung-und-abwaermenutzung-a-e8f3b0a4eb3dd0c232fd1fef7f135ce3/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [325] J. Schröper, *DTM Group erweitert Forschungs-RZ in Schweden*. <https://www.lanline.de/datacenter/dtm-group-erweitert-forschungs-rz-in-schweden.251989.html> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [326] dtm.group, *dtm.group erweitert Forschungs-Rechenzentrum in Schwede: Forschungsschwerpunkte sind High-Performance-Computing, Immersionskühlung und Optimierung von KI-Algorithmen für DCIM-Systeme*. <https://pressroom-rbt.com/rbt/uploads/2020/08/dtm-group-erweitert-Forschungsrechenzentrum-in-Schweden.pdf> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [328] P. Judge, *RISE tests fuel cell-powered CHP Edge data center in Luleå, Sweden: Captures heat from high-temperature primary power fuel cells*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/rise-tests-fuel-cell-powered-chp-edge-data-center-in-lule%C3%A5-sweden/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [329] CORDIS, *Innovatives Wärmerückgewinnungsexperiment in Schweden*. <https://cordis.europa.eu/article/id/436169-innovative-waste-heat-recovery-experiment-in-sweden/de> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [331] Stockholm Data Parks, *interxion*. <https://stockholmdataparks.com/wp-content/uploads/customer-references-interxion.pdf> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [333] National Renewable Energy Laboratory, *High-Performance Computing User Facility*. <https://www.nrel.gov/computational-science/hpc-user-facility.html> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [334] National Renewable Energy Laboratory, *High-Performance Computing Data Center Waste Heat Reuse*. <https://www.nrel.gov/computational-science/waste-heat-energy-reuse.html> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [335] O. van Geet und D. Sickinger, *Data Center Optimization Strategies*. <https://drive.google.com/file/d/1W6hG85K4Oc6wiIk-MxPiFbGH9Q5tVp2N/view> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [336] O. van Geet, D. Sickinger und T. Carter, *DCDMI: Lessons Learned from the World's Most Energy Efficient Data Center*. <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/70433.pdf> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [337] O. van Geet und D. Sickinger, *Data Center Optimization Strategies*. <https://drive.google.com/file/d/1W6hG85K4Oc6wiIk-MxPiFbGH9Q5tVp2N/view> (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [338] National Renewable Energy Laboratory, *High-Performance Computing Data Center Warm-Water Liquid Cooling*. <https://www.nrel.gov/computational-science/warm-water-liquid-cooling.html> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [339] National Renewable Energy Laboratory, *High Performance Computing Data Center*. <https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/62298.pdf> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [340] S. Hammond, *Sustainable Data Centers*. https://betterbuildingssolutioncenter.energy.gov/sites/default/files/Sustainable_Data_Centers.pdf (Aufgerufen 23. März 2023).
- [341] National Renewable Energy Laboratory, *High-Performance Computing Data Center*. <https://www.nrel.gov/computational-science/hpc-data-center.html> (Aufgerufen 23. März 2023).

- [342] National Renewable Energy Laboratory, *High-Performance Computing Data Center Power Usage Effectiveness*. <https://www.nrel.gov/computational-science/measuring-efficiency-pue.html> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [343] National Renewable Energy Laboratory, *High-Performance Computing Data Center Cooling System Energy Efficiency*. <https://www.nrel.gov/computational-science/data-center-cooling-system.html> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [345] C. Blodgett, *From Wasted Heat to Shared Energy Opportunity*. <https://edoenergy.com/resources/from-wasted-heat-to-shared-energy-opportunity/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [347] R. Miller, *Wyoming Hyperscale: A Vision of a Cleaner Future for Data Centers*. <https://www.datacenterfrontier.com/hyperscale/article/21437203/wyoming-hyperscale-the-future-of-the-data-center> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [348] A. Rüdiger, *DC-Standorte: Wilde Berge statt Straßenschluchten*. <https://www.datacenter-insider.de/dc-standorte-wilde-berge-statt-strassenschluchten-a-5cb453c1391476b2d7a34fa564a907f8/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [352] QScale, *Campus Q01*. <https://www.qscale.com/campuses/q01-campus> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [353] D. Swinhoe, *New Canadian company QScale breaks ground on AI-focused data center in Lévis, Quebec: 4Degrés data centers founder back with new company and plan*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/new-canadian-company-qscale-breaks-ground-on-ai-focused-data-center-in-1%C3%A9vis-quebec/> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [354] EnergyTech, *Canadian firms working on Waste Heat Recovery at Quebec Computing Center*. <https://www.energytech.com/energy-efficiency/article/21262269/canadian-firms-working-on-waste-heat-recovery-at-quebec-computing-center> (Aufgerufen 26. April 2023).
- [357] D. Renjifo, *Data centers guzzle energy to keep cool. Could snow be the answer?* <https://edition.cnn.com/2022/09/06/tech/japan-white-data-center-snow-cooled-servers-climate-scen-spc-intl/index.html> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [358] I. Mayersen, *A Japanese data center is using waste heat to farm eels*. <https://www.techspot.com/news/94125-japanese-data-center-using-waste-heat-farm-eels.html> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [359] H. Toda, *Data center in Hokkaido uses server-cooling snow to raise eels*. <https://www.asahi.com/ajw/articles/14568865> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [360] S. Takashi, *Cooling Data Servers with Snow*. https://www.gov-online.go.jp/eng/publicity/book/hlj/html/202201/202201_07_en.html (Aufgerufen 23. März 2023).
- [361] P. Judge, *Data centers cooled by snow: It's said that snow gives you two options: shovel or make snow angels. Now you have a third choice: cool your data center*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/analysis/data-centers-cooled-by-snow/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [362] K. Ise, *White Open Compute Project*. http://opencomputejapan.org/doc/WhiteOpenComputeProject_20131101.pdf (Aufgerufen 23. März 2023).
- [363] D. Maxwell, *See How This Japanese Datacenter is Using Waste Heat to Farm Eels*. <https://toptechboss.com/see-how-this-japanese-datacenter-is-using-waste-heat-to-farm-eels/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [364] P. Judge, *Japanese snow-cooled data center opens an eel farm: Hot aisles meet warm eels*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/japanese-snow-cooled-data-center-opens-an-eel-farm/> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [366] Tomorrow Water, *Tomorrow Water proposes siting data centers at sewage plants*. <https://www.tomorrowwater.com/newsroom/y6do4750gaxkenpd1cxjtcexyhwhbf> (Aufgerufen 23. März 2023).
- [367] P. Judge, *Tomorrow Water signs up Arcadis to develop plans for data centers at waste water plants: Design consultant comes on board*. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/tomorrow-water-signs-up-arcadis-to-develop-plans-for-data-centers-at-waste-water-plants/> (Aufgerufen 23. März 2023).

[368] ICT Network News, *Tomorrow Water says US could build up to 1,500 data centers at sewage plants*. <https://www.ict-nn.com/tomorrow-water-says-us-could-build-up-to-1500-data-centers-at-sewage-plants/> (Aufgerufen 23. März 2023).

Bildquellen

- [1] <https://unsplash.com/de/fotos/iHlzjsRkgoc> (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [10] ArtisticOperations. <https://pixabay.com/de/photos/doppelbett-schlafzimmer-hotelzimmer-6078049/> (Aufgerufen 19. Mai 2023).
- [16] J. Böttinger. <https://unsplash.com/de/fotos/mFBh4x79dwI> (Aufgerufen 19. Mai 2023).
- [23] <https://unsplash.com/de/fotos/iar-afB0QQw> (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [27] <https://unsplash.com/de/fotos/ewGMqs2tmJI> (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [34] <https://unsplash.com/de/fotos/zgRKQKHf8v0> (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [38] R. Schneider, "Bildnutzungsrechte BPÜ Neubau Rechenzentrum", E-Mail, Apr. 2023.
- [41] K. Amon. <https://unsplash.com/de/fotos/vn8Falk7JbU> (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [47] M. Faigl, "Bildnutzungsrechte BPÜ IN Campus", Mail, Apr. 2023.
- [51] B. Waldhauser, "Bildnutzungsrechte BPÜ FRANKY", Mail, Mrz. 2023.
- [52] B. Waldhauser, "Bildnutzungsrechte BPÜ FRANKY", E-Mail, Jan. 2023.
- [63] <https://unsplash.com/de/fotos/Njq3Nz6-5rQ> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [69] https://unsplash.com/de/fotos/dBI_My696Rk (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [71] <https://www.pexels.com/de-de/foto/strassenlaterne-an-der-gebauwand-2784385/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [77] <https://unsplash.com/de/fotos/n4y3eiQSIoc> (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [85] <https://unsplash.com/de/fotos/cn3q30LIr5M> (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [90] <https://unsplash.com/de/fotos/c0rplvWqyZk> (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [95] T. Dehn, "Bildnutzungsrechte BPÜ Turnhalle", E-Mail, Apr. 2023.
- [101] <https://unsplash.com/de/fotos/8ZoE26ywFFM> (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [103] <https://www.pexels.com/de-de/foto/schwarz-und-weiss-schreibtisch-buro-tisch-260689/> (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [107] <https://unsplash.com/de/fotos/dIMJWLx1YbE> (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [109] <https://unsplash.com/de/fotos/wR11KBaB86U> (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [111] <https://unsplash.com/de/fotos/BB0mMC8y0Pc> (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [113] J. Hauber, "Bildnutzungsrechte BPÜ JH-Computers", Mail, Apr. 2023.
- [116] <https://unsplash.com/de/fotos/AtnjoBvvnvE> (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [119] N. Abootalebi. <https://unsplash.com/de/fotos/eHD8Y1Znfpk> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [121] M. Gogh. <https://unsplash.com/de/fotos/VBLHICVh-II> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [122] <https://pixabay.com/de/photos/arbeitsplatz-heimb%c3%bcro-b%c3%bcro-5517744/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [125] https://unsplash.com/de/fotos/9drS5E_Rguc (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [127] J. Eligan. <https://unsplash.com/de/fotos/B7Ey0XVbK1U> (Aufgerufen 4. Mai 2023).

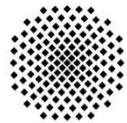
- [129] <https://unsplash.com/de/fotos/ZOOt4tQXe9g> (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [132] N. Baster. <https://unsplash.com/de/fotos/3jF08vbfCek> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [134] <https://unsplash.com/de/fotos/zzOmEj3rQAE> (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [136] <https://www.pexels.com/de-de/foto/foto-der-stadtskyline-waehrend-der-dammerung-1398003/> (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [138] <https://pixabay.com/de/photos/schwimmer-baden-schwimmbad-79592/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [141] <https://www.pexels.com/de-de/foto/industrieanlage-mit-reflexion-om-gewasser-2480806/> (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [144] https://unsplash.com/de/fotos/qeIaMQP_xQE (Aufgerufen 3. Mai 2023).
- [147] <https://unsplash.com/de/fotos/q7dmr-o4GiM> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [152] https://unsplash.com/de/fotos/hIgeoQjS_iE (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [158] <https://pixabay.com/de/photos/modern-m%c3%b6bel-supercomputer-rechner-92369/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [161] <https://unsplash.com/de/fotos/TVOAbbLL050> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [164] C. Baumgärtner, "Bildnutzungsrechte BPÜ Rechenzentrum Ostschweiz (RZO)", Mail, Mrz. 2023.
- [169] <https://unsplash.com/de/fotos/KZSNMN4VxR8> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [171] A. Maridashvili. <https://unsplash.com/de/fotos/cT8nCT71Zr0> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [173] <https://www.pexels.com/de-de/foto/amsterdam-gebäude-208733/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [176] <https://unsplash.com/de/fotos/t9IfNt9VIkw> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [179] <https://pixabay.com/de/photos/gew%c3%a4chshaus-pflanzen-t%c3%b6pfe-2499758/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [181] <https://unsplash.com/de/fotos/QL7KdXdcfWA> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [183] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:20190922_03_Groningen_-_Professor_Uilkensweg_-_Bytesnet_datacenter_d%27Root.jpg (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [185] <https://unsplash.com/de/fotos/ie--MhjJ2CQ> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [189] <https://pkkantrida.hr/wp-content/uploads/2023/01/pexels-kindel-media-8688566-scaled.jpg> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [193] <https://unsplash.com/de/fotos/nq18MYhxdGs> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [196] <https://unsplash.com/de/fotos/B5PcDNbMu0M> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [199] I. Aleksic. <https://unsplash.com/de/fotos/PDRFeeDniCk> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [202] <https://pixabay.com/de/photos/canary-wharf-kanarienvogel-kai-5029087/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [205] <https://unsplash.com/de/fotos/JhcQHSBMask> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [212] <https://pixabay.com/de/photos/der-industriepark-detva-slowakei-7432144/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [214] <https://pixabay.com/de/photos/dublin-irland-ireland-3313820/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [216] <https://pixabay.com/de/photos/eden-projekt-kuppel-gew%c3%a4chshaus-1687682/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [218] https://unsplash.com/de/fotos/aB2EUX8_Lkg (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [220] <https://pixabay.com/de/photos/pony-boder-odense-d%c3%a4nemark-3924500/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [224] <https://unsplash.com/de/fotos/nrSzRUWqmoI> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [228] <https://unsplash.com/de/fotos/YRMWVcdyhmI> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [230] <https://unsplash.com/de/fotos/41X6FwTwPh4> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [234] https://unsplash.com/de/fotos/jRvwDH_Xqzc (Aufgerufen 4. Mai 2023).

- [238] P. T. Oja. <https://www.pexels.com/de-de/foto/weisse-und-braune-betonhauser-in-der-nahe-des-flusses-3493651/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [242] <https://unsplash.com/de/fotos/nKbJpT3mMr0> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [253] <https://www.pexels.com/de-de/foto/schwarze-server-racks-in-einem-raum-325229/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [255] J. Jansson. <https://unsplash.com/de/fotos/EtVhfrs6uZM> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [257] C. Economou. <https://www.pexels.com/de-de/foto/stadt-sonnenuntergang-dach-skyline-6367377/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [261] <https://unsplash.com/de/fotos/i6mVxAt8QwY> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [263] <https://unsplash.com/de/fotos/v2B0-OSJl60> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [265] blackcurrant. <https://pixabay.com/de/photos/uspenski-kathedrale-helsinki-kirche-1562175/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [267] <https://www.pexels.com/photo/close-up-of-lobster-248455/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [277] <https://unsplash.com/de/fotos/FY3MJ9QxBeI> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [279] <https://unsplash.com/de/fotos/4KRJEfaqY-A> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [281] <https://unsplash.com/de/fotos/yZmHFF-g-W0> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [287] <https://pixabay.com/de/images/search/biomass%20heating%20power%20plant/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [291] <https://pixabay.com/de/photos/wasser-fl%C3%BCssig-wasserOberfl%C3%A4che-824418/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [293] <https://www.pexels.com/de-de/foto/brauner-holzerner-schreibtisch-mit-rollstuhl-und-regalen-nahe-fenster-667838/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [295] <https://unsplash.com/de/fotos/bBKVrH0vzB4> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [298] <https://unsplash.com/de/fotos/PFmDIiazgzA> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [302] <https://unsplash.com/de/fotos/ESU1asZI6fE> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [305] <https://pixabay.com/de/photos/zug-x2-intercity-eisenbahn-malm%c3%b6-1639413/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [310] <https://pixabay.com/de/photos/atombunker-nuklear-ausfallen-2835496/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [316] <https://pixabay.com/de/photos/haus-geb%C3%A4ude-balkone-wohnungen-7124141/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [319] W. Gunkel. <https://unsplash.com/de/fotos/an35-e-RS58> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [323] <https://pixabay.com/de/photos/holz-brennholz-scheitholz-buche-3737420/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [327] https://unsplash.com/de/fotos/INpAmLA_bvQ (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [330] <https://www.pexels.com/photo/low-angle-view-of-office-building-against-sky-323705/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [332] ThisisEngineeringRAEng. <https://unsplash.com/de/fotos/8yS04veb1TQ> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [344] <https://pixabay.com/de/photos/b%c3%bcro-b%c3%bcrokomplex-glasfassade-1006108/> (Aufgerufen 19. Mai 2023).
- [346] M. Stebnicki. <https://pixabay.com/de/photos/gew%c3%a4chshaus-innen-gr%c3%bcnes-haus-2645743/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [349] H. Zhang. <https://unsplash.com/de/fotos/TaKf9hiVdsw> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [350] MoneyforCoffee. <https://www.pexels.com/de-de/foto/pflanzenfeld-im-gewachshaus-2886937/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [351] <https://pixabay.com/de/photos/tomaten-gew%c3%a4chshaus-landhaus-tomate-1180852/> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [355] AbsolutVision. https://unsplash.com/de/fotos/WYd_PkCa1BY (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [356] <https://unsplash.com/de/fotos/9W0TTWIZELY> (Aufgerufen 4. Mai 2023).
- [365] <https://unsplash.com/de/fotos/Ac97OqAWDvg> (Aufgerufen 4. Mai 2023).

Kontakt



Deutsche Unternehmensinitiative Energieeffizienz e. V.
E-Mail: bytes2heat@deneff.org



Universität Stuttgart

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle
Energieanwendung (IER)
Institut für Volkswirtschaftslehre und Recht (IVR)

**Institut für Energiewirtschaft und Rationelle
Energieanwendung (IER)**



Empact GmbH