



**Julius-Maximilians-Universität Würzburg**  
**Institut für Informatik**

Seminar: Nachhaltigkeit in der Informations- und  
Kommunikationsindustrie

# **Nachhaltigkeit von Datenzentren**

Seminararbeit im Fach Informatik  
vorgelegt von

**Astrid Hofmann**

# 1 Hintergrund und Vorgehen

## 1.1 Greenpeace Report

Die folgende Arbeit basiert primär auf einem Report des NGO's Greenpeace. Der Report mit Namen "Clicking Green - A race to building a green internet" erschien 2010 - 2017. Für diese Arbeit wurde nur die aktuellste Version verwendet.

Greenpeace evaluiert in dem Report (2017) die Nachhaltigkeit von IT-Unternehmen bzw deren Datenzentren anhand von 5 Kriterien:

**Die Effizienz:**<sup>1</sup> Wie ambitioniert und effektiv vermeiden Datenzentren Stromverschwendung?

**Der politische Aufwand:**<sup>2</sup> Setzt sich die Firma aktiv und effektiv dafür ein in einer Region bessere Regelungen für erneuerbare Energien zu schaffen?

**Die Konsistenz:**<sup>3</sup> Orientieren sich die Entscheidungen der Firma in die Richtung langfristig etwas zu ändern oder nur kurzfristig eine Richtlinie zu erfüllen?

**Die Qualität:**<sup>4</sup> Welche Qualität der für erneuerbare Energieversorgung abgeschlossene Vertrag?

**Die Transparenz:**<sup>5</sup> Wie viele grundlegenden Informationen sind öffentlich zugänglich? Wie viele Informationen kann der Kunde über die Nachhaltigkeit seiner Nutzung bekommen?

Es werden hier jeweils Noten von A-F vergeben.

Zusätzlich gibt es eine Einzelbeurteilung der "dreckigen" Energiequellen Kohle, Kernkraft und Erdgas<sup>6</sup> sowie eine Prozentzahl, die angibt, wie viel erneuerbare Energien in dem Datenzentrum genutzt werden:

**Erneuerbare Energie:**<sup>7</sup> Woher kommt der Strom den die Datenzentren nutzen, und gab es hierfür Ausgleichsinitiativen?

Die Beurteilung der Kriterien werden breitenweit angegeben, lediglich für die Berechnung des Anteils der *Erneuerbaren Energien* in der Stromversorgung gibt es eine Übersicht nach einzelnen Datenzentren.

## 1.2 Zielsetzung des Seminars und Adaptionen

Ziel dieser Arbeit war es, die Methodik des Greenpeace Reports anhand zwei konkret gewählten Datenzentren nachzuvollziehen und zu präsentieren. Hierzu wurden folgende Adaptionen durchgeführt:

Die *Erneuerbare Energie* wurde als Kriterium betrachtet und mit primärem Fokus untersucht. Die Aspekte der *Konsistenz* und die *Qualität* der erneuerbaren Energiestrategien der Firmen wurden zu diesem Kriterium hinzugezogen und nicht einzeln

---

<sup>1</sup>Energy Efficiency & GHG Mitigation Strategy, [1], S.44

<sup>2</sup>Advocacy methodology, Report, S.43

<sup>3</sup>Renewable Energy Commitment & Siting methodology Report, S.44

<sup>4</sup>and Renewable Energy Procurement, Report, S.45

<sup>5</sup>Energy Transparency, Report, S.43

<sup>6</sup>Coal, Nuclear and Gas Intensity, Report, S.43

<sup>7</sup>Green Energy Index, Report, S.42

betrachtet. Somit ist das erste und wichtigste Kriterium für die nachfolgende Seminararbeit: **Die Energiequelle**.

Die Kriterien der *Effizienz* und *Transparenz* wurden unverändert übernommen.

Somit bleibt aus dem Greenpeace Report das Kriterium des *politischen Aufwands* übrig, dieses wurde aufgrund der nicht-politischen Ausrichtung des Seminars zugunsten der folgenden Kriterien im Vortrag nicht erwähnt, findet im Bericht aber eine kurze Anmerkung.

Die Kriterien die stattdessen, aufgrund ihrer Aktualität und technischen Natur, unabhängig vom Greenpeace Report aufgenommen wurden, sind: **Der Wasserverbrauch**: Aus welcher Quelle stammt das verwendete Wasser? Gibt es hier Ausgleichsinitiativen? und **Die Nutzung der Abwärme**. Die Kriterien werden im Verlauf dieser Arbeit einzeln erklärt, genauer definiert und beurteilt.

### 1.3 Die Auswahl der Datenzentren

Zur exemplarischen Betrachtung wurden zwei Datenzentren ausgewählt: ein Datenzentrum der Firma Google in Hamina (Finland) und ein Datenzentrum der Firma Switch in Las Vegas (Nevada). Die Grunddaten der beiden sind in 1 erfasst. Das erste Gebäude des Datenzentrums in Hamina ist ca 10Jahre später entstanden als das in Las Vegas, Stand 2022 ist das Datenzentrum in Hamina ca. halb so groß wie das in Las Vegas. Sie sind jedoch im globalen Durchschnitt beide als "groß" zu betrachten. Beide Datenzentren (bzw zugehörige Firmen) haben in der Gesamtwertung des Greenpeace Reports besonders gut abgeschnitten bzw. wurden gesondert erwähnt. Sie zeigen damit in mindestens einem Kriterium einen stark positiven Ausschlag. Beide Firmen sind außerdem prominent (mit mindestens dem Ausschlagsaspekt) in den Medien vertreten. Die Kombination aus Informationsvorteil, der Spitzenposition und der Vergleichbarkeit legt eine Auswahl dieser Datenzentren für die Seminararbeit nahe.

	Datenzentrum A, Hamina	Datenzentrum B, Las Vegas
Standort:	Hamina, Finland [2]	Las Vegas, Nevada [3]
Konzern:	Google LLC	Switch Inc.
Konstruktionsbeginn:	2011 [4]	2000 [5]
Noch am expandieren?	Ja	Ja
Anzahl Gebäude:	6 [6]	11 [7]
Kapazität	210 MW <sup>8</sup>	495 MW [8]

Table 1: Grunddaten der betrachteten Datenzentren, Stand 2022.

8: Es wurde keine Kapazitätsangabe gefunden. Google legt in ihrem Report [9] den Standort der Datenzentren sowie der PPAs samt Kapazität offen. Ebenso wird in diesem Report die durchschnittliche Stromerzeugung der PPAs als doppelt so hoch wie der Datenzentrenverbrauch eingeschätzt. Der Stromnetzzusammenschluss von Finland und Schweden wird erwähnt. Die hier genannte Schätzung ist also die Kapazitätssumme der PPAs in Schweden, halbiert.

## 2 Energiequelle

### 2.1 Hintergrund

#### 2.1.1 Definition der "grünen Energie"

Um über den Anteil an grünen Energien in einem Datenzentrum zu urteilen ist es notwendig zu definieren, welche Energiequellen dazu zählen. Die verwendeten Worte und Label können nach wie vor verschiedene Bedeutungen haben und verschiedene Energiequellen umschließen. So kann mit "green energy" zum Beispiel "carbon-free energy" gemeint sein, was i.A. Atomstrom als "grün" einschließt.

Greenpeace spricht in dem Report (S.25) außerdem die Problematik der Energiequellen Kernenergie, Biomasse, Biogas und Brennstoffzellen an, die je nach verbranntem Material mehr oder weniger als grün eingestuft werden können. Es geht aus dem Greenpeace Report auf S.93 eindeutig hervor, dass für die Berechnungen ihrerseits Biomasse zu Kohle und Biogas zu Erdgas gezählt werden, insb nicht zu den "grünen" Energien.

Für die Beurteilung der ausgewählten 2 Datenzentren dieses Seminars werden allerdings keine der als problematisch erachteten Energiequellen betrachtet, weshalb eine weitere Untersuchung der Definitionen an dieser Stelle uninteressant ist.

#### 2.1.2 Definition von 24/7

Elektrizität ist zum aktuellen Zeitpunkt noch schwer bzw. inedit speicherbar. Daher muss zu jedem Zeitpunkt Entnahme (demand) und Einspeisung (supply) gleich sein. Elektrizität kann passabel (mit 3-20% Verlust auf 1000km) über lange Strecken transportiert werden. Die lokalen Energienetzwerke sind wiederum untereinander steuerbar verbunden um Entnahme und Einspeisung möglichst edit zu koordinieren.

Datenzentren sind i.A. an dieses normale Energienetz angeschlossen. Damit sie wahrlich 100% mit erneuerbaren Energien laufen können, dürfen in das (zumindest lokale) Netz nur Solar-, Wind-, Wasser-, und andere erneuerbaren Energiequellen einspeisen und in Folge dessen werden auch alle Konsumenten auf 100% erneuerbarem Strom laufen. Das wird i.A. zum aktuellen Zeitpunkt aufgrund der hohen Variabilität des Stromoutputs solcher Systeme, der Duck Curve und den fehlenden Speichermöglichkeiten als noch nicht erreichbar betrachtet.

Stattdessen ist der aktuell eingeschlagene Weg für den 100%-claim der Firmen der einer *Ausgleichsrechnung*: Wenn in das lokale Netz von einem zugehörigen erneuerbaren Energieprojekt im Jahresmittel die gleiche Menge Strom eingespeist wird, wie von dem Datenzentrum verbraucht, wird das als 100% erneuerbar betrieben geclaimt.

Es gibt in einigen Firmen allerdings nun den Ansatz die Ausgleichsrechnung von dem Jahresmittel auf die kurze Zeitspanne einer Stunde zu verkürzen. So wurden entweder private Energiespeicher oder zugehörigen erneuerbaren Energieprojekte in jeder Stunde soviel Strom ins Netz einspeisen, wie das Datenzentrum in dieser Stunde verbraucht.

### 2.1.3 Der Energiemarkt und PPAs

Man unterscheidet zwischen den *Netzbetreibern*, den *Kraftwerksbetreibern* und den *Konsumenten*. In den USA und Europa wird am Tag vorher durch ein (reguliertes) Marktsystem, das sich je nach Energieverbund unterscheidet, zwischen *Konsumenten* und Kraftwerksbetreibern festgelegt wo vorraussichtlich wie viel Strom zu welchem Preis in das Netz eingespeist (supply) und entnommen (demand) wird. Das ist der sogenannte Day-Ahead Market. Es gibt feinere Märkte, die die nach dem selben Prozess supply und demand auch am selben Tag planen. Die Feinjustierung von Einspeisung und Entnahme obliegt allerdings den *Netzbetreibern*, die minutlich bei Bedarf einzelne Kraftwerke oder Verbraucher zum Stromnetz zufügen, um die Betriebsspannung bis auf einen sehr kleinen Toleranzbereich im gesamten Netz gleich zu halten.

Solar-, Wind- und Wellenenergie verkomplizieren die Märkte: sie lassen sich schwerer vorausplanen, fallen ggf. kurzfristig aus und sind vor allem nicht beeinflussbar. Daher werden sie (wenn sie gerade viel Strom produzieren können oder generell) an den Märkten eher mit niedrigen Preisen gehandelt, was wenig Expansions- oder Bauanreize für Kraftwerksbetreiber bietet.

Dieser Anreiz, oft auch Grundvoraussetzung für den Bau, wird durch ein *Power Purchase Agreement* geschaffen. Der *Konsument* verspricht in einem solchen dem *Kraftwerksbetreiber* über einen Zeitraum von 5-20 Jahren einen festen Preis für seinen Strom, unabhängig vom aktuellen, ständig wechselnden Marktpreis. Somit "bestraft" der *Kraftwerksbetreiber* sich finanziell nicht, wenn er viel Strom produziert und die Variabilität ist wirtschaftlich aufgefangen. Dabei ist es zweitrangig was mit dem eigentlichen Strom passiert: Selten kommt ein *direktes PPA* zu stande, in dem der Strom über eigene Netze zum Konsumenten transportiert wird, häufiger sind das *indirekte PPAs*, die den erzeugten Strom der *Kraftwerksbetreiber* trotzdem dem normalen Energienetz zuführen. Durch die indirekten PPAs bleibt die physische Balance zwischen supply und demand weiterhin beim Netzbetreiber und dem Markt, aber die Differenz zwischen dem Marktpreis und dem PPA Preis liegt bei dem *Konsumenten*.

## 2.2 Methodik

### 2.2.1 Kapazität und Verbrauch

Zuallererst benötigen wir die Informationen darüber wie viel Strom ein Datenzentrum verbraucht. Die Maximalleistung (genannt: Kapazität) eines Datenzentrums ist in Megawatt (MW) angegeben. Die selbe Kennzahl finden wir (in anderen Dimensionen) z.B. bei Föhns oder Wasserkochern. Sie gibt an, wie viel Strom ein Datenzentrum in einer Stunde maximal verbrauchen kann. Der tatsächliche Verbrauch hängt jedoch von der Betriebsdauer und Auslastung ab und wird in MWh bzw kWh gemessen.

Der tatsächliche Verbrauch wird jedoch selten genannt. In den Medien und auch im Greenpeace Report wird ausschließlich von der Kapazität, insb auch als Maßstab für die Größe des Datenzentrums, gesprochen.

Es verhält sich analog für die erzeugenden Kraftwerke.

Für Firmen die die Kapazität ihrer Datenzentren nicht berichten oder Greenpeace o. enlegen, setzt Greenpeace eine Schätzung aufgrund der (einsehbaren) erlaubten Notversorgung an. Diese Arbeit jedoch nutzt lediglich Medienberichte und direkte Firmenaussagen zur Schätzung / Einordnung der Kapazität.

### 2.2.2 Standort und Energienetz

Danach ist der Standort des Datenzentrums zur Bestimmung des Energienetzes notwendig. Während einige Firmen die Standorte ihrer Datenzentren aus Sicherheitsgründen bewusst nicht o. enlegen, sind die meisten Datenzentren aber entweder mit Region benannt, oder sogar in GoogleMaps verzeichnet. Die Informationen zum lokalen Netzbetreiber sind idR. publik und über die Website der Stadt, Region oder des Netzverbandes einzusehen. Ebenso helfen Karten wie e.g. [10] zur Orientierung. Die Angaben zu abgeschlossenen Stromverträgen (PPAs oder Green Tariffs) sind entweder auf der Website der Firma, häufiger aber in den Medien oder durch direkte Anfragen zugänglich. Wichtig ist hierbei die Expansion der Firmen zeitgleich mitzuverfolgen, da sich deren Kapazität über die Jahre ändert. Die PPAs können danach mit ihrem Standort und ihrer Kapazität mit dem Standort und der Kapazität des Datenzentrums verglichen werden. Dabei ist es wichtig bei der Standortbeurteilung nicht die Landesgrenzen, sondern die Energiemarktgrenzen zu beachten. Diese sind o. entlich einsehbar und nachvollziehbar. Sofern PPAs und Datenzentren in der selben Höhe im selben Netz residieren, gelten sie als legitim.

## 2.3 Ergebnisse

### 2.3.1 Kapazität und Verbrauch

Die Kapazität für das Datenzentrum in Las Vegas findet man mit 495 MW auf deren Homepage: [8] Es gibt die höhere Zahl von 545MW in einer Zeitungsquelle: [11]. Für das Datenzentrum in Hamina wurde keine Kapazitätsangabe gefunden. Die Kapazität kann geschätzt werden, wie in 1 erklärt. Da diese Schätzung jedoch die hier besprochene Methodik invertiert um ihre Aussage zu treffen, kann der 100%-claim für Hamina nicht bezüglich der Höhe der PPAs verifiziert werden.

### 2.3.2 Standort und Energienetz

Beide Datenzentren sind auf GoogleMaps verzeichnet.

Die PPAs in Schweden die Google samt Kapazität und Standort angibt [9] sind über Medienberichte nachvollziehbar bzw. bestätigt. [12][13][14][15][16] Ebenso lässt sich bestätigen dass Finland ca 1/4 ihres Strombedarfs aus Schweden importieren, indem man den täglichen Load dort [17] mit den täglich importierten Strommengen [18] vergleicht.

Die Situation für Las Vegas ist etwas komplizierter. Switch hat in Nevada seit 2000 Elektrizität von NV Energy, das für die Region zuständige öffentliche Versorgungsunternehmen, bezogen. 2015 wurden zwei Solarparks, Switch Station 1 und Switch Station 2, in direkter Nähe von Las Vegas angekündigt. Es gibt einen Vertrag bzw. eine Kooperation von Switch und Las Vegas, um den Output direkt an das Datenzentrum zu liefern [19]. Das wäre ein *Direct Access* bzw. ein direktes PPA gewesen. NV Energy hat dem Wechsel jedoch 2015 nicht zugestimmt. Es wurde auf Verhandlung mit Switch der "Green Rider Tarif" eingeführt - ein Tarif mit dem NV Energy Switch eine ausreichende Menge erneuerbare Energie in ihrem Strommix garantiert, für entsprechend höhere Preise. Die ursprünglich an Switch versprochenen Solarparks liefern ihre Energie lt. Vertrag dann an NV Energy, sind aber zu diesem Zeitpunkt noch nicht fertiggestellt [20]. Auf eine Klage von Switch 1 Jahr später (2016) darf Switch gegen eine Austrittsgebühr Energie direkt von anderen Betreibern kaufen [21]. Die Solarparks die dafür gedacht waren gehen 2017 online, speisen allerdings nun in das Netz von NV Energy ein, in dem Switch vermutlich nicht mehr ist [22]. Trotzdem zahlt Greenpeace diese beiden PPAs mit Kapazität 245MW als Beitrag zur Energiewende vollwertig. 2016 wiederum führte Switch in Kooperation mit weiteren Tech-Firmen eine öffentliche Abstimmung herbei, die es auch einzelnen Haushalten ermöglichen sollte, sich von NV Energy zu trennen und direkt Strom zu kaufen [23]. Die Abstimmung wurde 2016 zu Gunsten des Vorschlags getroffen. Bei der gesetzlich notwendigen erneuten Abstimmung 2018 wurde der Vorschlag abgelehnt. Angenommen wurde allerdings ein anderer Teil der Abstimmung, der Nevada ab 2023 nun zwingt, Gesetze für 50% erneuerbare Energie im Strommix zu erlassen. Dieser Verdienst wird in den Medien und im Greenpeace Report u.a. Switch zugeschrieben [24][25].

Es gab aktuell eine Ankündigung von Switch bezüglich eines Energieprojekts namens "Gigawatt 1". Hier sollen 684MW Solarstrom entstehen, die vermutlich von Switch unter Vertrag genommen sind oder werden. 2020 wurde der Bau begonnen, es wird noch kein Strom produziert [26].

Trotzdem ist unklar woher Switch aktuell seinen Strom bezieht. Es lassen sich keine weiteren Angaben zu PPAs, direct-access Programmen oder anderen Stromnetzbetreibern für den Zeitraum 2016-2022 in den Medien oder auf der Firmenwebsite finden. Eine Standortbetrachtung entfällt daher.

### 2.3.3 24/7 Effort

Es sei erwähnt dass beide Firmen sich seit dem Greenpeace Report zu einer 24/7 Stromversorgung positioniert haben.

Es gibt einen eigenständigen Google Report zu der 24/7 Thematik. Hier werden, allerdings auch ohne Kennzahlen, beispielhaft für einige Datenzentren der 24/7 Strommix für ein Jahr angezeichnet. Google analysiert mit diesem Report woran die 24/7 Stromversorgung scheitert und beschließt einige allgemeine Strategien: Die Diversifizierung der Stromversorgung (nicht nur Wind oder nur Solar, sondern mis-

chen), die politische Aktivität in Regionen in denen PPAs aktuell gesetzlich nicht möglich sind und den Einsatz von Speichermedien. Es ist allerdings anzumerken dass Google Atomstrom als "carbon free" ansieht und damit in ihren Zukunftsstrategien einschließt.

Hamina, Finland wird in dem Report auch betrachtet und kommt auf beeindruckende 97%, in dem im Jahresverlauf 2017 stündlich die carbon free - Erzeugung dem demand gleicht. Das ist den PPAs und definitiv dem ohnehin sehr grünen Energiemix in Finland geschuldet.

Switchs Positionierung ist weniger endlich, allerdings haben sie im Zuge der Gigawatt 1 Ankündigung auch Batteriesysteme in Höhe von 1.4GWh angekündigt.

## 3 Power Usage Efficiency

### 3.1 Hintergrund

#### 3.1.1 Komponenten eines Datenzentrums

In Figure 1 sind die Komponenten eines Datenzentrums übersichtlich dargestellt. Sie lassen sich in folgende Gruppen unterteilen:

**Chiller, Humidi er, CRAC:** Der CRAC = Computer Room Air Conditioning, also die Kühlung der Server selbst sowie die Gebäudekühlung samt Luftfeuchtigkeitsskontrolle.

**PDU, UPS:** Die Power Delivery Unit (PDU), die dafür sorgt dass der Strom akkurat verteilt wird und die Uninterruptable Power Supply (UPS), die im Zweifelsfall übernimmt und nachjustiert falls das lokale Stromnetz schwankt bzw ausfällt.

**IT-Equipment:** Die eigentlichen Chips, also CPUs, GPUs, Speicher und weitere.

Das sind die Komponenten die nennenswerten Stromaufwand in einem Datenzentrum verursachen. Wie viel dabei auf was entfällt und entfallen sollte ist zu erst relevant und seit vielen Jahren in Diskussion.

#### 3.1.2 Metrik: Power Usage Efficiency

Es gibt daher seit ca. 10 Jahren die Metrik der Power Usage Efficiency, PUE. Diese besteht aus  $PUE = 1 + \frac{\text{Non IT Equipment}}{\text{IT Equipment}}$ , misst also 1 + das Verhältnis des Stromverbrauchs zwischen IT-Equipment und dem sogenannten *Overhead*: Kühlung, Stromversorgung und sonstigem. Dabei gilt: je niedriger die PUE, desto besser weniger Overhead, weniger "verschwendeter" Strom.

Die größte Kritik an dieser Metrik ist, dass sie lediglich den Overhead misst, also keine absolute Effizienz der Datenzentren.



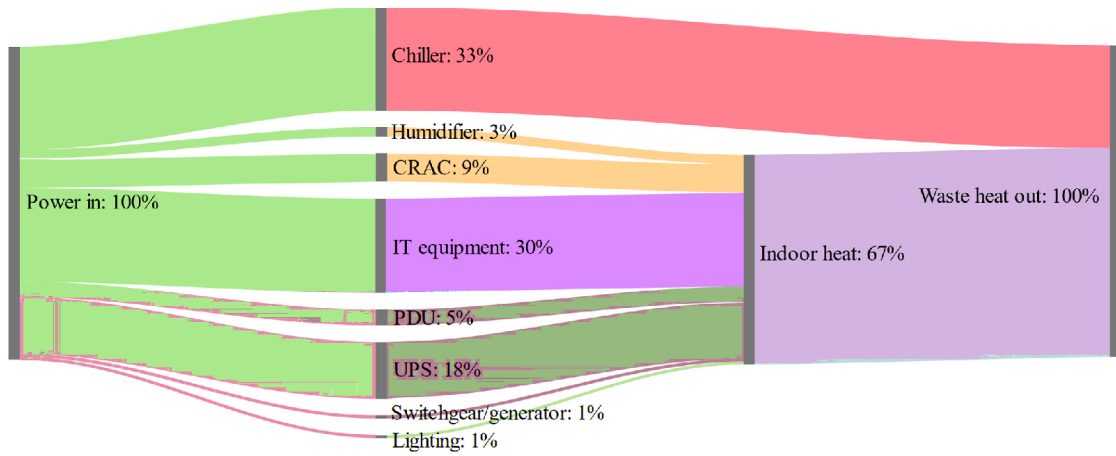


Figure 1: Sankey diagram of typical data center power flows (from [27])

Figure 1: Grafik von [27]. Beschreibt den typischen Stromverbrauch in einem Datenzentrum 2011. Die Prozentzahlen sind mittlerweile anders, die Grundstruktur identisch. Erklärung der Abkürzungen in 3.1.1

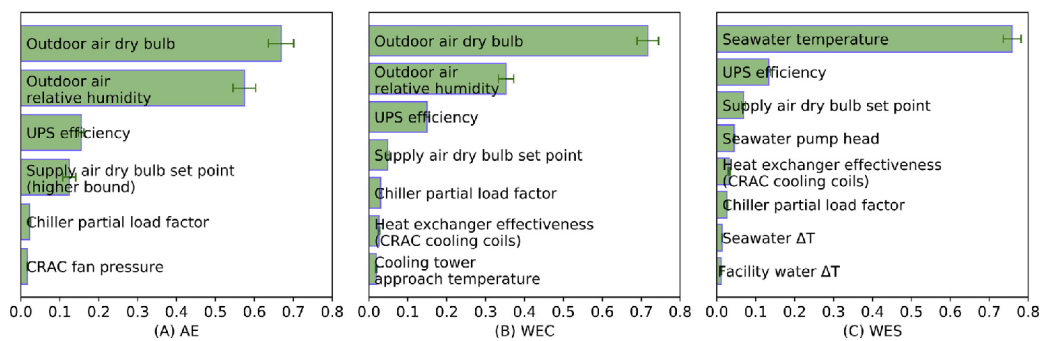


Figure 2: Grafik von [28]. Modellanalyse, welche Komponente wie viel Einfluss auf die PUE hat, unter verschiedenen Kühlsystemen: (a) Luftkühlung, (b) Wasserkühlung mit Verdampfer, (c) Wasserkühlung mit Seewasser. Dabei sieht man: die Außentemperatur und das UPS machen einen großen Unterschied, andere Kühlparameter wenig. 3.1.1

### 3.1.3 Studie: Verbesserung der PUE

Schon eigentlich immer ist das sogenannte "free cooling" bekannt - also der Umstand, dass bei einer großen Differenz zwischen Außentemperatur und Gebäudetemperatur viel Strom für die Kühlung eingespart werden kann. In [28] finden wir nun auch eine umfassende Analyse mehrerer thermischer Modelle eines Datenzentrums in Abhängigkeit einiger Kühlungsparameter, die das "free cooling" quantifiziert und in Relation zu dem anderen Stromverbrauch in einem Datenzentrum setzt. Diese Analyse ist in Figure 2 übernommen. Wir sehen, dass alle anderen Kühlungsparameter deutlich weniger Ausschlag geben, dieser Effekt also aktuell auch nicht durch Technologie kompensiert werden kann. Trotzdem finden wir vermehrt erst seit ca. 10 Jahren Datenzentren an kalten Gebieten, da diese Standorte oft mit einer großen Latenz in die gemäßigten Ballungsräume einhergehen.

Es gibt weitere Ansätze die PUE zu verbessern, z.B. durch sehr effizient angeordnete Serverkästen, speziellen Hitzeabschirmungen und natürlich: effizienteren UPS Systemen. Diese sind in wärmeren Regionen unerlässlich für einen guten PUE Score.

## 3.2 Methodik

### 3.2.1 PUE finden

Wir suchen den PUE Wert für ein bestimmtes Datenzentrum. Oftmals wird von der Firma selbst ein gemittelter oder der Spitzenwert über alle ihre Datenzentren angegeben. Manchmal findet man auch von Firmen direkt Angaben zu einzelnen Datenzentren. Alternativ sind Quellen in der wissenschaftlichen Literatur zu finden: z.B. in Form von einzelnen angefragten oder selbst bereitgestellte Werten für thermodynamische Analysen. Greenpeace erhält diese Information direkt von Firmen.

### 3.2.2 Vergleichswerte finden

Dieser Punkt wird in der Greenpeace Methodik nicht explizit erwähnt. Im Greenpeace Report werden ohnehin 100 Firmen betrachtet, daher kann die PUE auch einfach unter diesen verglichen worden sein. Im Rahmen dieser Seminararbeit vergleichen wir mit zwei Werten: Der globalen PUE, um alle Firmenentscheidungen inkl Standort mit einzurechnen und dem lokalen PUE, um insb. die über eine Standortwahl hinausgehenden Firmenentscheidungen wie z.B. Serverlayout zu berücksichtigen.

Hierbei ist "lokal" nicht an eine Stadt, ein Land/einen Staat oder einen Kontinent gebunden, sondern an die Klimazone in der sich das Datenzentrum befindet. Die Berechnung des lokalen PUE erfolgt über einen empirischer Durchschnitt.

## 3.3 Ergebnisse

### 3.3.1 PUE

Wir finden die PUE von dem Datenzentrum Las Vegas auf der Switch-Homepage: 1,28. Wir finden die PUE für Hamina auf der Google-Homepage: 1,09.

### 3.3.2 Vergleichswerte

Wir finden den globalen PUE mit 1.57 auf dem Researchportal Statista: [29]. Da die Quellen für die Grafik hinter einer Paywall verborgen sind, ist unklar wie dieser Wert zustande kommt, insb also auch wie viele Länder und Datenzentren in dem Durchschnitt eingeschlossen sind. Obwohl wir zur Zeit nicht davon ausgehen können dass alle Datenzentren ihre Werte akkurat angeben, können wir hoffen dass genug Länder und Datenzentren berichten, um die 1.57 als Stichprobe repräsentativ für den echten globalen Durchschnitt zu sehen.

Die IECC-Klimazone für Hamina ist 7 - Subarktisch. Die IECC-Klimazone für Las Vegas ist 3B - Warm/Trocken.

Der lokale Durchschnitt für diese Klimazonen wurde geschätzt: Die PUEs von verschiedenen Städten bzw Datenzentren in der jeweiligen Klimazone wurden über GoogleMaps + Firmenwebsite recherchiert und ein Durchschnitt gebildet - auf den Durchschnitt wurden 0.1 PUE aufgerechnet um auszugleichen dass nur ca 50% der Datenzentren reporten, vermutlich die, die mit ihrem PUE Werbung machen können. So kommen wir für Hamina auf 1.2 und für Las Vegas auf 1.3.

## 4 Wasserverbrauch

### 4.1 Hintergrund

#### 4.1.1 Kühlsysteme und Brauchwasser

Um zu verstehen wie ein Datenzentrum Wasser "verbraucht", sehen wir uns verschiedene Kühlsysteme an. Fast alle Kühlarten haben gemeinsam dass sie einen Wasser- bzw Kühl flüssigkeitskreislauf haben, der die Wärme vom Gebäudeinneren nach draußen transportiert. Dort wird die Flüssigkeit abgekühlt, zum Beispiel über traditionelle Lüfter oder Verdunstungskreisläufe und anschließend wieder ins Gebäude geführt. Hier kann man nach Flüssigkeitsverlust differenzieren: ein Kühlsystem ist *geschlossen*, wenn kein vorgesehener Wasserverlust (keine Verdunstung) eingesetzt wird, oder *halboffen*, wenn Verdunstungsanlagen zum Einsatz kommen. Ein *offenes* System unterscheidet sich von den o.g. Methoden. Das (kalte) Nutzwasser wird nur einmal durch das Gebäude geleitet und danach warm ins Abwasser gegeben, es entsteht kein Kreislauf. Es wird daher auch "Durchlaufsystem" genannt. Nicht jede Methode ist für jede Außentemperatur geeignet.

Die Effizienz der einzelnen Kühlmethoden ist abhängig von der benötigten Kühlleistung und der konkret ausgewählten Technologie, allerdings lässt sich pauschal sagen:

Je weniger Wasser, desto mehr Strom. Offene Systeme sind besonders stromintensiv und bringen potentiell hohe Kühlleistung, geschlossene Systeme sind stromintensiv und können nur wenig unter Außentemperatur kühlen.<sup>9</sup>

### 4.1.2 Wasserverunreinigung

Das Wasser in den Kühlanlagen muss regelmäßig gereinigt und desinfiziert werden, um Schäden an der Kühlanlage zu vermeiden. Die benutzten Chemikalien und Verfahren sind grundsätzlich ähnlich der städtischen Trinkwasseraufbereitung: Chlor, Ozon, Wasserstoffperoxid, Säuren und nichttoxische Biozide, sowie physikalische Filter diverser Art [31]. Bei offenen Systemen wird daher das Trinkwasser in ähnlicher Qualität auch wieder ins Abwasser gegeben. Das Wasser das eine halboffene Anlage verlässt ist entweder das destillierte, relativ reine Verdunstungswasser oder gesättigtes Abwasser, ähnlich dem Klärschlamm. Geschlossene Systeme haben grundsätzlich einen niedrigeren Wasserdurchsatz. Insofern kann man weniger von einer "Wassernutzung" bzw. Wasserverunreinigung als vielmehr von einem "Wasserdurchsatz" sprechen.<sup>10</sup>

### 4.1.3 Wasserquelle und Aufbereitungskosten

Das Wasser für eine Kühlung kann aus diversen Quellen entnommen werden: Naheliegenden Flüssen, Seen oder Meeren (sogenanntes *Oberflächenwasser*), eigenen Grundwasserquellen oder dem öffentlichen Trinkwassernetz. Dabei unterscheidet sich natürlich die Wasserqualität und die nötige Aufbereitung vor/in dem Kühlkreislauf selbst. Geht man davon aus dass die Aufbereitung der Firma ähnlich effizient abläuft wie die des öffentlichen Wassers, kann die Summe der benötigten Aufbereitungsenergie als gleich betrachtet werden, egal aus welcher Quelle das Wasser stammt.<sup>11</sup>

Trotzdem sind Wasseraufbereitungsemissionen nicht vernachlässigbar. Falls eine Firma diese nicht direkt über eigene Anlagen trägt bzw in ihrer PUE anerkennt, wird auch hier aktuell ein ähnliches Konzept wie bei der Energieversorgung angewandt: Die Emissionen werden durch die Förderung effizienterer öffentlicher Wasseraufbereitung ausgeglichen.

## 4.2 Methodik

Die Methodik um den Wasserverbrauch und ggf notwendige Ausgleichshöhen für ein Datenzentrum zu bestimmen wäre die folgende:

Den Standort bestimmen: Aus dem Standort lassen sich genaue Wetterdaten, insb

---

<sup>9</sup>Quelle und weiteres: [30].

<sup>10</sup>In der Literatur wird außerdem grundsätzlich zwischen "water withdrawal" und "water consumption" unterschieden: "water withdrawal" ist alles Wasser was aus einer Quelle entnommen wird, "water consumption" ist der Teil, der nicht nach Gebrauch zurück ins offizielle Abwasser gegeben wird, hier e.g. das Wasser das verdunstet.

<sup>11</sup>Quelle und weiteres: [32].

Luftfeuchtigkeit und Temperatur ableiten.

Die erzeugte Hitze bestimmen: Diese ergibt sich grobenteils direkt aus der Serverleistung, also dem Stromverbrauch der Server und deren Effizienz. Als Schätzwert kann ersatzweise auch PUE und Kapazität des Datenzentrums genutzt werden.

Das Kühlsystem bestimmen: Je nach verwendeter Technologie entfällt die Kühlung unterschiedlich stark auf die Wetterlage, Strom oder Wasser.

Aus der Kombination von Standort, Hitzeentwicklung und Kühlsystem lässt sich dann ableiten, wie viel Wasser verwendet wird.

Um die Nachhaltigkeit zu beurteilen wird als nächster Schritt die Wasserquelle bestimmt und nach etwaigen Ausgleichsprojekten gesucht.

### 4.3 Ergebnisse

#### 4.3.1 Kühlsystem

In Finland wird eine Wasserkühlung, ein offenes System, für das Datenzentrum Hamina eingesetzt [33][34].

Oft werden verschiedene Kühlmethoden verbunden um sich dem Wetter möglichst genau anzupassen. Zum Datenzentrum in Las Vegas gibt es keine genauen Angaben, eine adaptive Kühlmethode zwischen offen, halb offen und geschlossen ist jedoch aus den vorgestellten Patenten plausibel.

#### 4.3.2 Wasserquelle und Abwasser

In dem Datenzentrum in Hamina stammt das verwendete Wasser direkt aus der Ostsee, das Wasser wird danach (warmer) dorthin zurückgeführt [33][34].

In dem Datenzentrum in Las Vegas ist die Wasserquelle unklar, ohne nahes Gewässer oder Presseberichte über eigene Grundwasserquellen ist allerdings am ehesten von einer Trinkwassernutzung auszugehen. Auch zum Abwasser gibt es keine aufrechenbaren Angaben.

#### 4.3.3 Ausgleichsleistungen

Beide Firmen erwähnen in ihren Nachhaltigkeitsberichten[35][36] Ausgleichsprojekte für ihre Wassernutzung. Diese Angaben sind sehr allgemein gehalten und es fehlt an Details in dieser Seminararbeit um diese für einzelne Datenzentren nachzuvollziehen.

## 5 Abwärmenutzung

### 5.1 Motivation

Datenzentren produzieren enorme Hitze. Die sollte optimalerweise weiter genutzt werden, z.B. über Fernwärmesysteme zur Heizung einzelner Wohn- oder Stadtanlagen. Das weicht von dem Modell der traditionellen Kühlung ab, wo die Hitze an die Umgebungsluft abgegeben wird. Stattdessen wird sie hier meist aufbereitet (z.B.

für den Transport auf höhere Temperaturen gebracht) und über ein Trägermedium, e.g. Wasser, an nahe Bedarfsorte transportiert.

## 5.2 Theoretisches Potential und Umsetzung

Für unsere beiden Datenzentren sind hierzu keinerlei Informationen aufzufindbar. Die nachfolgende Betrachtung ist daher theoretisch, allgemein und kurz gehalten. Einige Firmen gaben und geben Ankündigungen für Datenzentren mit Abwärmenutzung heraus. Dabei scheint die Rechnung ca. 10MW - 20.000 moderne Haushalte zu sein. Eines der Projekte ist z.B. hier nachzulesen: [37]. Ein relativ offen zugängliches Projekt ist das Eurotheum in Frankfurt: dort ist ein Datenzentrum in einem Teil des Turms untergebracht und heizt diesen direkt. Hier finden wir keine Kapazitätsangabe sondern direkt eine Abwärmemenge: 600kW, das entspricht ca 150Hausern. Insb ist dieses Projekt schon voll funktionsfähig. Wenn man die verfügbare Fläche vergleicht fällt dieses Datenzentrum in die Kategorie "sehr klein". Mehr nachzulesen hier: [38]

## 6 Transparenz

### 6.1 Methodik

Für eine formale Beurteilung der Transparenz wäre eine mögliche Herangehensweise die interessanten / relevanten Kennzahlen zu identifizieren und danach zu beurteilen ob und mit welchem Aufwand diese aufzufindbar sind.

In dem Greenpeace Report lässt sich eine konkrete Aufstellung der (allerdings nur für den 100% Energieclaim) relevanten Kriterien finden, allerdings keine Methodik zur Beurteilung der Auffindbarkeit. Trotzdem werden hier Noten (nach teilweise unbekannter!) Methodik vergeben.

Dieser Teil wird ergänzend in der Seminararbeit angestoßen: Informationstransparenz der Unternehmen kann in verschiedene Kategorien eingeteilt werden. Die *informellen Primärquellen*, Twitter der Firma oder einzelner Angestellten, Blogs. Die *informellen Sekundärquellen*, Presseaussagen bzw. Presseberichte. Und zuletzt die *formellen Primärquellen*, also die gesammelten Informationen die die Firma in Form eines Reports an die Öffentlichkeit gibt.

In dieser Arbeit werden einige relevanten Kennzahlen zwischenzeitlich angesprochen, eine ganzheitliche Aufstellung der notwendigen Kennzahlen und Beurteilung entfällt allerdings, da dies den Rahmen einer Seminararbeit überschreitet. Die nachfolgende Betrachtung der Informationsquellen sowie die textlichen Erwähnungen in der bisherigen Arbeit sind daher als Auszug bzw. Erfahrungsbericht zu verstehen, nicht als wissenschaftliche Beurteilung dieses Kriteriums.

### 6.2 Hamina, Google

Bei Google gibt es grundsätzlich einiges an informellen Primärquellen und aufgrund der Größe auch viele informellen Sekundärquellen. Diese sind schwer geordnet durch-

suchbar, aber die einzelnen Blog- bzw Presseartikel enthalten meist konkrete Namen und zumindest einige Kennzahlen für das jeweilige Thema.

Die formellen Primärquellen bei Google teilen sich in mehrere Reports und Webseiten auf. Hier ist die Qualität wechselhaft - während einige Aspekte Erklärungen und Zahlen bekommen, werden einige Aspekte nur mit nicht aussagekräftigen Zahlen belegt. Eine Zahl wird als nicht aussagekräftig gesehen, wenn ihr andere Zahlen zur Interpretation fehlen. z.B: die Stromersparnis, wenn unklar ist, wie viel Strom insgesamt gebraucht wird. Ebenso werden viele Zahlen für alle Datenzentren kummuliert bzw gemittelt erwähnt - Informationen zu einzelnen Datenzentren sind damit schwer auffindbar und Aussagen schwer über informelle Primär- und Sekundärquellen nachprüfbar.

### 6.3 Las Vegas, Switch

Die informellen Primär- und Sekundärquellen bei Switch sind weniger zahlreich vorhanden als die von Google. Berichtet wird in der Presse vor allem über große Ankündigungen, in dem eigenen Blog über neue Aspekte. Hier findet man jedoch einige Zahlen.

Die formale Primärquelle bei Switch ist ein Report, mit der selben Problematik wie bei Google.

## References

- [1] [Online]. Available: <http://www.clickclean.org/downloads/ClickClean2016%20HiRes.pdf>
- [2] [Online; accessed 27-07-2022]. [Online]. Available: <https://goo.gl/maps/HhAEvNRHK5x2HXum9>
- [3] 27-07-2022. [Online]. Available: <https://goo.gl/maps/Ch1QHLJJdrpeb3PU8>
- [4] [Online; accessed 28-07-2022]. [Online]. Available: <https://baxtel.com/news/google-acquires-land-in-nland-for-possible-data-center-development>
- [5] 28-07-2022. [Online]. Available: <https://www.datacenterknowledge.com/archives/2011/10/04/switch-building-bigger-with-huge-vegas-expansion>
- [6] [Online; accessed 28-07-2022]. [Online]. Available: <https://www.datacenterforum.com/datacenter-forum/google-will-open-a-sixth-data-center-in-hamina-nland-in-2021>
- [7] 28-07-2022. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Switch\\_\(company\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Switch_(company))
- [8] 28-07-2022. [Online]. Available: <https://www.switch.com/las-vegas>
- [9] 28-07-2022. [Online]. Available: <https://storage.googleapis.com/gweb-sustainability.appspot.com/pdf/24x7-carbon-free-energy-data-centers.pdf>
- [10] 28-07-2022. [Online]. Available: <https://openinframap.org/#2.15/56.95/24.29>
- [11] 28-07-2022. [Online]. Available: <https://www.datacenters.com/news/switch-to-expand-las-vegas-data-center-campus-again>
- [12] Lehitrova. [Online]. Available: <https://renewablesnow.com/news/ox2-to-sell-148-mw-swedish-wind-farm-to-aquila-google-inks-ppa-543178/>
- [13] Maevaara. [Online]. Available: <https://renewablesnow.com/news/google-in-nland-to-buy-power-from-72-mw-swedish-wind-farm-357163/>
- [14] Jenasen. [Online]. Available: <https://www.marketscreener.com/quote/stock/EOLUS-VIND-AB-PUBL-22467888/news/Eolus-Enters-into-Power-Purchase-Agreement-with-Google-38165397/>
- [15] Mariestad. [Online]. Available: <https://www.ippjournal.com/news/blackrock-acquires-wind-project-in-norway-google-signs-ppas>
- [16] Eolus. [Online]. Available: <https://renewablesnow.com/news/swedish-co-eolus-wins-59-mw-wind-ppa-with-google-400603/>



- [17] [Online]. Available: [https://transparency.entsoe.eu/load-domain/r2/totalLoadR2/show?name=&defaultValue=false&viewType=TABLE&areaType=BZN&atch=false&dateTime.dateTime=28.07.2022+00:00|CET|DAY&biddingZone.values=CTY|10YFI-1-----U!BZN|10YFI-1-----U&dateTime.timezone=CET\\_CEST&dateTime.timezone\\_input=CET+\(UTC+1\)+/+CEST+\(UTC+2\)](https://transparency.entsoe.eu/load-domain/r2/totalLoadR2/show?name=&defaultValue=false&viewType=TABLE&areaType=BZN&atch=false&dateTime.dateTime=28.07.2022+00:00|CET|DAY&biddingZone.values=CTY|10YFI-1-----U!BZN|10YFI-1-----U&dateTime.timezone=CET_CEST&dateTime.timezone_input=CET+(UTC+1)+/+CEST+(UTC+2))
- [18] [Online]. Available: [https://transparency.entsoe.eu/transmission-domain/physicalFlow/show?name=&defaultValue=false&viewType=TABLE&areaType=BORDER\\_CTY&atch=false&dateTime.dateTime=28.07.2022+00:00|CET|DAY&border.values=CTY|10YSE-1-----K!CTY\\_CTY|10YSE-1-----K\\_CTY\\_CTY|10YFI-1-----U&dateTime.timezone=CET\\_CEST&dateTime.timezone\\_input=CET+\(UTC+1\)+/+CEST+\(UTC+2\)](https://transparency.entsoe.eu/transmission-domain/physicalFlow/show?name=&defaultValue=false&viewType=TABLE&areaType=BORDER_CTY&atch=false&dateTime.dateTime=28.07.2022+00:00|CET|DAY&border.values=CTY|10YSE-1-----K!CTY_CTY|10YSE-1-----K_CTY_CTY|10YFI-1-----U&dateTime.timezone=CET_CEST&dateTime.timezone_input=CET+(UTC+1)+/+CEST+(UTC+2))
- [19] [Online]. Available: <https://www.datacenterknowledge.com/archives/2016/01/05/switch-contracts-for-solar-power-for-its-entire-data-center-footprint>
- [20] [Online]. Available: <https://www.eqmagpro.com/switch-starts-2016-as-the-worlds-largest-colocation-data-center-to-be-100-green/>
- [21] [Online]. Available: <https://www.washingtontimes.com/news/2016/dec/23/data-center-company-switch-nally-okd-to-leave-nv/>
- [22] [Online]. Available: <https://www.edf-re.com/project/switch-solar/>
- [23] [Online]. Available: <https://www.nvsos.gov/sos/home/showdocument?id=5824>
- [24] [Online]. Available: [https://ballotpedia.org/Nevada\\_Question\\_3,\\_Changes\\_to\\_Energy\\_Market\\_and\\_Prohibit\\_State-Sanctioned\\_Electric-Generation\\_Monopolies\\_Amendment\\_\(2018\)](https://ballotpedia.org/Nevada_Question_3,_Changes_to_Energy_Market_and_Prohibit_State-Sanctioned_Electric-Generation_Monopolies_Amendment_(2018))
- [25] [Online]. Available: <https://www.vox.com/2020/11/4/21536321/nevada-question-6-renewable-energy-results>
- [26] [Online]. Available: <https://www.switch.com/switch-and-capital-dynamics-break-ground-on-massive-solar-and-battery-storage-developments-advancing-rob-roys-gigawatt-nevada/>
- [27] M. Manganelli, A. Soldati, L. Martirano, and S. Ramakrishna, "Strategies for improving the sustainability of data centers via energy mix, energy conservation, and circular energy," *Sustainability*, vol. 13, p. 6114, 05 2021.
- [28] N. Lei and E. Masanet, "Statistical analysis for predicting location-specific data center pue and its improvement potential," *Energy*, vol. 201, p. 117556, 2020. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544220306630>
- [29] [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/1229367/data-center-average-annual-pue-worldwide/>

- [30] [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.at/leadadmin/site/publikationen/REP0376.pdf>
- [31] [Online]. Available: <https://aqua-technik-gmbh.de/wp-content/uploads/2018/06/Ratgeber-K%C3%BChlwasser-K%C3%BChlkreislauf-und-K%C3%BChl%C3%BCrme.pdf>
- [32] [Online]. Available: <https://www.wikiwand.com/de/Wasseraufbereitung>
- [33] [Online]. Available: <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/googles-nland-data-center-pioneers-new-seawater-cooling/>
- [34] [Online]. Available: <https://www.araner.com/blog/seawater-cooling-system>
- [35] [Online]. Available: <https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/google-2022-environmental-report.pdf>
- [36] [Online]. Available: [https://www.switch.com/wp-content/uploads/2022/04/22-03\\_SW\\_ESG-Report-2021.pdf](https://www.switch.com/wp-content/uploads/2022/04/22-03_SW_ESG-Report-2021.pdf)
- [37] [Online]. Available: <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/multigrids-5mw-data-center-in-stockholm-will-recycle-waste-heat/>
- [38] [Online]. Available: <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/cloudheat-moves-into-european-central-banks-former-data-center/>