

# **Technische Parameter des Videostreamings mit potenzieller Relevanz für den Energie- verbrauch**

**Bachelorarbeit** zur Erlangung des akademischen Grades:

Bachelor of Science in Informatik

von

Jonas Graze

jonas.graze@uzh.ch

18-726-539



**Universität  
Zürich<sup>UZH</sup>**

Institut für Informatik  
der Universität Zürich

Unter der Betreuung von  
Prof. Dr. Lorenz Hilty

Abgegeben am 07.08.2022

## **Zusammenfassung**

Die Ergebnisse für die Berechnung des Energieverbrauchs von Streaming liegen momentan sehr weit auseinander. Die Schwierigkeit dabei ist, dass viele Annahmen getroffen werden müssen und der Prozess des Streamings äusserst komplex ist. Ziel dieser Arbeit ist es, die relevanten Parameter für den Energieverbrauch des Streamings zu bestimmen und ebenfalls Möglichkeiten aufzuzeigen, um mithilfe dieser Parameter den Energieverbrauch effektiv zu senken. Hierzu wurde mithilfe verfügbarer Literatur der Prozess des Streamings zerlegt, um zu ermitteln, an welchen Stellen während des Videostreamings Energie verbraucht wird. Im zweiten Teil wurde herausgearbeitet, welche Parameter entscheidenden Einfluss auf die Höhe des Energieverbrauchs haben. Dabei stellte sich heraus, dass die relevanten Parameter für den Energieverbrauch des Streamings die Auslastung und die Energieeffizienz der Server in den Rechenzentren, die Dateigrösse der Videos, die Effizienz der Datenübertragung und die Bildschirmgrösse des Endgeräts sind. Effektive Möglichkeiten, um mit diesen Parametern den Energieverbrauch zu senken, sind die Anschaffung energieeffizienter Server, die Servervirtualisierung, die Verwendung sogenannter Content Delivery Networks (CDN), der Ausbau der Glasfasernetze und der 5G-Infrastruktur, die Komprimierung der Videodateien und die Wahl kleinerer Wiedergabegeräte.

## **Abstract**

The results for the calculation of the energy consumption of streaming are currently very far apart. The difficulty here is that many assumptions have to be made and the streaming process is very complex. The aim of this work is to determine the relevant parameters for the energy consumption of streaming and also to show ways to effectively reduce energy consumption using these parameters. To achieve this goal, available literature was used to analyze the streaming process to find out where energy is consumed during video streaming. In the second part, it was worked out which parameters have a decisive influence on the level of energy consumption. It turned out that the relevant parameters for the energy consumption of streaming are the utilization and energy efficiency of the servers in the data centers, the file size of the videos, the efficiency of file transfer and the screen size of the end device. Effective ways to reduce energy consumption with these parameters are the purchase of energy-efficient servers, server virtualization, the use of so-called content delivery networks (CDN), the expansion of fiber optic networks and the 5G infrastructure, the compression of video files and the choice of smaller displaying devices.

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	I
Abstract .....	II
Abbildungsverzeichnis .....	IV
Tabellenverzeichnis.....	IV
1    Einleitung .....	1
2    Technische Parameter .....	2
2.1    Rechenzentren .....	3
2.1.1    Server .....	3
2.1.2    Netzwerk .....	5
2.1.3    Kühlung .....	5
2.1.4    Sonstige Infrastruktur .....	8
2.2    Kommunikationsnetze.....	9
2.2.1    Festnetz.....	9
2.2.2    Mobilfunk.....	9
2.3    Endgeräte.....	10
2.3.1    Bildschirmgrösse .....	10
2.3.2    Bildschirmtechnologie .....	10
2.3.3    Produktion .....	11
3    Ermittlung der entscheidenden Parameter für den Energieverbrauch.....	11
3.1    Rechenzentren .....	11
3.1.1    Energieeffiziente Server .....	12
3.1.2    Servervirtualisierung .....	13
3.1.3    Energieeinsparpotenziale der Kühlung .....	13
3.2    Kommunikationsnetze.....	14
3.2.1    Content Delivery Network (CDN) .....	15
3.2.2    Komprimierung der Videodateien.....	15
3.2.3    Ausbau der Glasfasernetze und der 5G-Infrastruktur.....	18

3.3	Endgeräte.....	19
3.3.1	Bildschirmgrösse.....	20
3.3.2	Produktion .....	20
4	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	21
5	Beurteilung der Ergebnisse .....	22
6	Fazit.....	24
7	CO <sub>2</sub> -Rechner .....	25
	Literaturverzeichnis.....	28
	Anhang: Quellcode des CO <sub>2</sub> Rechners.....	33

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1:	Festlegung der Werte für die Berechnung .....	25
Abbildung 2:	Resultat des CO <sub>2</sub> -Rechners .....	26
Abbildung 3:	Zusammensetzung der CO <sub>2</sub> -Emissionen.....	27

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1:	Datenübertragung pro Stunde Streaming (komprimiert und unkomprimiert) .....	18
------------	---	----

# 1 Einleitung

Videostreaming erfreut sich zunehmender Beliebtheit und ist nach der Neuen Zürcher Zeitung in Bezug auf das Klima „das neue Fliegen“ (Fuster, 2019). Durch hochauflösende Videodateien, der zunehmenden Zahl an Nutzern von Streamingportalen und dem daraus resultierenden steigenden Energieverbrauch ist Videostreaming äusserst relevant für das Klima und damit auch für die Wissenschaft. Verschiedene Studien schätzen den Anteil des CO<sub>2</sub>-Ausstosses durch digitale Technologien – wovon die Videoübertragung den grössten Teil ausmacht – am weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstoss auf knapp vier Prozent, womit sie noch mehr CO<sub>2</sub> verursachen würden als ganz Japan (Ferreboeuf, Efoui-Hess & Kahraman, 2019) (Ritchie, Roser & Rosado, 2020). Über die exakte Grösse des Energieverbrauchs durch das Streaming herrscht indes keine Einigkeit (Hilty, 2019), da bei der Berechnung einige Annahmen getroffen werden müssen und es schwierig ist, die entscheidenden Parameter zu identifizieren.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die technischen Parameter mit potenzieller Relevanz für den Energieverbrauch durch Videostreaming herauszufinden und hiervon diejenigen zu ermitteln, die den grössten Einfluss haben. Zugleich soll nach Möglichkeiten gesucht werden, diese Parameter so zu beeinflussen, dass der gesamte Energieverbrauch durch Videostreaming effektiv reduziert werden kann. Dabei wird auf eine genaue Berechnung des Energieverbrauchs und dem daraus resultierenden CO<sub>2</sub>-Ausstoss verzichtet und auf die Arbeit von Marvin Münger verwiesen, die hierauf eingeht und insoweit eine Ergänzung zur vorliegenden Arbeit darstellt. Um dieses Ziel zu erreichen, wird der Prozess des Streamings in die Kategorien Rechenzentren, Kommunikationsnetze und Endgeräte unterteilt. Für jede Kategorie werden die einzelnen Parameter herausgearbeitet und im darauffolgenden Kapitel jeweils diejenigen Parameter bestimmt, die innerhalb der einzelnen Kategorie entscheidenden Einfluss auf die Höhe des Energieverbrauchs haben. Ferner wird nach Möglichkeiten gesucht, wie diese Parameter zur effektiven Reduzierung des Energieverbrauchs beeinflusst werden können. Am Ende wird ein zusammen mit Marvin Münger erstellter CO<sub>2</sub>-Rechner vorgestellt, der es ermöglicht, in verschiedenen Szenarien den Energieverbrauch durch das Streaming und den dabei verursachten CO<sub>2</sub>-Ausstoss zu berechnen.

## 2 Technische Parameter

In diesem Kapitel werden mithilfe wissenschaftlicher Arbeiten die Parameter ermittelt, die innerhalb des Vorgangs des Videostreamings Energie verbrauchen. Im darauffolgenden Kapitel wird dann für jede der Kategorien (Rechenzentren, Kommunikationsnetze und Endgeräte) herausgearbeitet, welche Parameter besonders relevant für die Höhe des Energieverbrauchs sind. Auf diese Parameter wird dann detailliert eingegangen, um Möglichkeiten zu ermitteln, wie mit deren Hilfe der Energieverbrauch effektiv reduziert werden kann.

Videostreaming ermöglicht es, Videodateien wiederzugeben, ohne diese vorher herunterladen zu müssen. Der Nutzer kann dabei von jedem Ort und zu jeder Zeit auf das Videoangebot des Streamingdienstes zugreifen. Während der Wiedergabe wird die Videodatei in komprimierten Datenpaketen auf das Gerät des Nutzers übertragen, der sich bei einer stabilen Internetverbindung das Video ohne Verzögerung anschauen kann. Bekannte Anbieter sind Dienste wie Netflix, Apple TV+ und Youtube. Zwar können auch Audiodateien gestreamt werden. Gegenstand dieser Arbeit ist jedoch ausschliesslich das Videostreaming. Um die Videodateien ihren Nutzern zu jeder Zeit bereitstellen zu können, benötigen die Streaminganbieter Server, auf denen die Videodateien gespeichert sind und auf die rund um die Uhr zugegriffen werden kann. Die Server befinden sich meist in sogenannten Rechenzentren – auch Datacenter genannt. Rechenzentren sind in der Regel grosse Gebäude, in denen die Dienstleister (Betreiber des Rechenzentrums) ihren Kunden – in diesem Fall den Streaminganbietern – Speicherplatz und Rechenkapazität zur Verfügung stellen und gewährleisten, dass jederzeit auf die Server und die dort hinterlegten Daten zugegriffen werden kann. Auf die Aufgabe und die Funktion der Server und der Rechenzentren wird im späteren Verlauf der Arbeit vertieft eingegangen. Wenn ein Nutzer auf einen Film zugreifen möchte, wird dieser durch den Server, auf dem sich die Videodatei befindet, bereitgestellt. Über ein komplexes Netz an Kabeln und Funkmasten (Kommunikationsnetze) wird die Videodatei, während der Nutzer das Video auf seinem Gerät bereits wiedergibt, auf das Endgerät des Nutzers übertragen. Auf die verschiedenen Ausführungen der in Betracht kommenden Endgeräte, die sich häufig signifikant in der Bildschirmgrösse und der Bildschirmtechnologie unterscheiden, wird später eingegangen.

Im folgenden Kapitel wird auf die Funktion und den Aufbau der Rechenzentren eingegangen. Ferner werden die Parameter ermittelt, die einen Einfluss auf die Höhe des Energieverbrauchs durch das Videostreaming haben.

## 2.1 Rechenzentren

Betreiber von Rechenzentren stellen ihren Kunden mithilfe von Servern innerhalb ihrer Rechenzentren Speicherplatz und Rechenleistung zur Verfügung. Praktisch alles, was im Internet vonstatten geht, läuft über Rechenzentren. Über die Server eines Rechenzentrums werden nicht nur Videos bereitgestellt, sondern auch Emails verschickt und empfangen, Webseiten und Datenbanken betrieben und noch viele weitere Prozesse abgewickelt. Für die meisten Unternehmen ist es aus finanzieller Sicht unattraktiv, eigene Server anzuschaffen und zu unterhalten. Kostentreiber sind insbesondere diverse Sicherheitsstandards, zu deren Erfüllung die Unternehmen gesetzlich verpflichtet sind. Ferner müssten sich Unternehmen gegen den Verlust und den Diebstahl ihrer Daten durch Cyberangriffe sowie gegen Brände, Serverüberhitzung, Vandalismus und Stromausfälle absichern. Betreiber von Rechenzentren hingegen können sich auf die Bereitstellung von Servern spezialisieren und dadurch Kosten minimieren. Aus diesem Grund ist es für Unternehmen in der Regel günstiger, die Dienstleistung eines Rechenzentrums in Anspruch zu nehmen als eigene Server zu unterhalten. Durch die grosse Kundenzahl von Streaminganbietern wie Netflix ist es für diese praktisch unumgänglich, auf den Speicherplatz und die Rechenleistung von Rechenzentren zurückzugreifen.

Der Betrieb eines Rechenzentrums erfordert verschiedene Geräte, um mit den grossen Datenmengen umgehen zu können und ebenfalls die Sicherheit der Daten zu gewährleisten. Zu diesen Geräten zählen die Server und Speicher (diese werden in dieser Arbeit zusammen betrachtet), das Netzwerk innerhalb eines Rechenzentrums, die Kühlung der elektrischen Geräte und die sonstige Gebäudeinfrastruktur (Hintemann & Clausen, 2018b) (Dehli, 2020). Auf diese verschiedenen Komponenten eines Rechenzentrums und deren Energieverbrauch wird in den folgenden Unterkapiteln eingegangen.

### 2.1.1 Server

Ein physischer Server ist praktisch das Gleiche wie ein Computer; er verfügt ebenfalls über Komponenten wie Netzteile, Arbeitsspeicher und Festplatten. Anders als ein Computer im herkömmlichen Sinne stellt ein Server jedoch seine Ressourcen (Rechenleistung und Speicherplatz) für die Geräte, die auf ihn zugreifen, bereit. Ein Server muss dauerhaft in Betrieb sein, damit andere Geräte jederzeit auf die Programme, die auf ihm laufen (Server im Sinne von Software), zugreifen können. Innerhalb eines Rechenzentrums befinden sich mehrere Räume (Serverräume genannt), die mit grossen Schränken gefüllt sind. Diese Schränke (sogenannte Serverracks) sind gefüllt mit Servern und anderen elektronischen Geräten wie Routern,



Switches und vielen Kabeln. Die Zurverfügungstellung der Rechenleistung und des Speicherplatzes der Server bildet das Kerngeschäft eines Rechenzentrums.

Der Energieverbrauch von Servern setzt sich aus dem Verbrauch durch die Serverherstellung und aus dem laufenden Betrieb zusammen (Bieser, 2018). Da Server selten ersetzt werden und dauerhaft eingeschaltet sind, dominiert bei ihnen – im Vergleich zu anderen Geräten – der Energieverbrauch durch die Nutzung (Bieser, 2018). Eine wichtige Kennzahl für die Effizienz eines Servers ist dessen Auslastung. Diese gibt den Anteil der tatsächlich beanspruchten Leistung eines Servers im Verhältnis zur maximal möglichen Leistung wieder. Gerade bei Servern ist die Auslastung äusserst relevant für den Energieverbrauch, da dieser nicht proportional zur Auslastung fällt; mithin ein Server bei niedriger Auslastung mehr Energie im Verhältnis zur genutzten Leistung verbraucht als bei hoher Auslastung (Bieser, 2018) (Dehli, 2020). Ein Grund für die niedrige Auslastung einzelner Server ist, dass mehrere Server häufig gleichzeitig mit einer niedrigen Auslastung laufen anstatt wenige mit einer hohen Auslastung. Rechenzentren können dem entgegensteuern, indem sie die Server virtualisieren (Bieser, 2018) (Dehli, 2020). Dabei werden aus einem einzigen physischen Server mehrere virtuelle Server gemacht und so ermöglicht, dass auf einem physischen Server mehrere Prozesse gleichzeitig ablaufen können und nicht mehrere unterschiedliche Server benötigt werden (Dehli, 2020). Dadurch können die weiteren Server in der Zeit, in der sie nicht benötigt werden, abgeschaltet werden.

Ein weiterer Parameter für den Energieverbrauch der Server eines Rechenzentrums ist die Energieeffizienz der einzelnen Server (Dehli, 2020). Bei ihrer Anschaffung sollte darauf geachtet werden, dass die Server einen niedrigen Energieverbrauch im Verhältnis zu ihrer Leistung haben (Dehli, 2020). Nach Martin Dehli weisen gerade Server im mittleren Leistungssegment ein gutes Verhältnis zwischen Energieverbrauch und Rechenleistung auf (Dehli, 2020). Ferner können die Rechenzentren ihre Kunden auf solche Programme und Daten hinweisen, auf die selten zurückgegriffen wird. In Absprache mit den Kunden können sodann überflüssige Programme und Daten gelöscht werden, die sonst die Server beanspruchen und damit unnötig Energie verbrauchen würden (Dehli, 2020).

Die Auslastung der Server ist eine wichtige Grösse für deren Energieverbrauch. Die Server und die Datenspeicherung verbrauchen innerhalb eines Rechenzentrums am meisten Energie (Hintemann & Clausen, 2018a) (Dehli, 2020). Die Rolle der Server für den gesamten Energieverbrauch eines Rechenzentrums wird im dritten Kapitel näher untersucht.

## **2.1.2 Netzwerk**

Das interne Netzwerk eines Rechenzentrums verbindet die Server untereinander und mit dem Netzwerk der Internetanbieter ausserhalb des Rechenzentrums. Es besteht aus Routern, Switches und zahlreichen Kabeln. Jeder Server muss an das Netzwerk angeschlossen sein. Je mehr Server sich innerhalb eines Rechenzentrums befinden, desto umfangreicher muss das Netzwerk sein. Wie bei den Servern kann der Energieverbrauch des Netzwerks durch die Verwendung von Geräten mit einer hohen Energieeffizienz gesenkt werden (Dehli, 2020). Ausserdem ist es möglich, das Netzwerk zur effizienteren Gestaltung zu virtualisieren, wodurch ebenfalls Energie gespart werden kann (Dehli, 2020). Am gesamten Energieverbrauch hat das Netzwerk eines Rechenzentrums jedoch den kleinsten Anteil (Hintemann & Clausen, 2018a).

## **2.1.3 Kühlung**

Durch die vielen Server, die ständig eingeschaltet sind, entsteht innerhalb der Serverräume viel Abwärme. Ohne ausreichende Kühlung droht die Überhitzung eines Servers, einer Festplatte oder eines anderen Geräts, was den Betrieb des Rechenzentrums gefährden und schlimmstenfalls zum Datenverlust führen könnte. Die demnach ununterbrochen erforderliche Kühlung der Geräte macht innerhalb der Rechenzentren einen grossen Anteil des Gesamtenergieverbrauchs aus (Dehli, 2020). Dabei kann der Anteil der Kühlung am Energieverbrauch je nach Rechenzentrum – besonders aufgrund seiner geografischen Lage – stark variieren. Bei den Rechenzentren in Deutschland etwa macht die Kühlung rund ein Viertel des Energieverbrauchs aus (Hintemann & Hinterholzer, 2018) (Franz, 2021).

Rechenzentren verwenden verschiedene Kühlarten, die sich oft deutlich im Hinblick auf ihren Energieverbrauch unterscheiden (Hintemann, Hinterholzer & Clausen, 2020). Rechenzentren können auf Kompressionskältemaschinen oder auch innovative, meist umweltschonendere und energieeffizientere Verfahren wie der freien Kühlung, zurückgreifen (Hintemann et al., 2020). Einzelne Verfahren werden nun kurz vorgestellt:

### **Kompressionskältemaschinen**

Kompressionskältemaschinen werden nicht nur in der Industrie sondern auch in Privathaushalten – beispielsweise in Kühlschränken – verwendet (Dehli, 2020). Durch die intensive Nutzung innerhalb eines Rechenzentrums resultiert daraus jedoch ein hoher Energieverbrauch (Hintemann et al., 2020). Ferner benötigt eine Kompressionskältemaschine für den Betrieb Kältemittel, wobei häufig synthetische Mittel verwendet werden, die äusserst umweltschädlich sind (Rombach, 2013).

## **Direkte und indirekte freie Kühlung**

Vielversprechende nachhaltige Alternativen sind die direkte und indirekte freie Kühlung (Hintemann et al., 2020). Durch die freie Kühlung werden die Serverräume durch die Aussentemperatur – falls diese kälter als die Innentemperatur ist – gekühlt. Dabei wird bei der direkten freien Kühlung die Aussenluft direkt in die Serverräume geführt. Da die Aussenluft jedoch eine zu hohe oder zu niedrige Luftfeuchtigkeit aufweisen kann und sich für die Geräte schädliche Partikel in der Luft befinden können, muss die Luft vorher ent- bzw. befeuchtet sowie gefiltert werden (Hintemann et al., 2020) (Petschke, 2015). Dieser Aufwand kann sehr teuer und aufwendig sein (Petschke, 2015). Die indirekte freie Kühlung hingegen hat den Vorteil, dass die Aussenluft samt etwaiger Partikel nicht in das Innere des Rechenzentrums gelangt, sondern die Kälte der Aussenluft über ein Zwischenmedium (Luft oder Wasser) in das Rechenzentrum übertragen wird (Hintemann et al., 2020). Verglichen mit der direkten freien Kühlung hat sie allerdings den Nachteil, dass durch die Übertragung der Kälte auf das Zwischenmedium mithilfe eines Wärmetauschers Energie aufgewendet werden muss und somit Effizienz verloren geht (Petschke, 2015). Als Zwischenmedium wird Luft oder Wasser verwendet, wobei Wasser bessere Eigenschaften als Luft aufweist (Hintemann et al., 2020). Wasser besitzt nämlich eine höhere Wärmekapazität, weshalb es die Abwärme der Geräte besser speichern und abführen kann als Luft (Franz, 2021) (Hintemann et al., 2020). Ausserdem muss durch die im Vergleich zur Luft höhere Dichte des Wassers weniger Volumen bewegt und somit weniger Energie aufgewendet werden, um die Abwärme weg von den Geräten zu transportieren (Hintemann et al., 2020). Im Ergebnis kann durch die Verwendung von Wasser anstelle von Luft als Zwischenmedium bei der Kühlung 70 Prozent an Energie eingespart werden (Hintemann et al., 2020). Gleichwohl schrecken die Betreiber von Rechenzentren häufig vor der Verwendung von Wasser zurück, da bei einem Leck der Leitungen die Geräte durch das Wasser beschädigt werden können (Hintemann, 2017).

Wenn die Aussenluft im Sommer – wie in den hiesigen Breitengraden – meist wärmer ist als die Luft innerhalb eines Rechenzentrums, muss die freie Kühlung um eine mechanische Kühlung oder andere Kühlverfahren ergänzt werden, um die Kühlung stets zu gewährleisten (Alsen & Theede, 2014). In anderen Breitengraden wiederum – wie in etwa im nördlichen Skandinavien – kann mithilfe der freien Kühlung sogar ganz auf eine mechanische Kühlung verzichtet werden (Hintemann et al., 2020). Insgesamt bietet die freie Kühlung im Hinblick auf die Kühlung ein Energieeinsparpotenzial von 40 bis 90 Prozent (Hintemann et al., 2020).

## **Abwärmenutzung**

Eine weitere Möglichkeit der Energieeinsparung für Rechenzentren stellt die Nutzung der

Serverabwärme dar. So kann die Abwärme entweder zur Beheizung des eigenen Gebäudes verwendet oder an nahegelegene Abnehmer wie etwa Schwimmbäder oder Gewächshäuser abgegeben werden (Hintemann & Hinterholzer, 2018). Als Gründe für die bislang unterbliebene Abwärmenutzung gaben Betreiber von Rechenzentren das Fehlen geeigneter Abnehmer, das geringe Temperaturniveau der Abwärme und die fehlende Wirtschaftlichkeit an (Hintemann & Clausen, 2018b).

### **Direkte Heisswasserkühlung**

Ein weiteres Konzept zur Kühlung der Server eines Rechenzentrums ist die direkte Heisswasserkühlung (Hintemann et al., 2020). Da hierbei das Wasser zur Kühlung genau dorthin geleitet wird, wo die Wärme entsteht (CPUs und Arbeitsspeicher der Server), soll sich selbst Wasser mit einer Temperatur von bis zu 40 bzw. 45 Grad noch zur Kühlung eignen (Thomas-Krenn.AG, o. D.) (Ostler, 2018). Das Wasser, das die Abwärme von den Servern wegtransportiert, wiederum ist über 50 Grad heiss und damit besonders geeignet, die Abwärme wirtschaftlich nutzbar zu machen (Hintemann et al., 2020) (Thomas-Krenn.AG, o. D.) (Ostler, 2018).

Daneben existieren noch viele weitere nachhaltige Konzepte zur Kühlung eines Rechenzentrums (Hintemann et al., 2020). Deren Darstellung würde Zielsetzung und Rahmen dieser Arbeit sprengen, weshalb hierauf verzichtet wurde.

### **Optimale Betriebstemperatur**

Unabhängig von der verwendeten Kühlung können die Betreiber von Rechenzentren Energie sparen, indem sie die Betriebstemperatur der Kühlung optimieren und sogenannte Warm- und Kaltgänge in die Serverräume einbauen (Dehli, 2020). Aus Angst vor Defekten an den Geräten und möglichen Datenverlusten arbeiten manche Rechenzentren mit tieferen Betriebstemperaturen als notwendig. Vor 15 Jahren waren Zulufttemperaturen in Höhe von 20 °C üblich, wohingegen heutzutage Temperaturen von 25 bis teilweise sogar 30 °C ausreichen würden, um moderne Server zu kühlen (Hintemann & Clausen, 2018b). Eine derartige Erhöhung der Betriebstemperatur würde dazu führen, dass weniger gekühlt werden müsste und somit Energie eingespart werden könnte (Hintemann & Clausen, 2018b).

### **Warm- und Kaltgänge**

Zusätzlich ermöglichen Warm- und Kaltgänge eine effizientere Kühlung. Von sogenannten Warm- und Kaltgängen spricht man, wenn die Serverschränke so platziert werden, dass die Rückseiten, aus denen die warme Luft strömt, und die Vorderseiten, zu denen die kalte Luft geführt wird, sich jeweils gegenüberstehen (Dehli, 2020). Dadurch entstehen Warm- und

Kaltgänge, die es ermöglichen, die kalte und die warme Luft effizienter zu- und abzuführen und somit Energie einzusparen (Dehli, 2020).

Die Kühlung verbraucht innerhalb eines Rechenzentrums nach den Servern am meisten Energie (Hintemann & Clausen, 2018a). Jedoch hängt das Mass der erforderlichen Kühlung direkt von der Anzahl und der Energieeffizienz der verwendeten Server ab (Matzen, 2016). Denn je mehr Energie durch die Server verbraucht und damit in Wärme umgewandelt wird, desto mehr Energie muss für die Kühlung aufgewendet werden. Es gibt verschiedene Konzepte zur Kühlung, die sich in der Höhe des Energieverbrauchs deutlich unterscheiden (Hintemann et al., 2020).

## **2.1.4 Sonstige Infrastruktur**

Die sonstige Infrastruktur eines Rechenzentrums umfasst Brandschutzsysteme, Sicherheitssysteme, Anlagen zur unterbrechungsfreien Stromversorgung und sonstige Geräte, die zum Betrieb eines Rechenzentrums erforderlich sind (Dehli, 2020).

### **Brandschutzsystem**

Um den Verlust von Daten zu verhindern, ist ein Rechenzentrum auf ein umfangreiches Brandschutzsystem angewiesen. Dies beinhaltet eine frühe Branderkennung und einen schonenden Löschvorgang – etwa mittels einer Gaslöschanlage –, um den Geräten innerhalb der Serverräume nicht zu schaden (Schmid, 2021).

### **Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)**

Die unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) soll gewährleisten, dass die Server und die anderen Geräte innerhalb des Rechenzentrums bei einem Stromausfall nicht ausfallen (Dehli, 2020). Dabei werden Brennstoffzellen, Dieselgeneratoren oder andere Konzepte verwendet (Hintemann et al., 2020) (Franz, 2021). Diese verursachen – gerade weil sie regelmässig getestet werden müssen – einen zusätzlichen Energieverbrauch (Dehli, 2020).

Weitere Energieverbraucher innerhalb eines Rechenzentrums sind verschiedene elektronische Geräte wie unter anderem Tastenfelder für die Sicherheitsschleusen eines Rechenzentrums, Computer, Beleuchtungsanlagen und die Heizung des Gebäudes.

Zwar verbraucht die sonstige Infrastruktur eines Rechenzentrums – und hiervon insbesondere die unterbrechungsfreie Stromversorgung – eine erhebliche Menge an Energie (Hintemann & Clausen, 2018a). Jedoch wird die Höhe des Energieverbrauchs der Infrastruktur massgeblich durch den Energieverbrauch und die Anzahl der Server und Speicher beeinflusst (Matzen, 2016). Beispielsweise muss die unterbrechungsfreie Stromversorgung weniger umfangreich sein, wenn die Server und Speicher weniger Energie verbrauchen (Matzen, 2016).

## **2.2 Kommunikationsnetze**

Kommunikationsnetze sind komplexe Netze von Kupferkabeln, Glasfaserkabeln und Sendemasten für den mobilen Datenverkehr. Im Fall des Videostreamings werden über sie die Videodateien in kleinen Datenpaketen an den streamenden Nutzer übertragen. Ihr Energieverbrauch resultiert aus der Produktion der Kabel und Geräte und insbesondere dem Energiebedarf pro Bitrate (Köhn, Gröger & Stobbe, 2020). Die Kommunikationsnetze lassen sich in zwei Kategorien einteilen: das Festnetz und das Mobilfunknetz. Das Festnetz beinhaltet die Kupfer- und Glasfaserkabel, wohingegen das Mobilfunknetz in den Generationen 2G bis 5G ausgebaut ist (Franz, 2021). In den folgenden Unterkapiteln wird jeweils auf das Festnetz und das Mobilfunknetz und deren Einfluss auf die Höhe des Energieverbrauchs durch das Videostreaming eingegangen.

### **2.2.1 Festnetz**

Beim Festnetz eignen sich Glasfaserkabel in vielen Punkten besser als Kupferkabel (Köhn et al., 2020). Zum einen verbrauchen Glasfaserkabel gemessen pro Bitrate weniger Strom als Kupferkabel (Köhn et al., 2020). Zum anderen muss für deren Herstellung weniger Energie aufgewendet werden (Steglich & Heise, 2019).

### **2.2.2 Mobilfunk**

Das Mobilfunknetz besteht aus Sendemasten, die selbst mit dem Festnetz verbunden sind. Diese verbinden sich mit mobilen Geräten über Mobilfunk, der in den Generationen 2G bis 5G ausgebaut ist (Franz, 2021). Je neuer die Generation ist, desto schneller und effizienter ist sie im Hinblick auf die Datenübertragung und den Energieverbrauch (Köhn et al., 2020). So soll 5G knapp 70 Prozent weniger Energie bei der Datenübertragung verbrauchen als die 4G (LTE) Generation (Köhn et al., 2020).

Je nach Grösse einer Videodatei verbrauchen die Kommunikationsnetze unterschiedlich viel Energie bei der Übertragung. Über den genauen Anteil der Kommunikationsnetze am Energieverbrauch durch das Videostreaming herrscht Uneinigkeit; die Meinungen liegen häufig weit auseinander (Coroamă, Hintemann, Hinterholzer & Arbanowski, 2020). Einigkeit besteht lediglich darüber, dass er nicht unerheblich ist; laut Coroamă et al. liegt er etwa bei einem Drittel des gesamten Energieverbrauchs durch das Videostreaming (Coroamă et al., 2020).

Neue Technologien wie 5G und Glasfaserkabel bieten ein grosses Energieeinsparpotenzial. So verbraucht 5G deutlich weniger Energie als seine Vorgänger 4G und besonders 3G (Köhn et

al., 2020). Insgesamt ist die Übertragung über Glasfaserkabel gleichwohl deutlich effizienter als die mobile Übertragung über 5G (Köhn et al., 2020).

## **2.3 Endgeräte**

Der Energieverbrauch des verwendeten Endgeräts ist schwer zu ermitteln, da es stetig neue und viele verschiedene Geräte gibt (Coroamă et al., 2020). Er setzt sich aus dem Verbrauch für die Produktion der Geräte und deren Transport sowie dem Verbrauch unmittelbar durch das Streaming zusammen (Bieser et al., 2020) (Coroamă et al., 2020). Dabei fällt der Verbrauch je nach Bildschirmtechnologie und Bildschirmgrösse der Geräte sehr unterschiedlich aus (Coroamă et al., 2020).

### **2.3.1 Bildschirmgrösse**

Im Hinblick auf ihre Bildschirmgrösse unterscheiden sich die gängigen Endgeräte deutlich. Je grösser die Bildschirmfläche eines Geräts ist, desto grösser fällt dessen Energieverbrauch aus (Hintemann & Hinterholzer, 2020) (Dehli, 2020). Hinzu kommt, dass insbesondere Fernseher zunehmend grösser werden und dabei gleichzeitig noch über eine immer höhere Auflösung verfügen, sodass gerade diese einen besonders hohen Energieverbrauch verzeichnen (Dehli, 2020). So hat etwa ein Bildschirm mit 3840 mal 2160 Pixeln (4K) einen fünfmal so hohen Energieverbrauch wie ein Bildschirm mit nur 1920 mal 1080 Pixeln (Full HD) (Coroamă et al., 2020). Aufgrund ihrer Grösse und höheren Auflösung verbrauchen Fernseher und Monitore im Vergleich zu den kleineren Handys oder Tablets deutlich mehr Energie (Dehli, 2020).

### **2.3.2 Bildschirmtechnologie**

Aktuell werden in den Geräten vor allem Bildschirmtechnologien wie LCD (Flüssigkristall), LED (Leuchtdiode) und OLED (Organische Leuchtdiode) verbaut. Je nach Technologie kann der Energieverbrauch geringer ausfallen. Die noch relativ junge OLED-Technologie beispielsweise soll einen geringen Energieverbrauch aufweisen (Pode, 2020), jedoch über eine geringere Lebensdauer als LED-Bildschirme verfügen (Leo, Blochwitz-Nimoth & Langguth Oliver, 2008). Aufgrund der geringen Zahl an aussagekräftigen Studien über den Energieverbrauch der verschiedenen Bildschirmtechnologien und des Umstands, dass für den Energieverbrauch der Endgeräte vor allem deren Bildschirmgrösse und Produktion relevant sind (Coroamă et al., 2020), wird auf eine nähere Auseinandersetzung verzichtet.

### **2.3.3 Produktion**

Die Produktion der Endgeräte ist besonders bei kleineren Geräten für den Energieverbrauch relevant, da dieser bei Handys und Tablets 50 Prozent des CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks ausmacht (Bieser et al., 2020) (Coroamă et al., 2020). Der Grund dafür ist, dass die Lebensdauer dieser Geräte zumeist kürzer ist als die grösserer Geräte und dadurch der Energieverbrauch durch die Produktion im Verhältnis zur Lebensdauer grösser ist (Jardim, 2017). Während etwa die Lebensdauer eines Computers zwischen drei und acht Jahren liegt (Belkhir & Elmelig Ahmed, 2018), beträgt die von Handys knapp drei Jahre (Jardim, 2017).

Am relevantesten für den Energieverbrauch eines Endgeräts während des Streamings ist dessen Bildschirmgrösse, da Geräte mit grossen Bildschirmen einen höheren Energieverbrauch haben (Coroamă et al., 2020) (Hintemann & Hinterholzer, 2020). Handys und Tablets weisen daher grundsätzlich gegenüber Fernsehgeräten einen Vorteil im Hinblick auf den Energieverbrauch auf. Allerdings ist aufgrund deren geringerer Lebensdauer der Energieverbrauch durch die Produktion ein relevanterer Faktor. Generell sollte beim Kauf eines Geräts auf dessen Energieeffizienz geachtet werden, um so den Energieverbrauch zu reduzieren (Dehli, 2020).

Nachdem die verschiedenen Parameter innerhalb von Rechenzentren, Kommunikationsnetzen und Endgeräten, die einen Einfluss auf den Energieverbrauch durch das Videostreaming haben, mithilfe wissenschaftlicher Arbeiten ermittelt wurden, werden im nächsten Kapitel jeweils die Parameter herausgearbeitet, die besonders entscheidend für die Höhe des Energieverbrauchs sind und somit das grösste Potenzial haben, Energie beim Videostreaming einzusparen.

## **3 Ermittlung der entscheidenden Parameter für den Energieverbrauch**

Im Folgenden werden für die Rechenzentren, die Kommunikationsnetze und die Endgeräte aus den soeben dargestellten Parametern diejenigen mit entscheidendem Einfluss auf den Energieverbrauch ermittelt und untersucht, wie mit diesen der Energieverbrauch effektiv gesenkt werden kann.

### **3.1 Rechenzentren**

Die Server und der Speicher sind für mehr als die Hälfte des Energieverbrauchs innerhalb eines Rechenzentrums verantwortlich (Hintemann & Hinterholzer, 2018) (Dehli, 2020) (Hintemann & Clausen, 2018a). Danach folgt die Kühlung mit einem Anteil von knapp einem Viertel am



gesamten Energieverbrauch (Hintemann & Hinterholzer, 2018) (Hintemann & Clausen, 2018a). Laut Matzen ist jedoch der Energieverbrauch durch die Kühlung und die sonstige Infrastruktur des Rechenzentrums direkt von der Anzahl der Server und deren Energieverbrauch abhängig (Matzen, 2016). Denn je mehr Server ein Rechenzentrum besitzt, desto umfangreicher müssen die Brandschutzsysteme, die unterbrechungsfreie Stromversorgung und die sonstige Infrastruktur sein. Und je mehr Energie die Server verbrauchen und damit direkt in Wärme umwandeln, desto mehr Kühlung wird benötigt (Hintemann et al., 2020). Das bedeutet, dass die Server in zweierlei Hinsicht für die Höhe des Energieverbrauchs in Rechenzentren verantwortlich sind: erstens verbrauchen sie selbst am meisten Energie innerhalb eines Rechenzentrums und zweitens hängt der Energieverbrauch der Kühlung und der restlichen Infrastruktur des Rechenzentrums massgeblich von der Anzahl der Server und deren Energieverbrauch ab. Damit stellen die Auslastung und die Energieeffizienz der Server die entscheidenden Parameter für den Energieverbrauch der Rechenzentren dar. Je höher nämlich die Auslastung der einzelnen Server ist, desto weniger Server werden insgesamt benötigt und entsprechend weniger Energie verbraucht. Und je höher wiederum die Energieeffizienz der Server ist, desto weniger Energie verbrauchen die einzelnen Server.

Beide Parameter haben aber nicht nur Einfluss auf die Höhe des Energieverbrauchs durch die Server selbst. Da die von den Servern benötigte Energie direkt in Wärme umgewandelt wird, wirken sich die beiden Parameter auch auf den Umfang und den Energieverbrauch der Kühlung und der sonstigen Infrastruktur aus. Dies gilt insbesondere für die Kühlung, die nach den Servern am meisten Energie verbraucht (Matzen, 2016).

Wie bereits in Kapitel 2.1.1 erwähnt, setzt sich der Energieverbrauch der Server aus deren Produktion und Nutzung zusammen, wobei der Verbrauch durch die Nutzung deutlich grösser ist, da die Server dauerhaft in Betrieb sind (Matzen, 2016) (Bieser, 2018).

### **3.1.1 Energieeffiziente Server**

Durch die Anschaffung moderner Server mit hoher Energieeffizienz kann der Energieverbrauch eines Rechenzentrums gesenkt werden (Matzen, 2016). Der Energieverbrauch der Server resultiert zu 90 bis 95 Prozent aus ihrer Nutzung und im Übrigen aus ihrer Produktion. Aus diesem Grund lohnt es sich bereits zu einem frühen Zeitpunkt, die bestehenden Server durch energieeffizientere Geräte zu ersetzen (Matzen, 2016). Die insoweit optimale Nutzungszeit der Server bemisst Matzen mit vier Jahren; dann sei ein Austausch sinnvoll, um mithilfe neuer Geräte Energie zu sparen (Matzen, 2016). In einer Umfrage gaben knapp 88 Prozent der befragten

Betreiber von Rechenzentren an, ihren Energieverbrauch durch die Anschaffung von energieeffizienter Hardware senken zu wollen (Dehli, 2020).

### **3.1.2 Servervirtualisierung**

Ein weiterer Ansatzpunkt, die Effizienz der Server zu steigern und dadurch den Energieverbrauch zu senken, ist die Virtualisierung der Server (Stephens et al., 2021) (Dehli, 2020). Dabei wird ein physischer Server in mehrere virtuelle Server unterteilt (Dehli, 2020), wobei die Anzahl der virtuellen Server je nach Bedarf angepasst werden kann. Besonders wenn die Auslastung einzelner physischer Server niedrig ist, kann durch eine Servervirtualisierung Energie in grossem Umfang eingespart werden. Falls beispielsweise zwei unterschiedliche Prozesse die Kapazität zweier physischer Server jeweils zu 50 Prozent beanspruchen, können durch Unterteilung eines physischen Servers in zwei virtuelle Server beide Prozesse zugleich auf einem physischen Server stattfinden und der zweite physische Server abgeschaltet werden. Dies trägt deutlich zur Energieeinsparung bei, denn der Energieverbrauch eines Servers ist nicht proportional zu seiner Auslastung (Bieser, 2018) (Dehli, 2020). Ferner ermöglicht die Servervirtualisierung die Nutzung grosser und energieeffizienterer Server anstelle mehrerer kleiner Server, die meist eine niedrigere Energieeffizienz aufweisen (Dehli, 2020). Bei der bereits erwähnten Umfrage unter Betreibern von Rechenzentren gaben 97 Prozent an, die Energieeffizienz ihres Rechenzentrums mithilfe von Servervirtualisierung erhöhen zu wollen (Dehli, 2020). Ähnliche Resultate erzielte eine Umfrage des Borderstep Instituts, in der knapp 90 Prozent der befragten Betreiber von Rechenzentren angaben, bereits Servervirtualisierung in grossem Umfang zu betreiben (Hintemann & Clausen, 2014)

Da – wie gezeigt – die Auslastung der Server und deren Energieeffizienz die entscheidenden Parameter für die Höhe des gesamten Energieverbrauchs eines Rechenzentrums sind, führt die Servervirtualisierung nicht nur zur Energieeinsparung bei den Servern selbst, sondern auch bei der Kühlung und der sonstigen Infrastruktur. Mittels Servervirtualisierung kann mithin die gesamte Energieeffizienz eines Rechenzentrums effektiv erhöht werden.

### **3.1.3 Energieeinsparpotenziale der Kühlung**

Nach den Servern verbraucht innerhalb eines Rechenzentrums die Kühlung am meisten Energie und weist nach Hintemann et al. ein grosses Energieeinsparpotenzial auf (Hintemann et al., 2020). Wie bereits gezeigt, bieten im Hinblick auf die Kühlung die direkte und indirekte freie Kühlung sowie die Nutzung von Wasser zum Abtransport der Serverabwärme effiziente und nachhaltige Möglichkeiten zur Energieeinsparung (Hintemann et al., 2020).

Der notwendige Umfang an Kühlung innerhalb eines Rechenzentrums bestimmt sich nach dem Energieverbrauch der dortigen Server. Je mehr Server betrieben werden, desto mehr Infrastruktur wird benötigt und je mehr Energie die Server in Abwärme umwandeln, desto mehr Energie muss für die Kühlung aufgewendet werden. Möglichkeiten, um die Auslastung der Server zu optimieren und Energie zu sparen, sind – wie gezeigt – insbesondere die Servervirtualisierung und die Anschaffung energieeffizienter Server. Doch auch die Energieeinsparpotenziale unmittelbar bei der Kühlung selbst durch die Implementierung von Verfahren wie der freien Kühlung sind nicht zu vernachlässigen. Zum einen hat die Kühlung nämlich nach den Servern den grössten Anteil am gesamten Energieverbrauch. Zum anderen existieren diverse Möglichkeiten, den unmittelbar von der Kühlung selbst verursachten Energieverbrauch zu reduzieren.

Im nächsten Kapitel wird auf die Kommunikationsnetze eingegangen, über die eine Videodatei vom Rechenzentrum zum Nutzer übertragen wird, und ermittelt, welche Parameter die grösste Relevanz für den Energieverbrauch der Kommunikationsnetze bei der Videoübertragung haben.

## **3.2 Kommunikationsnetze**

Relevant für den Energieverbrauch der Kommunikationsnetze sind die Menge der übermittelten Daten (Dateiengrösse der Videos) (Gaukler, 2021), die Energieeffizienz der zur Datenübertragung verwendeten Technologie (Köhn et al., 2020) und die Distanz, über die die Daten übertragen werden (Ghaznavi et al., 2021).

Eine Reduzierung der Distanz zum Endnutzer, des Energieverbrauchs der verwendeten Technologie oder der Grösse der zu übermittelnden Datei hat mithin eine Verringerung des Energieverbrauchs durch die Kommunikationsnetze zur Folge. Diesem (theoretischen) Schluss verhelten in praxi im Hinblick auf die Distanz die Verwendung sogenannter Content Delivery Networks (CDN) zur Wirksamkeit, wodurch die Entfernung zwischen Server und Endnutzer verringert werden kann (Ghaznavi et al., 2021). Die Datenkomprimierung wiederum reduziert die Grösse der zu übermittelnden Videodateien (Bross, Chen, Ohm, Sullivan & Wang, 2021). Schliesslich ermöglicht der Ausbau energieeffizienter Kommunikationsnetze eine Übertragung mit weniger Energieverbrauch pro Bitrate (Köhn et al., 2020). Diese Möglichkeiten werden in den folgenden Kapiteln näher erläutert und zugleich untersucht, wie durch sie eine Reduzierung des Energieverbrauchs bewirkt werden kann.

### **3.2.1 Content Delivery Network (CDN)**

Wenn eine einzelne Videodatei weltweit nur auf einem einzigen Server gespeichert wäre und Nutzer von überall auf der Welt darauf zugreifen würden, müsste die Datei über grosse Strecken übertragen werden. Ein Content Delivery Network zielt darauf ab, diese Distanzen zu minimieren, da durch die Übertragung über grosse Distanzen mehr Energie benötigt wird (Ghaznavi et al., 2021). Anstatt die jeweilige Datei nur auf einem zentralen Server zu hinterlegen, werden weltweit Server positioniert und die Datei dort jeweils hinterlegt, sodass deren Abruf durch den Nutzer am jeweils nächstgelegenen Server stattfindet (Ghaznavi et al., 2021). Durch die gleichmässige Verteilung der Server werden die Distanzen zu allen Nutzern am effizientesten verringert. So kann jeweils ein Server mit einer Kopie der Datei auf jedem Kontinent oder in jedem Land platziert werden. Dadurch können die Videodateien über kürzere Distanzen übertragen werden und es wird weniger Energie verbraucht, als wenn die Dateien über grössere Distanzen übertragen werden müssten.

Zwar betrifft das Content Delivery Network ebenfalls die Rechenzentren. Da dadurch jedoch der Energieverbrauch der Kommunikationsnetze gesenkt wird, wird das Content Delivery Network innerhalb dieser Arbeit als ein Parameter der Kommunikationsnetze begriffen.

### **3.2.2 Komprimierung der Videodateien**

Die Grösse der zu übertragenden Videodatei ist entscheidend für den Energieverbrauch durch die Übertragung über die Kommunikationsnetze. Videos machen gegenwärtig etwa 80 Prozent des globalen Datenverkehrs aus (Köhn et al., 2020) (Bross et al., 2021). Der Grund dafür ist einerseits, dass aufgrund der gestiegenen Nachfrage nach Streamingangeboten mehr Videodateien übertragen werden, und andererseits die versendeten Videodateien durch zunehmend höhere Auflösungen wie 4K oder 8K stets grösser werden. Folglich kann der Energieverbrauch durch eine Verkleinerung der Videodateien gesenkt werden. Dies kann zum einen dadurch erreicht werden, dass der Nutzer eine geringere Auflösung der Videodatei auswählt, und zum anderen durch eine Komprimierung der Videodateien. Durch die Komprimierung einer Videodatei kann deren Grösse und damit auch der Energiebedarf bei der Übertragung verringert werden.

Videodateien bestehen aus einzelnen Bildern und einer Audiospur. In dieser Arbeit wird die Audiospur einer Videodatei jedoch vernachlässigt, da deren Grösse um ein Vielfaches kleiner ist als die der Videodatei. Es sei aber darauf verwiesen, dass Audiodateien ebenfalls komprimiert werden können.

Die Komprimierung macht sich zwei Tatsachen zunutze: die Redundanzen innerhalb der Bilder der Videodatei und die Teile eines Bildes, die vom Menschen nicht oder nur schlecht wahrgenommen werden können. Von Redundanzen innerhalb eines Bildes spricht man beispielsweise, wenn mehrere Pixel mit der gleichen Farbe nebeneinander liegen. Anstatt diese jeweils einzeln abzuspeichern, ist es bei Redundanzen möglich, lediglich einen Pixel mit der entsprechenden Farbe samt der Position und der Anzahl der danebenliegenden, gleichfarbigen Pixel abzuspeichern. Während bei Bilddateien die Komprimierung nur bei Redundanzen innerhalb des Bildes möglich ist, kann bei Videodateien auch bildübergreifend, also auch bei Redundanzen unterschiedlicher Bilder, komprimiert werden. Nachdem die Videodatei übertragen wurde, muss diese dekodiert werden, um korrekt angezeigt zu werden. Innerhalb der Komprimierung spricht man dabei von I-Frames, P-Frames und B-Frames (Bernardo, Fonseca, Curado & Braun, 2015). I-Frames nutzen die Redundanzen innerhalb des einzelnen Bildes und sind deshalb unabhängig von anderen Bildern (Bernardo et al., 2015). Dadurch können sie ohne einen Rückgriff auf die übrigen Bilder dekomprimiert, also wieder in die Ursprungsform gebracht werden. I-Frames sind deshalb sehr wichtig für den Fall, dass eine Videodatei abstürzt. Nur ab einem I-Frame ist es möglich, eine Videodatei erneut zu starten (Bernardo et al., 2015). Denn P- und B-Frames hängen von vorherigen und späteren Bildern ab. So nutzen P-Frames Redundanzen innerhalb des eigenen Bildes und vorheriger Bilder. B-Frames wiederum nutzen Redundanzen innerhalb des eigenen Bildes sowie vorheriger und zukünftiger Bilder. P- und B-Frames sind mithin abhängig von anderen Bildern und können deshalb nicht ohne die Hilfe von anderen Bildern dekomprimiert werden. (Bernardo et al., 2015)

### **Beispiel: Grösse einer Videodatei mit und ohne Komprimierung**

Im Folgenden wird untersucht, wie effektiv die Komprimierung von Videodateien ist. Erst wird anhand eines Beispiels berechnet, wie gross eine Videodatei ohne Komprimierung wäre. Danach wird gezeigt, wie stark die Grösse einer Videodatei mithilfe von Komprimierungsverfahren reduziert werden kann. Bei der Berechnung wird die Audiospur einer Videodatei jedoch nicht berücksichtigt, da diese nur einen sehr kleinen Teil ausmacht und es zur Veranschaulichung genügt, lediglich die Grösse der Videodatei zu berechnen.

Die Formel zur Berechnung der Grösse einer Videodatei lautet wie folgt:

$$\text{Pixelhöhe} \times \text{Pixelbreite} \times \text{Bilder pro Sekunde} \times \text{Farbtiefe} \times \text{Videodauer}$$

- Die Pixelhöhe und Pixelbreite stehen dabei für die Auflösung der Videodatei. Die unterschiedlichen Auflösungen haben verschiedene Pixelhöhen und Pixelbreiten (van Walendaal et al., 2016) (Dalal & Juneja, 2018):
  - Standarddefinition: 640 x 480 Pixel
  - High Definition (HD): 1280 x 720 Pixel
  - Full HD: 1920 x 1080 Pixel
  - 4K: 3840 x 2160 Pixel
  - 8K: 7680 x 4320 Pixel
- Die Einheit Bilder pro Sekunde – auch frames per second (FPS) genannt – gibt an, wie viele Bilder pro Sekunde wiedergegeben werden. Für die Anzahl an Bildern pro Sekunde (FPS) gibt es verschiedene Standards wie den NTSC-Standard (National Television Standards Committee), der vor allem in den USA verwendet wird und 29,97 Bilder pro Sekunde festlegt, und den PAL-Standard (Phase Alternate Line), der in vielen europäischen Ländern verwendet wird und 25 Bilder pro Sekunde festlegt (Dresen & Klindt, 2022).
- Die Farbtiefe steht für den verfügbaren Speicherplatz eines Pixels (Schmidt & Schnabel, 2005). Je höher die Farbtiefe ist, desto mehr Farben können dargestellt werden (Schmidt & Schnabel, 2005). Meist werden hierbei pro Farbkanal (rot, grün und blau) acht Bit verwendet, was 256 möglichen Werten entspricht (Schmidt & Schnabel, 2005). Insgesamt wären dies also 24 Bit pro Pixel.
- Die Videodauer entspricht der Dauer der gesamten Videodatei in Sekunden.

Für die Berechnung wird eine Full HD-Auflösung mit einer Pixelhöhe von 1080, einer Pixelbreite von 1920 und eine Filmdauer von einer Stunde zugrunde gelegt. Ferner wird von der Verwendung des NTSC-Standards mit 29,97 Bildern pro Sekunde und einer Farbtiefe von 24 Bit pro Pixel ausgegangen. Diese Variablen werden nun zwecks Berechnung der Grösse der Videodatei in die obige Formel eingesetzt:

$$1080 \times 1920 \times 29,97 \times 24 \times 3600 = 5369396428800 \text{ Bit}$$

Umgerechnet entspricht dieser Wert 671,17 Gigabyte (GB) bzw. 0,67 Terabyte (TB). Die Übertragung und Speicherung solch grosser Videodateien – die bei einer Auflösung von 4K und 8K nochmals grösser wären – würde viel Energie verbrauchen. Durch die Komprimierung der zugrunde gelegten Videodatei kann deren Grösse von den errechneten 671 GB auf gerade einmal 3 GB reduziert werden (Netflix, o. D.).

Zur Veranschaulichung wird in der folgenden Tabelle für eine Videodatei in komprimierter und unkomprimierter Form gezeigt, wie viele Gigabyte pro Stunde beim Videostreaming übertragen werden müssten. Die Ergebnisse für die unkomprimierten Dateien wurden selbst berechnet, während die Ergebnisse für die komprimierten Dateien der Homepage von Netflix entnommen wurden (Netflix, o. D.).

*Tabelle 1: Datenübertragung pro Stunde Streaming (komprimiert und unkomprimiert)*

<b>Auflösung</b>	<b>Datenübertragung pro Stunde Streaming (unkomprimierte Datei)</b>	<b>Datenübertragung pro Stunde Streaming (komprimierte Datei)</b>
Standarddefinition	99,43 GB/h	1 GB/h
Full HD	671,17 GB/h	3 GB/h
4K	2684,70 GB/h	7 GB/h

Wie die Ergebnisse zeigen, sind die Komprimierungsverfahren äusserst effektiv, zumal laufend bessere Verfahren entwickelt werden. Zwar benötigen bei der Komprimierung sogenannte Encoder, die das Video komprimieren, und Decoder, die das Video nach der Übermittlung wieder dekomprimieren, zusätzliche Leistung (Bross et al., 2021). Diese ist jedoch im Hinblick auf die Effektivität der Komprimierung und die dadurch resultierenden Energieeinsparungen verschwindend gering. Die neuen Videokomprimierungsstandards der letzten Jahre konnten jeweils rund 50 Prozent effektiver komprimieren als ihre Vorgänger, was in Zukunft besonders relevant für Auflösungen wie 4K und 8K sein wird (Bross et al., 2021). Effektivitätssteigerungen bei der Komprimierung in solchen Grössen sind entscheidend, um den grossen Datenverkehr durch Videodateien zu senken (Hintemann et al., 2020).

### **3.2.3 Ausbau der Glasfasernetze und der 5G-Infrastruktur**

Neben der Reduzierung der Datenmenge mittels Komprimierung und der Distanz zum Nutzer mittels Content Delivery Networks ist die Effizienzsteigerung der Übertragung selbst eine effektive Möglichkeit, den Energieverbrauch durch die Kommunikationsnetze zu reduzieren (Köhn et al., 2020). Neue Technologien wie Glasfaserkabel und 5G verbrauchen deutlich weniger Energie bei der Übermittlung von Daten als Kupferkabel und die Mobilfunkgenerationen 3G und 4G (Köhn et al., 2020). Im Hinblick auf den Mobilfunk ist 5G bei der Datenübertragung um einiges effizienter als 3G und 4G (Köhn et al., 2020). Generell ist jedoch die Übertragung von Daten über Glasfaserkabel effizienter als die mobile Datenübertragung (Köhn et al., 2020). Bislang ist die Nutzung von Glasfaserkabeln und 5G allerdings noch nicht jeden Orts möglich,

da die Glasfasernetze und die 5G-Infrastruktur noch nicht flächendeckend ausgebaut sind (Köhn et al., 2020). Der Ausbau sollte ressourcenschonend erfolgen und wenn möglich sollte ein Überlagern der Mobilfunknetze einzelner Mobilfunkanbieter verhindert werden, um nicht unnötig Energie zu verbrauchen (Köhn et al., 2020).

Die Effizienz der Videoübertragung vom Rechenzentrum bis zum Nutzer ist neben der Grösse der übermittelnden Videodatei entscheidend für den Energieverbrauch der Übertragung. Durch die Verwendung von Glasfaserkabel und der 5G Mobilfunkgeneration ist es möglich, die Effizienz der Datenübertragung zu steigern und damit Energie bei der Datenübertragung einzusparen. Die entsprechenden Infrastrukturen müssen jedoch noch deutlich weiter ausgebaut werden. Da die Übertragung über Glasfaserkabel erheblich energieeffizienter ist als über 5G, sollten Nutzer – wenn möglich – auf das Videostreaming über mobile Datenübertragung verzichten.

Die Grösse der vom Rechenzentrum zum Nutzer übermittelnden Videodatei und die Energieeffizienz, mit der die Datei übermittelt wird, sind die entscheidenden Parameter für den Energieverbrauch der Kommunikationsnetze beim Videostreaming. Insoweit bieten die Komprimierung der zu übertragenden Videodateien sowie der Ausbau der Glasfasernetze und der 5G-Infrastruktur ein grosses Energieeinsparpotenzial. Daneben ermöglicht der Einsatz von Content Delivery Networks (CDN) kürzere Übertragungswege der Dateien.

In Kapitel 3.3 wird auf die Endgeräte eingegangen und untersucht, was die entscheidenden Parameter für den Energieverbrauch der Endgeräte sind. Hierbei hat auch der Nutzer selbst einen grossen Einfluss auf den Energieverbrauch und somit die Möglichkeit, diesen zu verringern.

### **3.3 Endgeräte**

Das Endgerät der Nutzer hat nach Coroama et al. und Stephens et al. einen entscheidenden Anteil am Energieverbrauch durch das Videostreaming (Coroamă et al., 2020) (Stephens et al., 2021). Die Grösse des Anteils am gesamten Energieverbrauch durch das Videostreaming variiert allerdings je nach Gerät stark (Coroamă et al., 2020) (Stephens et al., 2021), wobei der Bildschirmgrösse des Geräts massgebliche Bedeutung zukommt (Coroamă et al., 2020) (Stephens et al., 2021). Ebenso hat je nach Gerät dessen Produktion einen relevanten Anteil am Energieverbrauch (Coroamă et al., 2020) (Stephens et al., 2021). Da der Nutzer das Endgerät auswählt, hat er direkten Einfluss auf dessen Energieverbrauch und damit auch auf den Gesamtenergieverbrauch des Streamings.



### **3.3.1 Bildschirmgrösse**

Fernseher haben aufgrund ihrer grossen Bildschirme einen höheren Energieverbrauch als Notebooks, Handys und Tablets (Stephens et al., 2021) (Hintemann & Hinterholzer, 2020). Laut Hintemann und Hinterholzer kann durch den Wechsel von einem 65 Zoll Fernseher auf ein Handy ca. 40 Prozent des gesamten Energieverbrauchs, der durch das Streaming anfällt, eingespart werden (Hintemann & Hinterholzer, 2020). Gleichwohl gilt zu bedenken, dass bei Fernsehern unproblematisch mehrere Personen gleichzeitig mitschauen können. Dieser Umstand sollte bei der Berechnung des Energieverbrauchs – etwa indem man den Energieverbrauch pro Kopf bemisst – berücksichtigt werden.

### **3.3.2 Produktion**

Der Energieverbrauch, der durch die Produktion eines Geräts anfällt, hat besonders bei Geräten wie Handys einen grossen Anteil am gesamten Energieverbrauch (Gaukler, 2021). Während Handys oft schon nach knapp drei Jahren entsorgt werden (Jardim, 2017), beträgt die Lebensdauer von grösseren Geräten wie Computern zwischen drei und acht Jahre (Belkhir & Elmeligi Ahmed, 2018). Durch die kürzere Nutzungsdauer ist der Energieverbrauch durch die Produktion bei Handys relevanter als bei Computern und Fernsehgeräten. Denn je kürzer die Lebensdauer des Geräts ist, desto höher ist der Anteil der Produktion an dessen Gesamtenergieverbrauch. Die Produktion macht bei Handys und Tablets die Hälfte des CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks aus (Bieser et al., 2020) (Coroamă et al., 2020) und man kann annehmen, dass der Anteil der Produktion am Energieverbrauch ähnlich hoch ausfällt.

Bei Fernsehgeräten ist es hingegen gerade umgekehrt. Sie haben einen deutlich höheren Energieverbrauch während der Nutzung, aber eine längere Lebensdauer. Somit ist der Energieverbrauch durch die Produktion bei ihnen weniger relevant; der Energieverbrauch durch die Nutzung überwiegt.

Zusätzlich sind unterschiedliche Bildschirmtechnologien für den Energieverbrauch der Geräte relevant. Beispielsweise sollen OLED Bildschirme einen geringen Energieverbrauch haben (Pode, 2020). Jedoch ist nach den Untersuchungen des Borderstep Instituts die Bildschirmgrösse der entscheidende Parameter für den Energieverbrauch des Endgeräts beim Video-streaming (Hintemann & Hinterholzer, 2020). So ist der Energieverbrauch eines 65 Zoll grossen Fernsehers während des Streamings über 30 Mal höher als der Energieverbrauch eines Handys (Hintemann & Hinterholzer, 2020). Dieser Befund bestätigt, dass die Bildschirmgrösse eines Geräts der entscheidende Parameter für den Energieverbrauch des Endgeräts während des Streamings ist. Zusätzlich berücksichtigen sollte man jedoch auch den Energieverbrauch durch

die Produktion des Geräts. Denn wie bereits erwähnt, ist der Anteil der Produktion bei Geräten mit kurzer Lebensdauer wie Handys am Energieverbrauch sehr hoch. Generell sollte auf eine hohe Energieeffizienz der Geräte beim Kauf geachtet werden. Ferner kann der Nutzer während des Streamings die Helligkeit seines Endgeräts verringern, um zusätzlich Energie zu sparen (Gaukler, 2021).

## 4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Verlauf dieser Arbeit wurden innerhalb der drei für den gesamten Energieverbrauch des Streamings verantwortlichen Kategorien (Rechenzentren, Kommunikationsnetze und Endgeräte) die jeweiligen Parameter ermittelt, die entscheidenden Einfluss auf die Höhe des Energieverbrauchs haben.

### Parameter der Rechenzentren

Für den Energieverbrauch der Rechenzentren sind **die Energieeffizienz und die Auslastung der Server** die entscheidenden Parameter. Es wurde festgestellt, dass die Server am meisten Energie innerhalb eines Rechenzentrums verbrauchen und die Höhe des Energieverbrauchs durch die Kühlung und die sonstige Infrastruktur direkt von der Anzahl der Server sowie davon abhängt, wie viel Energie diese in Wärme umwandeln. Durch eine Erhöhung der Auslastung und der Energieeffizienz der Server wird bereits der grösste Anteil am Energieverbrauch des Rechenzentrums reduziert und gleichzeitig der Energieverbrauch durch die Kühlung und die sonstige Infrastruktur des Rechenzentrums verringert. Möglichkeiten hierzu sind insbesondere die Servervirtualisierung sowie die Anschaffung energieeffizienter Server. Gleichzeitig sollten Energieeinsparpotenziale im Bereich der Kühlung nicht vernachlässigt werden, da der Anteil der Kühlung am gesamten Energieverbrauch der Rechenzentren nach den Servern am grössten ist und es viele Möglichkeiten gibt, deren Energieverbrauch deutlich zu senken. Mittel hierzu wiederum ist beispielsweise die Verwendung der indirekten oder direkten freien Kühlung. Für weitere Möglichkeiten und Technologien zur Senkung des Energieverbrauchs von Rechenzentren sei auf Hintemann verwiesen (Hintemann et al., 2020).

### Parameter der Kommunikationsnetze

Für die Kommunikationsnetze wurden **die Grösse der zu übertragenden Videodatei und die Effizienz deren Übertragung** als entscheidende Parameter für den Energieverbrauch durch die Übermittlung der Videodateien ermittelt. Die Energieeffizienz der Übertragung kann durch die Verwendung von Content Delivery Networks (CDN), Glasfasernetzen und der

Mobilfunkgeneration 5G gesteigert werden. So ermöglichen Content Delivery Networks die Übertragung der Videodateien über möglichst kurze Distanzen; Glasfaserkabel und die Mobilfunkgeneration 5G wiederum verbrauchen deutlich weniger Energie als Kupferkabel, 3G und 4G (Stephens et al., 2021). Dabei ist der Energieverbrauch durch die Übermittlung der Videodatei direkt von deren Grösse abhängig, die sich durch die vom Nutzer gewählte Auflösung bestimmt. Schliesslich kann die Dateigrösse von Videos mittels Komprimierung stark reduziert werden. Die Technologie hierfür wird immer effektiver und ermöglicht es, den hohen Datenverkehr durch Videos beträchtlich zu reduzieren.

### **Parameter der Endgeräte**

Für die Endgeräte wurde gezeigt, dass deren Energieverbrauch direkt mit deren **Bildschirmgrösse** zusammenhängt. Fernsehgeräte mit grossen Bildschirmen haben einen deutlich höheren Energieverbrauch während des Streamings als kleine Geräte wie Handys und Tablets. Bei Handys und Tablets ist jedoch aufgrund ihrer kurzen Lebensdauer der Anteil des Energieverbrauchs durch die Produktion relevant, der bei Fernsehgeräten und Computer hingegen aufgrund ihrer längeren Lebensdauer geringer ausfällt. Bei grösseren Bildschirmen sollte aber nicht ausser Acht gelassen werden, dass – im Gegensatz zu Handys oder Tablets – mehrere Personen gleichzeitig ein Video anschauen können und damit der Energieverbrauch pro Person als Grösse für Berechnungen verwendet werden sollte.

Die entscheidenden Parameter für die Höhe des Energieverbrauchs durch das Videostreaming sind mithin:

- Betreffend Rechenzentren: Die Energieeffizienz und die Auslastung der Server.
- Betreffend Kommunikationsnetze: Die Dateigrösse der zu übermittelnden Videodateien und die Effizienz der Übermittlung.
- Betreffend Endgeräte: Die Bildschirmgrösse des Endgeräts.

## **5 Beurteilung der Ergebnisse**

Das Ziel dieser Arbeit war die Bestimmung der entscheidenden Parameter für die Höhe des Energieverbrauchs durch das Streaming von Videodateien. Insoweit sollte mit der vorliegenden Arbeit zugleich eine Grundlage für die genaue Berechnung des Energieverbrauchs durch das Streaming geschaffen werden. Ferner sollten die ermittelten Parameter eine Hilfestellung dafür bieten, den Energieverbrauch durch das Streaming effektiv zu reduzieren. Hierzu wurden zunächst die Komponenten Rechenzentren, Kommunikationsnetze und Endgeräte analysiert und

ermittelt, welche Parameter zum Energieverbrauch durch das Videostreaming beitragen. Sodann wurden diejenigen Parameter herausgearbeitet, die massgeblich für die Höhe des Energieverbrauchs durch das Videostreaming verantwortlich sind. Dabei konnten für die einzelnen Kategorien jeweils eindeutige Parameter ermittelt werden.

Zunächst erschien es schwer, die einzelnen Parameter ohne eine genaue Berechnung ihres Energieverbrauchs zu gewichten. Im Verlauf der Arbeit hat sich allerdings gezeigt, dass die entscheidenden Parameter als solche eindeutig zu bestimmen waren, wenngleich die Meinungen über deren genauen Anteil am Energieverbrauch häufig weit auseinander liegen. Beispielsweise weisen Coroma et al. den Kategorien Rechenzentren, Kommunikationsnetze und Endgeräte jeweils ein Drittel des gesamten Energieverbrauchs zu (Coroamă et al., 2020), während Gaukler den Kommunikationsnetzen rund zwei Drittel, dem Endgerät etwa ein Drittel und den Rechenzentren praktisch keinen Anteil am Energieverbrauch durch Streaming zuordnet (Gaukler, 2021). Trotz dieser unterschiedlichen Ergebnisse ist es gelungen, die entscheidenden Parameter zu ermitteln. Mit deren Hilfe sollte es möglich sein, in zukünftigen Arbeiten den Energieverbrauch genau zu berechnen. Ferner können die Ergebnisse dieser Arbeit als Grundlage dafür dienen, mittels der ermittelten Parameter zu untersuchen, wie der Energieverbrauch durch das Videostreaming effektiv gesenkt werden kann.

Bei der Bestimmung der Parameter der Rechenzentren war interessanterweise zu konstatieren, dass die Höhe des Energieverbrauchs durch die Kühlung und die sonstige Infrastruktur des Rechenzentrums direkt mit der Anzahl der Server und deren Energieeffizienz korreliert. Aufgrund dieser Korrelation ist die Erhöhung der Energieeffizienz der Server ein äusserst effektives Mittel, um den gesamten Energieverbrauch des Rechenzentrums zu reduzieren. Selbst simple und relativ kostengünstige Massnahmen wie die Virtualisierung der Server haben daher bereits eine deutliche Reduzierung des Energieverbrauchs zur Folge.

Im Hinblick auf die Kommunikationsnetze war die Effektivität der Videokomprimierung äusserst beeindruckend. Es konnte festgestellt werden, dass die Grösse der Dateien durch deren Komprimierung stark reduziert werden kann und es modernen Komprimierungsstandards immer besser gelingt, die Komprimierung noch effektiver zu gestalten. Leider konnten zum Thema der Videokomprimierung weniger wissenschaftliche Arbeiten gefunden werden als erhofft. Besonders der Nachweis der Effektivität konkreter Komprimierungsstandards anhand von Beispielen hat gefehlt, weshalb im Rahmen dieser Arbeit lediglich anhand eines eigenen Beispiels grob berechnet werden konnte, wie unterschiedlich die Dateigrösse mit und ohne Komprimierung sind.

Die Ermittlung der Parameter für die Endgeräte stützte sich wesentlich auf die Arbeit von Hintemann und Hinterholzer (Hintemann & Hinterholzer, 2020). Für das Streaming war es sinnvoll, die Bildschirmgrösse eines Geräts als entscheidenden Parameter zu wählen. Schwierig gestaltete es sich jedoch, relevante und aktuelle Quellen zu finden. Grund hierfür ist wahrscheinlich, dass es viele unterschiedliche und ständig neue Geräte gibt. Aufgrund des hier gesetzten Rahmens und der mangelnden Vergleichbarkeit mit Fernsehern oder Handys wurde nicht vertieft auf die Verwendung von Computern zum Streaming eingegangen. Denn während Fernseher und Handys meist primär für eine Aufgabe (hier: zum Streaming) verwendet werden und damit deren Energieverbrauch unmittelbar dem Streaming zugeordnet werden kann, wären bei Computern hierzu weitere Annahmen erforderlich, da diese parallel zum Streaming noch für weitere Zwecke genutzt werden können.

Im Laufe dieser Arbeit hat sich ebenfalls gezeigt, dass der Nutzer durch die Wahl des Endgeräts und der Videoauflösung grossen Einfluss darauf hat, wie viel Energie durch das Streaming verbraucht wird. Über diese beiden Parameter können mithin auch die einzelnen Nutzer dazu beitragen, den Energieverbrauch durch das Streaming zu reduzieren.

Hinderlich für diese Arbeit war, dass keine aktuellen und relevanten Daten von gängigen Streaminganbietern, Rechenzentren oder Netzanbietern zur Verfügung standen. Zwar wurde versucht, solche Daten von Netflix – gerade im Hinblick auf die Dateigrösse der Videos in verschiedenen Auflösungen, die verwendeten Komprimierungsstandards und die Effektivität der Komprimierung – zu erhalten. Entsprechende Anfragen wurden jedoch leider abgelehnt.

## **6 Fazit**

Durch diese Arbeit konnte ermittelt werden, dass die entscheidenden Parameter für den Energieverbrauch durch das Videostreaming die Auslastung und die Energieeffizienz der Server der Rechenzentren, die Dateigrösse der Videos, die Effizienz der Datenübertragung und die Bildschirmgrösse der Endgeräte sind. Diese Parameter haben entscheidenden Einfluss auf die Höhe des gesamten Energieverbrauchs. Ausserdem wurden mehrere Möglichkeiten aufgezeigt, diese Parameter zu beeinflussen, um den Energieverbrauch effektiv zu senken. Diese Möglichkeiten sind die Anschaffung energieeffizienter Server, die Servervirtualisierung, die Verwendung von Content Delivery Networks (CDN), der Ausbau der Glasfasernetze und der 5G-Infrastruktur sowie die Komprimierung der Videodateien. Auf den Energieverbrauch durch das Endgerät hat der Nutzer entscheidenden Einfluss, indem er anstatt auf einem grossen Fernsch Bildschirm auf

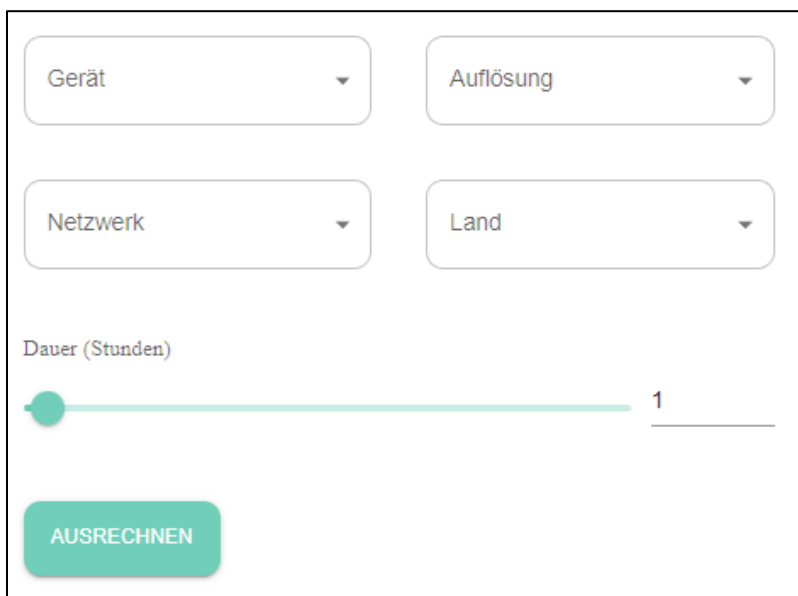
einem Handy, Tablet oder Notebook streamt. Im Übrigen kann er eine geringere Auflösung wählen, um den Energieverbrauch bei der Übertragung noch weiter zu reduzieren.

Die vorliegende Arbeit konnte die entscheidenden Parameter herausarbeiten und kann damit zukünftiger Forschung als Hilfestellung dienen – sei es im Hinblick auf die genaue Berechnung des Energieverbrauchs durch das Streaming, sei es zu Möglichkeiten, den Energieverbrauch mithilfe der Parameter effektiv zu senken. Gerade bei der Berechnung des Energieverbrauchs, bei dem Resultate der bisherigen Arbeiten stark voneinander abweichen, dürfte die Verwendung der hier herausgearbeiteten Parameter zu aussagekräftigeren Ergebnissen führen.

## 7 CO<sub>2</sub>-Rechner

Zusätzlich zu dieser Arbeit wurde in Zusammenarbeit mit Marvin Mürger ein CO<sub>2</sub>-Rechner erstellt, mit dessen Hilfe der CO<sub>2</sub>-Ausstoss und der Energieverbrauch des Videostreamings berechnet werden kann. Er kann über die Adresse: <https://www.streaming-co2-rechner.ch> abgerufen werden. Der Quellcode des CO<sub>2</sub>-Rechners findet sich im Anhang.

Abbildung 1: Festlegung der Werte für die Berechnung



The image shows a web form for a CO<sub>2</sub> calculator. It contains four dropdown menus labeled 'Gerät', 'Auflösung', 'Netzwerk', and 'Land'. Below these is a slider for 'Dauer (Stunden)' with a green handle and a numerical input field showing '1'. At the bottom is a green button labeled 'AUSRECHNEN'.

Quelle: <https://www.streaming-co2-rechner.ch>

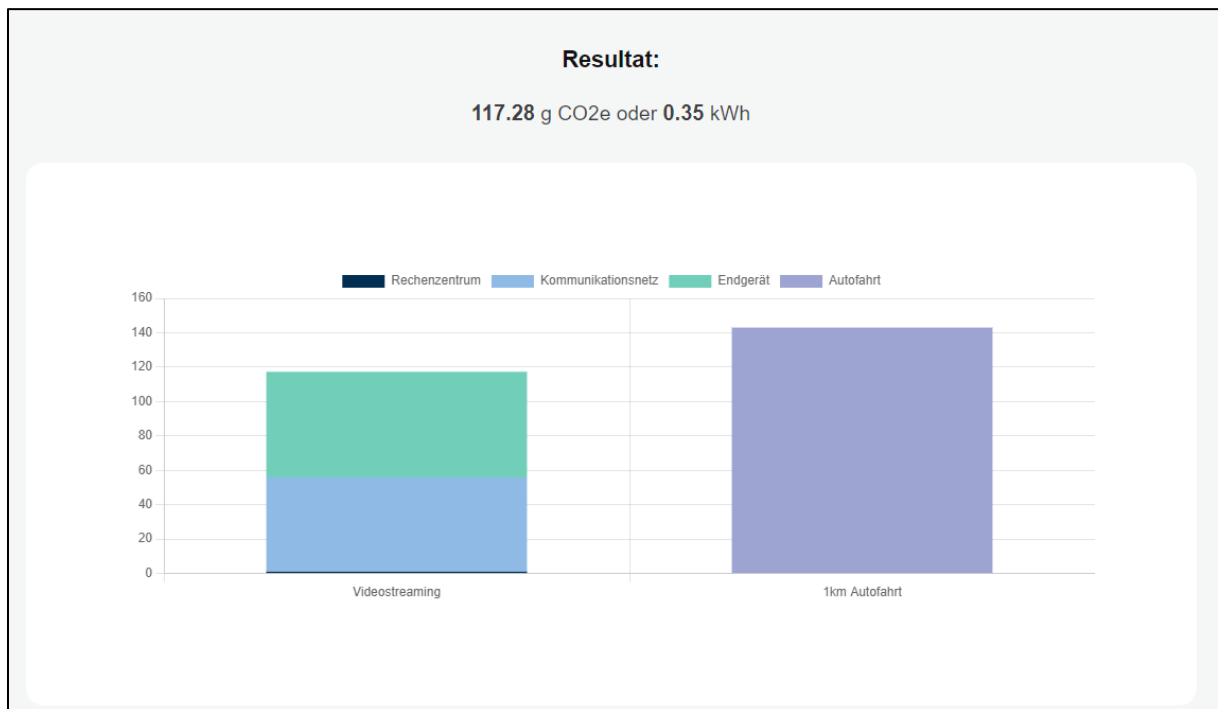
In den abgebildeten Feldern können Werte für die folgenden Variablen ausgewählt werden:

- Das zum Streaming verwendete Gerät.
- Die Auflösung der gestreamten Videodatei.

- Die zur Übermittlung der Videodatei verwendete Netzwerktechnologie.
- Das Land, in dem gestreamt wird.
- Die Dauer des gestreamten Videos.

Durch die Auswahl der Werte für die Variablen können verschiedene Szenarien simuliert und der jeweilige Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoss berechnet werden. Wenn für jede Variable ein Wert ausgewählt und der Knopf "Ausrechnen" angeklickt wird, wird – wie in der nächsten Abbildung zu erkennen – das Ergebnis in einem Säulendiagramm angezeigt. Zur Veranschaulichung wird daneben der CO<sub>2</sub>-Ausstoss einer ein Kilometer langen Autofahrt ebenfalls als Säulendiagramm abgebildet.

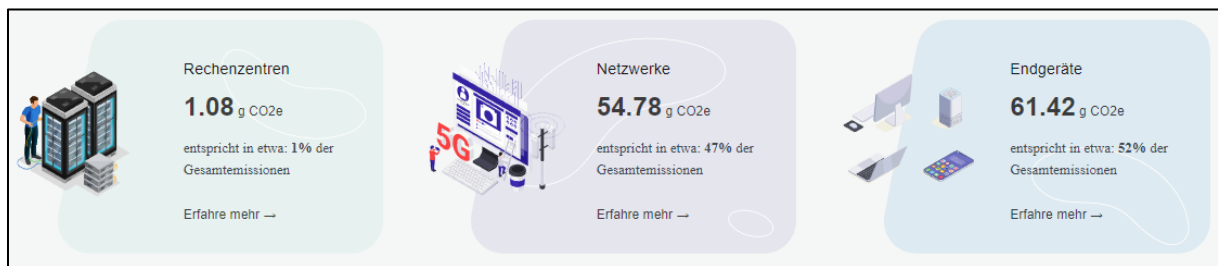
Abbildung 2: Resultat des CO<sub>2</sub>-Rechners



Quelle: <https://www.streaming-co2-rechner.ch>

Wie in Abbildung 3 zu sehen, wird aus dem Diagramm auch ersichtlich, wie viel CO<sub>2</sub>-Ausstoss auf die jeweiligen Kategorien (Rechenzentren, Netzwerke und Endgeräte) entfällt.

Abbildung 3: Zusammensetzung der CO<sub>2</sub>-Emissionen



Quelle: <https://www.streaming-co2-rechner.ch>

Je nach gewähltem Endgerät und gewählter Auflösung fällt der Energieverbrauch und der CO<sub>2</sub>-Ausstoss des Videostreamings sehr unterschiedlich aus. Der CO<sub>2</sub>-Rechner ermöglicht eine schnelle Berechnung dieser Werte für verschiedene Szenarien. Da überdies der Anteil der einzelnen Bereiche (Rechenzentren, Netzwerke und Endgeräte) am Gesamtverbrauch ausgewiesen wird, wird der Prozess des Streamings transparent. Schliesslich wird der Nutzer für die Höhe des Energieverbrauchs durch das Videostreaming und seinen Einfluss hierauf sensibilisiert.



## Literaturverzeichnis

- Alsen, N. & Theede, F. (2014). Energieeffiziente Klimatisierung des Rechenzentrums der Universität Kassel. Zugriff am 07.07.2022. Verfügbar unter: [https://kobra.uni-kassel.de/themes/Mirage2/scripts/mozilla-pdf.js/web/viewer.html?file=/bitstream/handle/123456789/2014121146610/2014\\_Alsen\\_Theede\\_Bericht\\_Rechenzentrum.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://kobra.uni-kassel.de/themes/Mirage2/scripts/mozilla-pdf.js/web/viewer.html?file=/bitstream/handle/123456789/2014121146610/2014_Alsen_Theede_Bericht_Rechenzentrum.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Belkhir, L. & Elmeligi Ahmed. (2018). Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. Zugriff am 09.07.2022. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261733233X#sec3>
- Bernardo, V., Fonseca, V., Curado, M. & Braun, T. (2015). Evaluation of Video Transmission Energy Consumption and Quality. Zugriff am 14.07.2022. Verfügbar unter: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11277-015-3150-3.pdf>
- Bieser, J. (2018). Digitalisierung bietet Chancen für den Klimaschutz. Zugriff am 06.07.2022. Verfügbar unter: [https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/171389/1/eCH\\_Swiss\\_IT\\_Bieser\\_1811.pdf](https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/171389/1/eCH_Swiss_IT_Bieser_1811.pdf)
- Bieser, J., Hintemann, R., Beucker, S., Schramm, S., Hilty, L. & et al. (2020). Klimaschutz durch digitale Technologien – Chancen und Risiken. Zugriff am 09.07.2022. Verfügbar unter: [https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/190091/1/2020-05\\_bitkom\\_klimastudie\\_digitalisierung%282%29.pdf](https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/190091/1/2020-05_bitkom_klimastudie_digitalisierung%282%29.pdf)
- Bross, B., Chen, J., Ohm, J.-R., Sullivan, G. J. & Wang, Y.-K. (2021). Developments in International Video Coding Standardization After AVC, With an Overview of Versatile Video Coding (VVC). Zugriff am 14.07.2022. Verfügbar unter: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9328514>
- Coroamă, V. C., Hintemann, R., Hinterholzer, S. & Arbanowski, S. (2020). Nachhaltigkeit von Streaming & Co. Energiebedarf und CO<sub>2</sub> -Ausstoß der Videonutzung im Netz. Zugriff am 07.08.2022. Verfügbar unter: [https://www.bitkom.org/sites/main/files/2020-06/200618\\_lf\\_nachhaltigkeit-von-streaming.pdf](https://www.bitkom.org/sites/main/files/2020-06/200618_lf_nachhaltigkeit-von-streaming.pdf)
- Dalal, M. & Juneja, M. (2018). A robust and imperceptible steganography technique for SD and HD videos. Zugriff am 07.08.2022. Verfügbar unter: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11042-018-6093-3.pdf>
- Dehli, M. (2020). *Energieeffizienz in Industrie, Dienstleistung und Gewerbe. Energietechnische Optimierungskonzepte für Unternehmen* (1. Aufl. 2020). Wiesbaden: Vieweg.

- Dresen, C. & Klindt, M. (2022). Eine kleine Handreichung zur Digitalisierung von Audio- und Videomaterial. Zugriff am 04.08.2022. Verfügbar unter: [https://opus4.kobv.de/opus4-zib/files/8652/Handreichung\\_DigitalisierungAV\\_2022.pdf](https://opus4.kobv.de/opus4-zib/files/8652/Handreichung_DigitalisierungAV_2022.pdf)
- Ferreboeuf, H., Efoui-Hess, M. & Kahraman, Z. (2019). -lean ICT- towards digital sobriety. Report of the working group directed by Hugues Ferreboeuf for the Think Tank the Shift Project. Zugriff am 03.08.2022. Verfügbar unter: [https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/03/Lean-ICT-Report\\_The-Shift-Project\\_2019.pdf](https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/03/Lean-ICT-Report_The-Shift-Project_2019.pdf)
- Franz, M. (2021). Energiebedarf und Treibhausgasemissionen der Digitalisierung. Zugriff am 07.07.2022. Verfügbar unter: [https://iewt2021.eeg.tuwien.ac.at/download/contribution/fullpaper/155/155\\_fullpaper\\_20211016\\_125437.pdf](https://iewt2021.eeg.tuwien.ac.at/download/contribution/fullpaper/155/155_fullpaper_20211016_125437.pdf)
- Fuster, T. (2019). Streaming ist das neue Fliegen – wie der digitale Konsum das Klima belastet. *Neue Zürcher Zeitung*. Zugriff am 06.07.2022. Verfügbar unter: <https://www.nzz.ch/wirtschaft/streaming-ist-das-neue-fliegen-wie-der-digitale-konsum-das-klima-schaedigt-ld.1474563?reduced=true>
- Gaukler, F. (2021). Energie-Effizienz von Streaming-Plattformen und Möglichkeiten zur Verbesserung. Zugriff am 12.07.2022. Verfügbar unter: <https://dl.gi.de/bitstream/handle/20.500.12116/34729/C2-2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ghaznavi, M., Jalalpour, E., Salahuddin, M. A., Boutaba, R., Migault, D. & Preda, S. (2021). Content Delivery Network Security: A Survey. Zugriff am 03.08.2022. Verfügbar unter: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9466938>
- Hilty, L. (2019). Video-Streaming ist weit weniger klimabelastend als Fliegen. Zugriff am 06.07.2022. Verfügbar unter: [https://web.archive.org/web/20200216104440id\\_/https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/171481/1/Video-Streaming%20ist%20weit%20weniger%20klimabelastend%20als%20Fliegen%20%7C%20NZZ.pdf](https://web.archive.org/web/20200216104440id_/https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/171481/1/Video-Streaming%20ist%20weit%20weniger%20klimabelastend%20als%20Fliegen%20%7C%20NZZ.pdf)
- Hintemann, R. (2017). Energieeffizienz und Rechenzentren in Deutschland. Weltweit führend oder längst abgehängt? Zugriff am 07.07.2022. Verfügbar unter: [https://ne-rz.de/wp-content/uploads/2017/11/Studie\\_RZ-Markt\\_Deuschland\\_NeRZ\\_30-06-2017.pdf](https://ne-rz.de/wp-content/uploads/2017/11/Studie_RZ-Markt_Deuschland_NeRZ_30-06-2017.pdf)
- Hintemann, R. & Clausen, J. (2014). Rechenzentren in Deutschland: Eine Studie zur Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und der Wettbewerbssituation. Zugriff am 11.07.2022. Verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/sites/main/files/file/import/Borderstep-Institut-Studie-Rechenzentren-in-Deutschland-05-05-20141.pdf>
- Hintemann, R. & Clausen, J. (2018a). Bedeutung digitaler Infrastrukturen in Deutschland. Sozioökonomische Chancen und Herausforderungen für Rechenzentren im internationalen

- Wettbewerb. Zugriff am 06.07.2022. Verfügbar unter: [https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2018/06/Hintemann-Clausen2018DI\\_Studie.pdf](https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2018/06/Hintemann-Clausen2018DI_Studie.pdf)
- Hintemann, R. & Clausen, J. (2018b). Potenzial von Energieeffizienztechnologien bei Rechenzentren in Hessen. Zugriff am 06.07.2022. Verfügbar unter: [https://www.researchgate.net/profile/Jens-Clausen-5/publication/324890733\\_Potenzial\\_von\\_Energieeffizienztechnologien\\_bei\\_Colocation\\_Rechenzentren\\_in\\_Hessen/links/5ae998c9aca2725dabb5cc43/Potenzial-von-Energieeffizienztechnologien-bei-Colocation-Rechenzentren-in-Hessen.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jens-Clausen-5/publication/324890733_Potenzial_von_Energieeffizienztechnologien_bei_Colocation_Rechenzentren_in_Hessen/links/5ae998c9aca2725dabb5cc43/Potenzial-von-Energieeffizienztechnologien-bei-Colocation-Rechenzentren-in-Hessen.pdf)
- Hintemann, R. & Hinterholzer, S. (2018). Technology radars for energy-efficient data centers: A transdisciplinary approach to technology identification, analysis and evaluation. Zugriff am 07.07.2022. Verfügbar unter: [https://www.researchgate.net/profile/Ralph-Hintemann/publication/330359801\\_Technology\\_radars\\_for\\_energy-efficient\\_data\\_centers\\_A\\_transdisciplinary\\_approach\\_to\\_technology\\_identification\\_analysis\\_and\\_evaluation/links/5c3c620492851c22a3736e4e/Technology-radars-for-energy-efficient-data-centers-A-transdisciplinary-approach-to-technology-identification-analysis-and-evaluation.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ralph-Hintemann/publication/330359801_Technology_radars_for_energy-efficient_data_centers_A_transdisciplinary_approach_to_technology_identification_analysis_and_evaluation/links/5c3c620492851c22a3736e4e/Technology-radars-for-energy-efficient-data-centers-A-transdisciplinary-approach-to-technology-identification-analysis-and-evaluation.pdf)
- Hintemann, R. & Hinterholzer, S. (2020). Videostreaming: Energiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen. Hintergrundpapier. Zugriff am 07.08.2022. Verfügbar unter: <https://www.borderstep.de/publikation/hintemann-r-hinterholzer-s-2020-videostreaming-energiebedarf-und-co2-emissionen-hintergrundpapier-berlin-borderstep-institut/>
- Hintemann, R., Hinterholzer, S. & Clausen, J. (2020). Rechenzentren in Europa – Chancen für eine nachhaltige Digitalisierung. Teil 2. Zugriff am 07.07.2022. Verfügbar unter: [https://www.eco.de/wp-content/uploads/dlm\\_uploads/2020/11/di\\_studie\\_rechenzentren\\_teil2\\_201110-1.pdf](https://www.eco.de/wp-content/uploads/dlm_uploads/2020/11/di_studie_rechenzentren_teil2_201110-1.pdf)
- Jardim, E. (2017). 10 Jahre Smartphone. Die globalen Umweltfolgen von 7 Milliarden Mobiltelefonen. Zugriff am 30.07.2022. Verfügbar unter: [https://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2017/70688/pdf/s01981\\_greenpeace\\_report\\_10\\_jahre\\_smartphone.pdf](https://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2017/70688/pdf/s01981_greenpeace_report_10_jahre_smartphone.pdf)
- Köhn, M., Gröger, J. & Stobbe, L. (2020). Energie- und Ressourceneffizienz digitaler Infrastrukturen. Ergebnisse des Forschungsprojektes „Green Cloud-Computing“. Zugriff am 15.07.2022. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/energie-ressourceneffizienz-digitaler>
- Leo, K., Blochwitz-Nimoth, J. & Langguth Oliver. (2008). Organische Elektronik. Vom Handy bis zum Fernseher. Zugriff am 30.07.2022. Verfügbar unter: [https://www.pro-physik.de/sites/default/files/pdf/articles/2018-11/prophy26896article\\_ISSART26896DE.pdf](https://www.pro-physik.de/sites/default/files/pdf/articles/2018-11/prophy26896article_ISSART26896DE.pdf)

- Matzen, F. J. (2016). *Industrielle Energiestrategie. Praxishandbuch für Entscheider des produzierenden Gewerbes*. Wiesbaden: Gabler.
- Netflix. (o. D.). How to control how much data Netflix uses. Zugriff am 15.07.2022. Verfügbar unter: <https://help.netflix.com/en/node/87>
- Ostler, U. (2018). Direkte Wasserkühlung im Server für höhere Effizienz im Rechenzentrum. *Datacenter-Insider*. Zugriff am 07.07.2022. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/direkte-wasserkuehlung-im-server-fuer-hoehere-effizienz-im-rechenzentrum-a-718995/>
- Petschke, B. (2015). Freie Kühlung - Direkt und Indirekt. Zugriff am 07.07.2022. Verfügbar unter: <https://repository.stulz.com/A9A48A6D/>
- Pode, R. (2020). Organic light emitting diode devices: An energy efficient solid state lighting for applications. Zugriff am 09.07.2022. Verfügbar unter: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1364032120303348?to-ken=7C8BF35AB250C85DDD2C13C63B728A3A704D28BC454D675ABB5BD70DC2E3453C5AECDFBD940018544C89C9F0CD1CA368&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220709153706>
- Ritchie, H., Roser, M. & Rosado, P. (2020). CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions. Zugriff am 03.08.2022. Verfügbar unter: <https://ourworldindata.org/co2-emissions#citation>
- Rombach, E. (2013). Kühlen ohne Fluorkohlenwasserstoffe. *Nachrichten aus der Chemie*, (12). Zugriff am 04.08.2022. Verfügbar unter: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/nachrchem.2013.61.12.1244/html>
- Schmid, P. F. (2021). *Mission Wandel. Von Einem Old-School-Unternehmen Zu Einer Tech-Company - Die Geschichte Einer Transformation*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Schmidt, H. & Schnabel, G. (2005). Aufbereitung digitaler Bilder für Mneme und Moodle. Zugriff am 14.07.2022. Verfügbar unter: <https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/7106/6.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Steglich, P. & Heise, K. (2019). *Photonik einfach erklärt. Wie Licht die Industrie revolutioniert (Essentials)*. Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Stephens, A., Tremlett-Williams, C., Fitzpatrick, L., Acerini, L., Anderson, M. & Crabendam, N. (2021). Carbon impact of video streaming. Zugriff am 16.07.2022. Verfügbar unter: <https://www.carbontrust.com/resources/carbon-impact-of-video-streaming>

Thomas-Krenn.AG. (o. D.). Liquid Cooled Server - LCS. Wasserkühlung für Server im Rechenzentrum. *Thomas-Krenn.AG.* Zugriff am 07.07.2022. Verfügbar unter: <https://www.thomas-krenn.com/de/produkte/einsatzzweck/server-wasserkuehlung.html>

Van Wallendael, G., Coppens, P., Paridaens, T., van Kets, N., van den Broeck, W. & Lambert, P. (2016). Perceptual Quality of 4K-resolution video content compared to HD. Zugriff am 07.08.2022. Verfügbar unter: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7498935>

## Anhang: Quellcode des CO<sub>2</sub> Rechners

### Datei: cards.js

```
1  /* eslint-disable @next/next/no-img-element */
2  import * as React from 'react';
3  import styles from '../styles/Home.module.css'
4  import Link from 'next/link'
5
6  export default function Cards(props) {
7    return (
8      <div>
9        <div className={styles.resultContainer}>
10         <svg className={styles.resultRechenzentrumContainer}
width='100%' viewBox="0 0 510 395" fill="none"
xmlns="http://www.w3.org/2000/svg">
11           <path opacity="0.1" d="M62.1634 40.5224C66.705 16.9969
87.297 0 111.257 0H459.999C487.614 0 509.999 22.3858 509.999 50V308C509.999
335.614 487.614 358 459.999 358H61.45C30.034 358 6.40147 329.369 12.3564
298.522L62.1634 40.5224Z" fill="#68C9BA"/>
12           <path d="M472.682 124.03C502.313 153.207 467.325
181.381 405.745 182.141C283.317 175.137 255.69 81.0076 264.943
59.9029C274.196 38.7983 301.746 38.2223 342.567 81.2153C383.388 124.208
435.643 87.5574 472.682 124.03Z" stroke="white" strokeWidth="1.5"/>
13           <foreignObject x="-10%" y="20%" width="100%"
height="100%">
14             </img>
15           </foreignObject>
16           <foreignObject x="40%" y="10%" width="100%"
height="100%">
17             <br/>
18             <h3
className={styles.resultTextOne}>Rechenzentren</h3>
19             <h3
className={styles.resultTextTwo}>{Math.round(props.Datacenter*100) /
100}<span className={styles.resultTextThree}> g CO2e</span></h3>
20             <p className={styles.resultTextFour}>entspricht in
etwa: <strong>{props.DataCenterPercentage}%</strong> der
Gesamtemissionen</p>
21             <Link passHref href="/rechenzentren">
22             <p className={styles.resultTextFive}>Erfahre mehr
-></p>
23             </Link>
24           </foreignObject>
25         </svg>
26         <svg className={styles.resultNetzwerkeContainer}
width='100%' viewBox="0 0 510 395" fill="none"
xmlns="http://www.w3.org/2000/svg">
27           <path opacity="0.5" d="M62.1634 40.5224C66.705 16.9969
87.297 0 111.257 0H459.999C487.614 0 509.999 22.3858 509.999 50V308C509.999
335.614 487.614 358 459.999 358H61.45C30.034 358 6.40147 329.369 12.3564
298.522L62.1634 40.5224Z" fill="#d4d2e4"/>
28           <ellipse rx="35.0679" ry="18.6437"
transform="matrix(0.950089 0.311978 -0.399416 0.91677 440.521 312.032)"
stroke="white" strokeWidth="1.5"/>
29           <path d="M124.968 253.712C55.2412 265.919 38.3959
201.795 86.0723 127.691C194.343 -12.8766 365.34 28.8655 391.418
56.6612C417.496 84.457 396.539 117.798 296.052 132.395C195.564 146.991
212.128 238.454 124.968 253.712Z" stroke="white" strokeWidth="1.5"/>
30           <foreignObject x="-15%" y="10%" width="100%"
height="100%">
```

```

31             </img>
32         </foreignObject>
33         <foreignObject x="40%" y="10%" width="100%"
height="100%">
34             <br/>
35             <h3
className={styles.resultTextOne}>Netzwerke</h3>
36             <h3
className={styles.resultTextTwo}>{Math.round(props.Network*100) / 100}<span
className={styles.resultTextThree}> g CO2e</span></h3>
37             <p className={styles.resultTextFour}>entspricht in
etwa: <strong>{props.NetworkPercentage}%</strong> der Gesamtemissionen </p>
38             <Link passHref href="/netzwerke">
39             <p className={styles.resultTextFive}>Erfahre mehr
-></p>
40             </Link>
41         </foreignObject>
42     </svg>
43     <svg className={styles.resultEndgeraeteContainer}
width='100%' viewBox="0 0 510 395" fill="none"
xmlns="http://www.w3.org/2000/svg">
44         <path opacity="0.1" d="M62.1634 40.5224C66.705 16.9969
87.297 0 111.257 0H459.999C487.614 0 509.999 22.3858 509.999 50V308C509.999
335.614 487.614 358 459.999 358H61.45C30.034 358 6.40147 329.369 12.3564
298.522L62.1634 40.5224Z" fill="#0772BF"/>
45         <path d="M248.628 259.341C216.323 227.53 254.467
196.813 321.604 195.985C455.08 203.621 485.2 306.245 475.113
329.254C465.025 352.263 434.988 352.891 390.484 306.019C345.979 259.146
289.009 299.104 248.628 259.341Z" stroke="white" strokeWidth="1.5"/>
46         <foreignObject x="-10%" y="20%" width="100%"
height="100%">
47             </img>
48         </foreignObject>
49         <foreignObject x="40%" y="10%" width="100%"
height="100%">
50             <br/>
51             <h3
className={styles.resultTextOne}>Endgeräte</h3>
52             <h3
className={styles.resultTextTwo}>{Math.round(props.Device*100) / 100}<span
className={styles.resultTextThree}> g CO2e</span></h3>
53             <p className={styles.resultTextFour}>entspricht in
etwa: <strong>{props.DevicePercentage}%</strong> der Gesamtemissionen </p>
54             <Link passHref href="/endgeraete">
55             <p className={styles.resultTextFive}>Erfahre mehr
-></p>
56             </Link>
57         </foreignObject>
58     </svg>
59 </div>
60 </div>
61 )
62 }

```

#### Datei: footer.js

```

1 import * as React from 'react';
2 import styles from '../styles/Home.module.css'
3 import Link from 'next/link';

```

```

4
5   export default function Footer() {
6     return (
7       <div style={{display: 'flex', justifyContent: 'center',
marginTop: '5rem', marginBottom: '2rem'}}>
8         <box className={styles.footer}>
9           <div style={{textAlign: 'center'}}>Bachelorarbeit
UZH</div>
10          <div style={{textAlign: 'center'}}>© 2022</div>
11          <div style={{display: 'grid', gridTemplateColumns:
'repeat(2, 1fr)', marginTop: '1rem', height: '40px' }}>
12            <div style={{display: 'grid', justifyContent: 'start',
alignContent: 'center'}}>
13              <div style={{lineHeight: '0.75rem'}}><a
href='https://www.freepik.com/vectors/smart-devices'>Smart devices
vector</a><a href="https://www.freepik.com/vectors/data-center">, data
center vector</a><a href='https://www.freepik.com/vectors/mobile-tower'>,
mobile tower vector </a><a href='https://www.flaticon.com/de/kostenloses-
icon/pdf-
datei_80942?term=pdf&page=1&position=7&page=1&position=7&related_id=80942&o
rigin=tag'>, and pdf vector</a><a href='https://www.freepik.com/'> created
by macrovector - www.freepik.com</a></div>
14              </div>
15              <div style={{display: 'grid', justifyContent: 'end',
alignContent: 'center'}}>
16                <div style={{display: 'grid', gridTemplateRows:
'repeat(2, 1fr)'}}>
17                  <div style={{fontSize: '0.75rem'}}>PDF
Bachelorarbeiten</div>
18                  <div style={{display: 'grid', gridTemplateColumns:
'repeat(2, 1fr)', gap: '1rem', marginTop: '-0.5rem'}}>
19                    <Link href='/files/test.pdf' passHref
alt='Energieverbrauch und CO2-Emissionen durch Videostreaming in
Abhängigkeit von technischen und geographischen Parametern' target='_blank'
rel='noopener noreferrer'>
20                      <div style={{width: '40px', height: '40px',
cursor: 'pointer', borderRadius: '50%', backgroundColor: '#cfe0ea',
display: 'flex', justifyContent: 'center', alignItems: 'center'}}><img
src='/pdf-datei.png' width='14.5px' className={styles.filterColor}/></div>
21                      </Link>
22                      <Link href='/files/test.pdf' passHref
alt='Energieverbrauch und CO2-Emissionen durch Videostreaming in
Abhängigkeit von technischen und geographischen Parametern' target='_blank'
rel='noopener noreferrer'>
23                        <div style={{width: '40px', height: '40px',
cursor: 'pointer', borderRadius: '50%', backgroundColor: '#cfe0ea',
display: 'flex', justifyContent: 'center', alignItems: 'center'}}><img
src='/pdf-datei.png' width='14.5px' className={styles.filterColor}/></div>
24                        </Link>
25                      </div>
26                    </div>
27                  </div>
28                </div>
29              </box>
30            </div>
31          )
32    }

```

### Datei: header.js

```

1   import * as React from 'react';
2   import Box from '@mui/material/Box';
3   import AppBar from '@mui/material/AppBar';

```



```

4   import Toolbar from '@mui/material/Toolbar';
5   import MenuIcon from '@mui/icons-material/Menu';
6   import Drawer from '@mui/material/Drawer';
7   import Button from '@mui/material/Button';
8   import IconButton from '@mui/material/IconButton';
9   import Link from 'next/link';
10  import Divider from '@mui/material/Divider';
11  import List from '@mui/material/List';
12  import ListItem from '@mui/material/ListItem';
13  import ListItemButton from '@mui/material/ListItemButton';
14  import ListItemText from '@mui/material/ListItemText';
15  import { useRouter } from 'next/router';
16  import styles from '../styles/Home.module.css'
17
18  const drawerWidth = 240;
19
20  export default function Header(props) {
21    const { window } = props;
22    const [mobileOpen, setMobileOpen] = React.useState(false);
23
24    const handleDrawerToggle = () => {
25      setMobileOpen(!mobileOpen);
26    };
27
28    const router = useRouter();
29
30    const drawer = (
31      <Box onClick={handleDrawerToggle} sx={{ textAlign: 'center' }}>
32        <Divider />
33        <List>
34          <Link href="/" passHref>
35            <ListItem component="a" disablePadding>
36              <ListItemButton sx={{ textAlign: 'center' }}>
37                <ListItemText primary="Übersicht" />
38              </ListItemButton>
39            </ListItem>
40          </Link>
41          <Link href="/rechenzentren" passHref>
42            <ListItem component="a" disablePadding>
43              <ListItemButton sx={{ textAlign: 'center' }}>
44                <ListItemText primary="Rechenzentren" />
45              </ListItemButton>
46            </ListItem>
47          </Link>
48          <Link href="/netzwerke" passHref>
49            <ListItem component="a" disablePadding>
50              <ListItemButton sx={{ textAlign: 'center' }}>
51                <ListItemText primary="Netzwerke" />
52              </ListItemButton>
53            </ListItem>
54          </Link>
55          <Link href="/endgeraete" passHref>
56            <ListItem component="a" disablePadding>
57              <ListItemButton sx={{ textAlign: 'center' }}>
58                <ListItemText primary="Endgeräte" />
59              </ListItemButton>
60            </ListItem>
61          </Link>
62          <div style={{ 'borderTop': 'rgba(0, 0, 0, 0.3) 1px
solid'}}></div>
63          <Link href="/faq" passHref>
64            <ListItem component="a" disablePadding>
65              <ListItemButton sx={{ textAlign: 'center' }}>

```

```

66         <ListItemText primary="FAQ" />
67     </ListItemButton>
68 </ListItem>
69 </Link>
70 </List>
71 </Box>
72 );
73
74     const container = window !== undefined ? () =>
window().document.body : undefined;
75
76     return (
77     <Box>
78         <AppBar component="nav" position="static" color={"secondary"}
sx={{ boxShadow: '0 2px 4px -50px rgba(0, 0, 0, 0.2),2px 9px 13px -12px
rgba(0, 0, 0, 0.14),0 1px 10px -50px rgba(0, 0, 0, 0.12)' }}>
79             <Toolbar>
80                 <IconButton
81                     color="inherit"
82                     aria-label="open drawer"
83                     edge="start"
84                     onClick={handleDrawerToggle}
85                     sx={{ mr: 2, display: { sm: 'none' }, color: 'black
!important' }}
86                 >
87                     <MenuIcon />
88                 </IconButton>
89                 <Box sx={{ display: { xs: 'none', sm: 'flex' } }}>
90                     <div style={{ display: 'flex', width: 'calc(100vw*0.95)'
}}>
91                         <Link href="/" passHref>
92                             <Button sx={{ color: 'black !important' }}
className={router.pathname === "/" ? styles.activeLink :
styles.disabledLink}>
93                                 Übersicht
94                             </Button>
95                         </Link>
96                         <Link href="/rechenzentren" passHref>
97                             <Button sx={{ color: 'black !important' }}
className={router.pathname === "/rechenzentren" ? styles.activeLink :
styles.disabledLink}>
98                                 Rechenzentren
99                             </Button>
100                         </Link>
101                         <Link href="/netzwerke" passHref>
102                             <Button sx={{ color: 'black !important' }}
className={router.pathname === "/netzwerke" ? styles.activeLink :
styles.disabledLink}>
103                                 Netzwerke
104                             </Button>
105                         </Link>
106                         <Link href="/endgeraete" passHref>
107                             <Button sx={{ color: 'black !important' }}
className={router.pathname === "/endgeraete" ? styles.activeLink :
styles.disabledLink}>
108                                 Endgeräte
109                             </Button>
110                         </Link>
111                         <Link href="/faq" passHref>
112                             <Button sx={{ color: 'black !important', marginLeft:
'auto' }} className={router.pathname === "/faq" ? styles.activeLink :
styles.disabledLink}>
113                                 FAQ

```

```

114         </Button>
115     </Link>
116 </div>
117 </Box>
118 </Toolbar>
119 </AppBar><Box component="nav">
120     <Drawer
121         container={container}
122         variant="temporary"
123         open={mobileOpen}
124         onClose={handleDrawerToggle}
125         color="secondary"
126         ModalProps={{
127             keepMounted: true, // Better open performance on mobile.
128         }}
129         sx={{
130             display: { xs: 'block', sm: 'none' },
131             '& .MuiDrawer-paper': { boxSizing: 'border-box', width:
drawerWidth },
132         }}
133     >
134         {drawer}
135     </Drawer>
136 </Box>
137 </Box>
138 )
139 }

```

### Datei: modal.js

```

1  import * as React from 'react';
2  import Box from '@mui/material/Box';
3  import Typography from '@mui/material/Typography';
4  import Modal from '@mui/material/Modal';
5  import Info from '../public/info.svg';
6  import styles from '../styles/Home.module.css'
7
8  const style = {
9      position: 'absolute',
10     top: '50%',
11     left: '50%',
12     transform: 'translate(-50%, -50%)',
13     width: 400,
14     bgcolor: '#fff',
15     boxShadow: 24,
16     borderRadius: 1,
17     p: 4,
18 };
19
20 export default function BasicModal() {
21     const [open, setOpen] = React.useState(false);
22     const handleOpen = () => setOpen(true);
23     const handleClose = () => setOpen(false);
24
25     return (
26         <div>
27             <Info onClick={handleOpen} style={{overflow: 'visible', float:
'right', marginTop: '-1.2rem', marginRight: '0.3rem', marginBottom: '1rem',
width: '20px', color: 'rgba(0, 0, 0, 0.75)}} className={styles.info} />
28             <Modal
29                 open={open}
30                 onClose={handleClose}
31                 aria-labelledby="modal-modal-title"

```

```

32         aria-describedby="modal-modal-description"
33     >
34         <Box sx={style}>
35             <Typography id="modal-modal-title" variant="h6"
component="h2">
36                 Berechnung des Energieverbrauchs
37             </Typography>
38             <Typography id="modal-modal-description" sx={{ mt: 2 }}>
39                 Der Energieverbrauch eines Videostreams ist von mehreren
Faktoren, wie dem Endgerät, der Videoauflösung und der Netzwerkverbindung,
abhängig.
40             </Typography>
41         </Box>
42     </Modal>
43 </div>
44 );
45 }
46

```

### Datei: resultgraph.js

```

1  import * as React from 'react';
2  import styles from '../styles/Home.module.css'
3  import {Bar} from 'react-chartjs-2';
4  import Chart from 'chart.js/auto'
5
6  const options = {
7      scales: {
8          xAxes: [{
9              stacked: true
10          }],
11          yAxes: [{
12              stacked: true
13          }]
14      },
15      maintainAspectRatio: false,
16      plugins: {
17          legend: {
18              labels: {
19                  font: {
20                      family: 'Arial',
21                  }
22              }
23          }
24      }
25  }
26
27  export default function Resultgraph(props) {
28      const data = {
29          labels: ['Videostreaming', '1km Autofahrt'],
30          datasets: [{
31              label: 'Rechenzentrum',
32              barPercentage: 0.7,
33              data: [props.Datacenter, 0],
34              stack: "",
35              backgroundColor: [
36                  '#022E51',
37                  '#022E51'
38              ]
39          },
40          {
41              label: 'Kommunikationsnetz',
42              barPercentage: 0.7,

```

```

43         data: [props.Network, 0],
44         stack: "",
45         backgroundColor: [
46             '#8FBAE5',
47             '#8FBAE5'
48         ]
49     },
50     {
51         label: 'Endgerät',
52         barPercentage: 0.7,
53         data: [props.Device, 0],
54         stack: "",
55         backgroundColor: [
56             '#70CEB9',
57             '#70CEB9'
58         ]
59     },
60     {
61         label: 'Autofahrt',
62         barPercentage: 0.7,
63         data: [0, props.Car],
64         stack: "",
65         backgroundColor: [
66             '#9EA4D2',
67             '#9EA4D2'
68         ]
69     }, ]
70 }
71
72 return (
73     <div>
74         <div style={{textAlign: 'center', marginTop: '5rem'}}>
75             <h3>
76                 Resultat:
77             </h3>
78             <p>
79                 <strong style={{fontSize:
'1.25rem'}}>{props.Emissions}</strong> g CO2e oder <strong
style={{fontSize: '1.25rem'}}>{props.Energy || 0}</strong> kWh
80             </p>
81         </div>
82
83         <card className={styles.chartcontainer}>
84             <div className={styles.chart}>
85                 <Bar
86                     data={data}
87                     width={10}
88                     height={2}
89                     options={options}
90                 />
91             </div>
92         </card>
93     </div>
94 )
95 }

```

#### Datei: \_app.js

```

1  import './styles/globals.css'
2  import { ThemeProvider } from '@mui/material/styles';
3  import { theme } from '../theme/theme.js'
4  import Head from 'next/head'
5

```

```

6     function MyApp({ Component, pageProps }) {
7         return (
8             <>
9                 <Head>
10                     <title>Streaming-Rechner</title>
11                     <meta name="viewport" content="initial-scale=1.0,
width=device-width" />
12                 </Head>
13                 <ThemeProvider theme={theme}>
14                     <Component {...pageProps} />
15                 </ThemeProvider>
16             </>
17         )
18     }
19
20     export default MyApp

```

### Datei: endgeraete.js

```

1     import * as React from 'react';
2     import styles from '../styles/Home.module.css';
3     import Link from 'next/link';
4     import Header from '../components/header';
5     import Footer from '../components/footer';
6
7     export default function Home() {
8
9         return (
10             <div className={styles.spaceFooter}>
11                 <Header />
12                 <div className={styles.site}>
13                     <div className={styles.content}>
14                         <h1 className={styles.title}>
15                             <Link href="/" passHref>
16                                 <div className={styles.backButton}>
17                                     <svg className={styles.backArrow}
xmlns="http://www.w3.org/2000/svg" height="100%" viewBox="0 0 24 24"
width="100%"><path d="M0 0h24v24H0z" fill="none"/><path d="M20
11H7.8315.59-5.59L12 4l-8 8 8 8 1.41-1.41L7.83 13H20v-2z"/></svg>
18                                 </div>
19                             </Link>
20                             Endgeräte
21                         </h1>
22                         <h2>
23                             Hier erfährst du mehr über die Engeräte.
24                         </h2>
25                         <main>
26                             <card className={styles.textBoxPages}>
27                                 <p className={styles.cardTextPages}>
28                                     Für den Energieverbrauch des
Endgeräts, auf dem gestreamt wird, ist insbesondere die Bildschirmgrösse
ausschlaggebend. Grosse Fernseher haben einen höheren Energieverbrauch als
Smartphones, Tablets oder Notebooks. Bei Geräten wie Smartphones oder
Tablets ist der Energieverbrauch durch die Produktion aufgrund ihrer kurzen
Lebensdauer relevant, die Berechnungen des Energierechners beziehen sich
jedoch ausschliesslich auf die Nutzungsphase. Durch den hohen
Energieverbrauch grosser Fernseher sind kleinere Geräte, was den
Energieverbrauch betrifft, klar vorzuziehen. Ausserdem ist es sinnvoll,
wenn möglich auf weitere Peripheriegeräte (wie z.B. Gamingkonsolen oder
Set-Top Boxen) zu verzichten um den Energieverbrauch auf ein Minimum zu
reduzieren.
29                                 </p>
30                             </card>

```

```

31         </main>
32     </div>
33 </div>
34 <Footer />
35 </div>
36 );
37 }

```

### Datei: faq.js

```

1  import React, { useEffect, useState } from "react";
2  import Faq from "react-faq-component";
3  import Link from 'next/link';
4  import styles from '../styles/Home.module.css';
5  import Header from "../components/header";
6  import Footer from "../components/footer";
7
8  const data = {
9      title: "FAQ",
10     rows: [
11         {
12             title: "Was kann ich als Endnutzer tun, um den
Energieverbrauch durch Streaming zu reduzieren?",
13             content: `Ein kleineres Gerät wie ein Tablet oder ein
Smartphone verbraucht weniger Energie. Die Helligkeit des Endgeräts kann
reduziert werden und am umweltfreundlichsten ist es, über das Festnetz oder
das 5G-Mobilfunknetz mit einer niedrigen Auflösung zu streamen.` ,
14         },
15         {
16             title: "Was können Rechenzentren tun, um ihren
Energieverbrauch zu reduzieren?",
17             content: `Rechenzentren können ihren Energieverbrauch
reduzieren, indem sie die Energieeffizienz und die Auslastung der Server
erhöhen. Abgesehen davon bietet Software mit der Konsolidierung und
Virtualisierung von Rechenzentrumsarbeitslasten in die Cloud erhebliche
Effizienzgewinne. Zuletzt gibt es verschiedene nachhaltige
18             Konzepte wie die freie Kühlung, um den Energieverbrauch
durch die Kühlung zu reduzieren.` ,
19         },
20         {
21             title: "Ist es umweltfreundlicher mit dem Mobilfunknetz
oder mit dem Festnetz zu streamen?",
22             content: `Die Datenübertragung über das Festnetz benötigt
weniger Energie als die Übertragung über das Mobilfunknetz. Beim
Mobilfunknetz gibt es insbesondere erhebliche Unterschiede zwischen den
verschiedenen Netzwerkgenerationen. Mit der fünften Mobilfunkgeneration 5G
(LTE) wird mittlerweile eine hohe Datenrate, kurze Latenzzeit und gute
Skalierbarkeit geboten, sodass der Unterschied zum Festnetz nicht mehr
gross ist.` ,
23         },
24         {
25             title: "Weshalb ist die CO2-Auslastung in den
verschiedenen Ländern unterschiedlich gross?",
26             content: `Die Emissionen werden mit einem
länderspezifischen Strommix berechnet. Verschiedene Länder erzeugen,
importieren und nutzen Energien auf unterschiedliche Art und Weise und
setzen unterschiedliche Mischungen aus erneuerbaren und konventionellen
Energien ein. Auch wenn der Stromverbrauch in den Ländern gleich gross ist,
hat der Strommix zuletzt einen entscheidenden Einfluss auf die
Umweltauswirkungen.` ,
27         },
28         {

```

```

29         title: "Wie exakt sind die Angaben zu den Energie- und
Emissionswerten?",
30         content: `Die Berechnungen basieren auf Literaturdaten,
die den aktuellen Forschungsstand widerspiegeln. Da keine eindeutige
Berechnungsmethode vorliegt, sind die Angaben implizit mit einigen
Limitation verbunden. Zum Einen wurde jeweils nur die Nutzungsphase der
Geräte betrachtet (ohne Herstellung und Transport). Ausserdem gibt es
Unsicherheiten bei der Berechnung des Energieverbrauchs von
Netzkomponenten, da es derzeit an quantitativen Daten mangelt und geeignete
Berechnungsmethoden weiter validiert und verfeinert werden müssen.` ,
31     },
32     {
33         title: "Wie wird sich der Energieverbrauch in der Zukunft
entwickeln?",
34         content: `Es werden für die Zukunft noch weitere
Effizienzsteigerungen erwartet, die den Energieverbrauch und damit die THG-
Emissionen einer Stunde Videostreaming weiter senken werden. Gleichermassen
wird jedoch erwartet, dass der weltweite Videokonsum weiter steigt, sodass
die Gesamtemissionen voraussichtlich auf einem konstanten Niveau stagnieren
oder gar ansteigen.` ,
35     }
36 ],
37 };
38
39 const faqstyles = {
40     bgColor: '#F5F7F6',
41     titleTextColor: "#F5F7F6",
42     rowTitleColor: "black",
43     rowContentColor: 'darkslategray',
44 };
45
46 const config = {
47     animate: true,
48     tabFocus: true
49 };
50
51 export default function Home() {
52
53     return (
54         <div className={styles.spaceFooter}>
55             <Header />
56             <div className={styles.site}>
57                 <div className={styles.content}>
58                     <h1 className={styles.title}>
59                         <Link href="/" passHref>
60                             <div className={styles.backButton}>
61                                 <svg className={styles.backArrow}
xmlns="http://www.w3.org/2000/svg" height="100%" viewBox="0 0 24 24"
width="100%"><path d="M0 0h24v24H0z" fill="none"/><path d="M20
11H7.83L5.59-5.59L12 4l-8 8 8 8 1.41-1.41L7.83 13H20v-2z"/></svg>
62                                 </div>
63                             </Link>
64                             FAQ
65                         </h1>
66                         <h2>
67                             Hier gibt es Antworten zu häufig gestellten
Fragen.
68                         </h2>
69                         <div style={{marginTop: "-2rem", marginLeft:
"0.5rem", width: "95%"}}>
70                             <Faq
71                                 data={data}
72                                 styles={faqstyles}

```



```

73                                     config={config}
74                                     />
75                                 </div>
76                             </div>
77                         </div>
78                     <Footer />
79 </div>
80 );
81 }

```

## Datei: index.js

```

1  /* eslint-disable @next/next/no-img-element */
2  import * as React from 'react';
3  import { useRef, useEffect } from 'react';
4  import styles from '../styles/Home.module.css'
5  import Footer from '../components/footer';
6  import Header from '../components/header';
7  import Cards from '../components/cards';
8  import Resultgraph from '../components/resultgraph';
9  import BasicModal from '../components/modal';
10 import Box from '@mui/material/Box';
11 import InputLabel from '@mui/material/InputLabel';
12 import FormControl from '@mui/material/FormControl';
13 import OutlinedInput from '@mui/material/OutlinedInput';
14 import Grid from '@mui/material/Grid';
15 import Slider from '@mui/material/Slider';
16 import MuiInput from '@mui/material/Input';
17 import NativeSelect from '@mui/material/NativeSelect';
18 import MuiButton from '@mui/material/Button';
19
20 const kWhDataCenter = 0.0013;
21
22 const kWhSD = 1;
23 const kWhHD = 3;
24 const kWh4K = 7;
25
26 const kWhSwitzerland = 55;
27 const kWhGermany = 332;
28 const kWhAustria = 143;
29 const kWhSweden = 42;
30 const kWhFinland = 142;
31 const kWhSpain = 200;
32 const kWhItaly = 337;
33 const kWhFrance = 68;
34 const kWhEngland = 246;
35
36 const kWhTV = 0.074;
37 const kWhSmartphone = 0.001;
38 const kWhNotebook = 0.022;
39 const kWhTablet = 0.007;
40 const kWhComputer = 0.115;
41
42 const kWhWLAN = 0.022;
43 const kWh3G = 0.447;
44 const kWh4G = 0.080;
45 const kWh5G = 0.029;
46
47 const scrollToRef = (ref) => window.scrollTo({left: 0, top:
ref.current.offsetTop, behavior: 'smooth'});
48
49 const ITEM_HEIGHT = 48;
50 const ITEM_PADDING_TOP = 8;

```

```

51   const MenuProps = {
52     PaperProps: {
53       style: {
54         maxHeight: ITEM_HEIGHT * 4.5 + ITEM_PADDING_TOP,
55         width: 250,
56       },
57     },
58   };
59
60   export default function Home() {
61     const [deviceName, setDeviceName] = React.useState(null);
62     const [hasDeviceError, setHasDeviceError] = React.useState(false);
63     const [connection, setConnection] = React.useState(null);
64     const [hasConnectionError, setHasConnectionError] =
React.useState(false);
65     const [resolution, setResolution] = React.useState(null);
66     const [hasResolutionError, setHasResolutionError] =
React.useState(false);
67     const [country, setCountry] = React.useState(null);
68     const [hasCountryError, setHasCountryError] = React.useState(false);
69     const [datacenter, setDatacenter] = React.useState([]);
70     const [network, setNetwork] = React.useState([]);
71     const [device, setDevice] = React.useState([]);
72     const [emissionFactor, setEmissionFactor] = React.useState([]);
73     const [duration, setDuration] = React.useState(1);
74     const [car, setCar] = React.useState(null);
75     const [clicked, setClicked] = React.useState(false);
76     const myRef = useRef(null)
77
78     const emissions = Math.round((datacenter+network+device)*100)/100;
79     const energy =
Math.round(((datacenter+network+device)/emissionFactor)*100)/100;
80     const dataCenterPercentage = Math.round((datacenter/emissions)*100)
|| 0;
81     const networkPercentage = Math.round((network/emissions)*100) || 0;
82     const devicePercentage = Math.round((device/emissions)*100) || 0;
83
84     const handleSliderChange = (_event, newDuration) => {
85       setDuration(newDuration);
86       sessionStorage.setItem("duration", newDuration);
87     };
88
89     const handleInputChange = (event) => {
90       setDuration(event.target.value === '' ? '' :
Number(event.target.value));
91     };
92
93     const handleBlur = () => {
94       if (duration < 0) {
95         setDuration(0);
96       } else if (duration > 100) {
97         setDuration(100);
98       }
99     };
100
101     const handleDeviceChange = (event) => {
102       const {
103         target: { value },
104       } = event;
105       setDeviceName(value);
106       hideDeviceInput();
107       if (document.getElementById("Smartphone").selected) {
108         sessionStorage.setItem("device", "Smartphone");

```

```

109     }
110     else if (document.getElementById("Tablet").selected){
111         sessionStorage.setItem("device", "Tablet");
112     }
113     else if (document.getElementById("Notebook").selected){
114         sessionStorage.setItem("device", "Notebook");
115     }
116     else if (document.getElementById("Computer").selected){
117         sessionStorage.setItem("device", "Computer");
118     }
119     else if (document.getElementById("TV").selected){
120         sessionStorage.setItem("device", "TV");
121     }
122 };
123
124 const handleNetworkChange = (event) => {
125     const {
126         target: { value },
127     } = event;
128     setConnection(value);
129     hideNetworkInput();
130     if (document.getElementById("3G").selected){
131         sessionStorage.setItem("network", "3G");
132     }
133     else if (document.getElementById("4G").selected){
134         sessionStorage.setItem("network", "4G");
135     }
136     else if (document.getElementById("5G").selected){
137         sessionStorage.setItem("network", "5G");
138     }
139     else if (document.getElementById("WLAN").selected){
140         sessionStorage.setItem("network", "WLAN");
141     }
142 };
143
144 const handleResolutionChange = (event) => {
145     const {
146         target: { value },
147     } = event;
148     setResolution(value);
149     if (document.getElementById("SD").selected){
150         sessionStorage.setItem("resolution", "SD");
151     }
152     else if (document.getElementById("FHD").selected){
153         sessionStorage.setItem("resolution", "FHD");
154     }
155     else if (document.getElementById("4K").selected){
156         sessionStorage.setItem("resolution", "4K");
157     }
158 };
159
160 const handleCountryChange = (event) => {
161     const {
162         target: { value },
163     } = event;
164
165     setCountry(value);
166     if (document.getElementById("switzerland").selected){
167         sessionStorage.setItem("country", "switzerland");
168     }
169     else if (document.getElementById("germany").selected){
170         sessionStorage.setItem("country", "germany");
171     }

```

```

172     else if (document.getElementById("france").selected){
173         sessionStorage.setItem("country", "france");
174     }
175     else if (document.getElementById("italy").selected){
176         sessionStorage.setItem("country", "italy");
177     }
178     else if (document.getElementById("sweden").selected){
179         sessionStorage.setItem("country", "sweden");
180     }
181     else if (document.getElementById("finland").selected){
182         sessionStorage.setItem("country", "finland");
183     }
184     else if (document.getElementById("austria").selected){
185         sessionStorage.setItem("country", "austria");
186     }
187     else if (document.getElementById("spain").selected){
188         sessionStorage.setItem("country", "spain");
189     }
190     else if (document.getElementById("england").selected){
191         sessionStorage.setItem("country", "england");
192     }
193 };
194
195 function executeSubmit() {
196     validateInput();
197     if (deviceName && connection && resolution && country) {
198         scrollToRef(myRef);
199     }
200 }
201
202 function validateInput() {
203     if (!deviceName) {
204         setHasDeviceError(true);
205     } else {
206         setHasDeviceError(false);
207     }
208     if (!connection) {
209         setHasConnectionError(true);
210     } else {
211         setHasConnectionError(false);
212     }
213     if (!resolution) {
214         setHasResolutionError(true);
215     } else {
216         setHasResolutionError(false);
217     }
218     if (!country) {
219         setHasCountryError(true);
220     } else {
221         setHasCountryError(false);
222     }
223     setValues();
224 }
225
226 function setValues() {
227     if (deviceName && connection && resolution && country) {
228         setDatacenter(parseFloat(country)*duration*kWhDataCenter);
229         setNetwork(parseFloat(country)*duration*parseFloat(connection)*parseFloat(resolution));
230         setDevice(parseFloat(country)*duration*parseFloat(deviceName));
231         setEmissionFactor(parseFloat(country));
232         setCar(143);

```

```

233     }
234 }
235
236 function hideDeviceInput() {
237     if (document.getElementById("TV").selected ||
document.getElementById("Computer").selected ||
document.getElementById("Notebook").selected) {
238         document.getElementById("3G").setAttribute("disabled",
"disabled");
239         document.getElementById("4G").setAttribute("disabled",
"disabled");
240         document.getElementById("5G").setAttribute("disabled",
"disabled");
241     }
242     else {
243         document.getElementById("3G").removeAttribute("disabled");
244         document.getElementById("4G").removeAttribute("disabled");
245         document.getElementById("5G").removeAttribute("disabled");
246     }
247 }
248
249 function hideNetworkInput() {
250     if (document.getElementById("3G").selected ||
document.getElementById("4G").selected ||
document.getElementById("5G").selected) {
251         document.getElementById("TV").setAttribute("disabled",
"disabled");
252         document.getElementById("Computer").setAttribute("disabled",
"disabled");
253         document.getElementById("Notebook").setAttribute("disabled",
"disabled");
254     }
255     else {
256         document.getElementById("TV").removeAttribute("disabled");
257         document.getElementById("Computer").removeAttribute("disabled");
258         document.getElementById("Notebook").removeAttribute("disabled");
259     }
260 }
261
262 useEffect(() => {
263     if (sessionStorage.getItem("device") != null) {
264         document.getElementById(sessionStorage.getItem("device")).selected =
"selected";
265         setDeviceName(document.getElementById(sessionStorage.getItem("device")).val
ue);
266         hideDeviceInput();
267     }
268     if (sessionStorage.getItem("resolution") != null) {
269         document.getElementById(sessionStorage.getItem("resolution")).selected =
"selected";
270         setResolution(document.getElementById(sessionStorage.getItem("resolution"))
.value);
271     }
272     if (sessionStorage.getItem("network") != null) {
273         document.getElementById(sessionStorage.getItem("network")).selected =
"selected";

```

```

274
setConnection(document.getElementById(sessionStorage.getItem("network")).value);
275     hideNetworkInput();
276 }
277 if (sessionStorage.getItem("country") != null){
278
document.getElementById(sessionStorage.getItem("country")).selected =
"selected";
279
setCountry(document.getElementById(sessionStorage.getItem("country")).value
);
280     }
281     if (sessionStorage.getItem("duration") != null){
282         setDuration(Number(sessionStorage.getItem("duration")));
283     }
284     setClicked(!clicked);
285 }, []);
286
287 useEffect(() => {
288     setValues();
289 }, [clicked]);
290
291 return (
292     <div>
293         <Header />
294         <div className={styles.site}>
295             <h1 className={styles.title}>
296                 Streaming Energie- und CO2-Rechner
297             </h1>
298
299             <h2>
300                 Mit diesem Rechner kannst du den Energieverbrauch und die
301                 CO2-Emissionen eines Video-Streams berechnen.
302             </h2>
303
304             <main>
305                 <card className={styles.settings}>
306                     <div className={styles.cardText}>
307                         <h3 style={{overflow: 'visible'}}>
308                             <BasicModal />
309                             Finde heraus, wieviel CO2 du beim Videostreamen
310                             verursachst
311                             </h3>
312                             <p className={styles.paragraph}>
313                                 Der Energieverbrauch eines Videostreams ist von
314                                 mehreren Faktoren, wie dem Endgerät, der Videoauflösung und der
315                                 Netzwerkverbindung, abhängig.
316                             </p>
317                             </div>
318                             <div className={styles.controls}>
319                                 <div className={styles.cardWrapper}>
320                                 <div className={styles.selectContainer}>
321                                 <FormControl className={styles.select}
322                                 error={hasDeviceError}>
323                                     <InputLabel id="device-name-label"
shrink={!deviceName}>Gerät</InputLabel>
319                                     <NativeSelect
320                                         labelId="device-label"
321                                         id="device-name"
322                                         value={deviceName}
323                                         onChange={handleDeviceChange}

```

```

324             input={<OutlinedInput notched={!deviceName}
label="Device" />}
325             MenuProps={MenuProps}
326         >
327             <option hidden selected></option>
328             <option id="TV" value={kWhTV}>TV</option>
329             <option id="Computer"
value={kWhComputer}>Computer</option>
330             <option id="Notebook"
value={kWhNotebook}>Notebook</option>
331             <option id="Tablet"
value={kWhTablet}>Tablet</option>
332             <option id="Smartphone"
value={kWhSmartphone}>Smartphone</option>
333         </NativeSelect>
334     </FormControl>
335
336     <FormControl className={styles.select}
error={hasResolutionError}>
337         <InputLabel id="resolution-name-label"
shrink={!resolution}>Auflösung</InputLabel>
338         <NativeSelect
339             labelId="resolution-label"
340             id="device-name"
341             value={resolution}
342             onChange={handleResolutionChange}
343             input={<OutlinedInput notched={!resolution}
label="Resolution" />}
344             MenuProps={MenuProps}
345         >
346             <option hidden selected></option>
347             <option id="SD" value={kWhSD}>Standard
Definition</option>
348             <option id="FHD" value={kWhHD}>Full HD</option>
349             <option id="4K" value={kWh4K}>UHD 4K</option>
350         </NativeSelect>
351     </FormControl>
352
353     <FormControl className={styles.select}
error={hasConnectionError}>
354         <InputLabel id="network-name-label"
shrink={!connection}>Netzwerk</InputLabel>
355         <NativeSelect
356             labelId="network-label"
357             id="network-name"
358             value={connection}
359             onChange={handleNetworkChange}
360             input={<OutlinedInput notched={!connection}
label="Connection" />}
361             MenuProps={MenuProps}
362         >
363             <option hidden selected></option>
364             <option id="WLAN" value={kWhWLAN}>WLAN</option>
365             <option id="3G" value={kWh3G}>3G</option>
366             <option id="4G" value={kWh4G}>4G</option>
367             <option id="5G" value={kWh5G}>5G</option>
368         </NativeSelect>
369     </FormControl>
370
371     <FormControl className={styles.select}
error={hasCountryError}>
372         <InputLabel id="country-name-label"
shrink={!country}>Land</InputLabel>

```

```

373             <NativeSelect
374                 labelId="country-label"
375                 id="country-name"
376                 value={country}
377                 onChange={handleCountryChange}
378                 input={<OutlinedInput notched={!country}
label="Land" />}
379                 MenuProps={MenuProps}
380             >
381                 <option hidden selected></option>
382                 <option id="switzerland"
value={kWhSwitzerland}>Schweiz</option>
383                 <option id="germany"
value={kWhGermany}>Deutschland</option>
384                 <option id="france"
value={kWhFrance}>Frankreich</option>
385                 <option id="italy"
value={kWhItaly}>Italien</option>
386                 <option id="sweden"
value={kWhSweden}>Schweden</option>
387                 <option id="finland"
value={kWhFinland}>Finnland</option>
388                 <option id="austria"
value={kWhAustria}>Österreich</option>
389                 <option id="spain"
value={kWhSpain}>Spanien</option>
390                 <option id="england"
value={kWhEngland}>England</option>
391             </NativeSelect>
392         </FormControl>
393     </div>
394
395     <div style={{display:'grid', gridTemplateColumns:
'1fr', alignItems: 'center'}}>
396         <Box>
397             <a id="input-slider" gutterBottom
className={styles.label}>
398                 Dauer (Stunden)
399             </a>
400             <Grid container alignItems="center"
justifyContent="center">
401                 <Grid item xs>
402                     <Slider
403                         value={typeof duration === 'number' ?
duration : 0}
404                         onChange={handleSliderChange}
405                         aria-labelledby="input-slider"
406                         defaultValue={1}
407                         step={0.1}
408                         max={24}
409                     />
410                 </Grid>
411                 <Grid item>
412                     <MuiInput
413                         className={styles.input}
414                         sx={{ ml: 1.5 }}
415                         value={duration}
416                         size="small"
417                         onChange={handleInputChange}
418                         onBlur={handleBlur}
419                         inputProps={{
420                             step: 0.5,
421                             min: 0,

```



```

422             max: 24,
423             type: 'number',
424             'aria-labelledby': 'input-slider',
425         }}
426     />
427 </Grid>
428 </Grid>
429 </Box>
430 </div>
431 <div>
432     <MuiButton
433         onClick={executeSubmit}
434         variant="contained" >
435         Ausrechnen
436     </MuiButton>
437 </div>
438 </div>
439 </div>
440 </card>
441 <div id="result" ref = { myRef }>
442     <Resultgraph
443         Datacenter = { datacenter }
444         Device = { device }
445         Network = { network }
446         Emissions = { emissions }
447         Energy = { energy }
448         Car = { car }
449     />
450 </div>
451
452     <div style={{textAlign: 'left', marginTop: '5rem',
marginBottom: '-1rem'}}>
453         <h3>
454             Zusammensetzung der CO2-Emissionen:
455         </h3>
456     </div>
457     <Cards
458         Datacenter = { datacenter }
459         DataCenterPercentage = { dataCenterPercentage }
460         Network = { network }
461         NetworkPercentage = {networkPercentage }
462         Device = { device }
463         DevicePercentage = { devicePercentage }
464     />
465 </main>
466 </div>
467 <Footer />
468 </div>
469 );
470 }

```

### Datei: netzwerke.js

```

1     import styles from '../styles/Home.module.css';
2     import Link from 'next/link';
3     import React from "react";
4     import Header from "../components/header";
5     import Footer from "../components/footer";
6
7     export default function Home() {
8
9         return (
10             <div className={styles.spaceFooter}>

```

```

11         <Header />
12         <div className={styles.site}>
13             <div className={styles.content}>
14                 <h1 className={styles.title}>
15                     <Link href="/" passHref>
16                         <div className={styles.backButton}>
17                             <svg className={styles.backArrow}
xmlns="http://www.w3.org/2000/svg" height="100%" viewBox="0 0 24 24"
width="100%"><path d="M0 0h24v24H0z" fill="none"/><path d="M20
11H7.8315.59-5.59L12 41-8 8 8 1.41-1.41L7.83 13H20v-2z"/></svg>
18                             </div>
19                         </Link>
20                         Netzwerke
21                     </h1>
22                 <h2>
23                     Hier erfährst du mehr über die Netzwerke.
24                 </h2>
25             <main>
26                 <card className={styles.textBoxPages}>
27                     <p className={styles.cardTextPages}>
28                         Die Kommunikationsnetze verbrauchen
bei der Übertragung der gewünschten Videodatei an den Nutzer des
Streamingangebots Energie. Entscheidend für die Höhe des Energieverbrauchs
sind hier die Grösse der Videodatei und die Effizienz der Infrastruktur und
Netzwerkgeräte. Dateien werden entweder über das Festnetz oder das
Mobilfunknetz übertragen. Generell wird bei der Übertragung mit dem
Festnetz weniger Energie benötigt. Die neuen Netzwerkgenerationen
(Glasfaserkabel und 5G) sind ihren Vorgängern Kupferkabel, 3G und 4G klar
vorzuziehen und ein Ausbau dieser Infrastruktur kann den Energieverbrauch
erheblich reduzieren. Um die Grösse der Videodatei zu reduzieren und damit
den Energieverbrauch zu senken, kann der Nutzer eine geringere Auflösung
wählen. Ausserdem ermöglichen Komprimierungsstandards immer effektivere
Möglichkeiten, die Grösse der Videodateien zu reduzieren.
29                     </p>
30                 </card>
31             </main>
32         </div>
33     </div>
34     <Footer />
35 </div>
36 );
37
38 }

```

### Datei: rechenzentren.js

```

1     import styles from '../styles/Home.module.css';
2     import Link from 'next/link';
3     import React from "react";
4     import Header from "../components/header";
5     import Footer from "../components/footer";
6
7     export default function Home() {
8
9         return (
10             <div className={styles.spaceFooter}>
11                 <Header />
12                 <div className={styles.site}>
13                     <div className={styles.content}>
14                         <h1 className={styles.title}>
15                             <Link href="/" passHref>
16                                 <div className={styles.backButton}>

```

```

17             <svg className={styles.backArrow}
xmlns="http://www.w3.org/2000/svg" height="100%" viewBox="0 0 24 24"
width="100%"><path d="M0 0h24v24H0z" fill="none"/><path d="M20
11H7.83l5.59-5.59L12 4l-8 8 8 8 1.41-1.41L7.83 13H20v-2z"/></svg>
18         </div>
19     </Link>
20     Rechenzentren
21 </h1>
22 <h2>
23     Hier erfährst du mehr über die Rechenzentren.
24 </h2>
25 <main>
26     <card className={styles.textBoxPages}>
27         <p className={styles.cardTextPages}>
28             Rechenzentren sind grosse Gebäude, in
denen die Videodateien, die für das Streaming benötigt werden, gespeichert
und für den jeweiligen Streamingnutzer bereitgestellt werden. Ihr
Energieverbrauch setzt sich aus Servern, Speichersystemen, Netzwerkgeräten,
der Kühlung der Server und der restlichen Infrastruktur zusammen. Zur
Infrastruktur eines Rechenzentrums gehören komplexe Brandschutzsysteme,
eine unterbrechungsfreie Stromversorgung, Sicherheitssysteme und sonstige
Geräte, die für die Betreibung des Gebäudes nötig sind. Die Server sind für
den grössten Teil des Energieverbrauchs verantwortlich, gefolgt von der
Kühlung. Der Energieverbrauch durch die Kühlung und die restliche
Infrastruktur hängen jedoch direkt von der Anzahl der Server und der Menge
an Energie ab, die von den Servern in Wärme umgewandelt wird. Es gibt
verschiedene Arten von Rechenzentren, die unterteilt werden können in
traditionelle Rechenzentren, Cloud Rechenzentren und Hyperscale
Rechenzentren. Hyperscale Rechenzentren weisen vielversprechende
Entwicklungen hinsichtlich der Umweltauswirkungen auf, da sie weitaus
energieeffizienter sind und eine bessere Servervirtualisierung als
herkömmliche Rechenzentren bieten.
29         </p>
30     </card>
31 </main>
32 </div>
33 </div>
34 <Footer />
35 </div>
36 );
37
38 }

```

#### Datei: globals.css

```

1  html,
2  body {
3      padding: 0;
4      margin: 0;
5      text-align: center;
6      font-family: Arial, sans-serif;
7      text-align: left;
8      background: #F5F7F6;
9      mix-blend-mode: normal;
10     color: #111;
11 }
12
13 a {
14     color: inherit;
15     text-decoration: none;
16     font-size: 0.6rem;
17     display: inline-block;
18 }

```

```

19
20 h1 {
21     font-size: 2rem;
22     margin: 3rem 0.4rem;
23     font-weight: 650;
24 }
25
26 h2 {
27     font-weight: 500;
28     line-height: 1.5;
29     font-size: 1rem;
30     color: #111;
31     margin: 3em 0.4rem;
32 }
33
34 h3 {
35     margin: 0;
36     font-weight: 600;
37     line-height: 2.1rem;
38     font-size: max(calc(0.75vw + 0.25rem), 1.2rem);
39 }
40
41 p {
42     line-height: 1.75rem;
43     font-size: 1rem;
44     color: rgba(0, 0, 0, 0.75);
45 }
46
47 card {
48     background-color: white;
49     border-radius: 1rem;
50     margin: 2rem 0;
51     padding: min(4vw, 4rem);
52 }
53
54 button {
55     height: 2.75rem !important;
56     color: #fff !important;
57 }
58
59 * {
60     box-sizing: border-box;
61 }
62
63 @media (max-width: 650px) {
64     a {
65         font-size: 0.5rem;
66     }
67 }
68
69 @media (min-width: 1300px) {
70     h1 {
71         font-size: 2.25rem;
72     }
73
74     h2 {
75         font-size: 1.2rem;
76     }
77
78     h3 {
79         font-size: 1.35rem;
80     }
81

```

```

82     p {
83         font-size: 1.2rem;
84     }
85 }

```

### **Datei: Home.module.css**

```

1     .site {
2         padding: 2rem 5.5rem;
3         margin: auto;
4         max-width: 80rem;
5         min-height: 50rem;
6     }
7
8     .info {
9         cursor: pointer;
10        position: initial;
11        display: none;
12    }
13
14    .activeLink {
15        color: #111 !important;
16        text-decoration: underline !important;
17        font-family: Arial, Helvetica, sans-serif !important;
18    }
19
20    .disabledLink {
21        color: rgba(17, 17, 17, 0.761) !important;
22        text-decoration: none !important;
23        font-family: Arial, Helvetica, sans-serif !important;
24    }
25
26    .filterColor {
27        filter: invert(89%) sepia(80%) saturate(5%) hue-rotate(80deg)
brightness(100%) contrast(95%);
28    }
29
30    .faq {
31        padding: 1rem;
32    }
33
34    .chartcontainer {
35        display: block;
36    }
37
38    .chart {
39        padding: 2rem;
40        height: min(-moz-calc(10vw + 12rem), 25rem);
41        height: min(-webkit-calc(10vw + 12rem), 25rem);
42        height: min(-o-calc(10vw + 12rem), 25rem);
43        height: min(calc(10vw + 12rem), 25rem);
44    }
45
46    .resultTextOne{
47        font-weight: 400;
48        font-size: 1.5rem;
49        margin-bottom: 5%;
50    }
51
52    .resultTextTwo{
53        font-size: max(calc(3rem - 4vw), 2.5rem);
54        color: rgba(0, 0, 0, 0.75);
55    }

```

```

56
57 .resultTextThree{
58     font-size: 1.25rem;
59     font-weight: normal;
60     color: rgba(0, 0, 0, 0.75);
61 }
62
63 .resultTextFour{
64     font-size: 1.35rem;
65     font-weight: normal;
66     width: 18rem;
67     font-family: 'Avenir';
68     font-style: normal;
69     font-weight: 500;
70     line-height: 160%;
71     color: #3c4a53;
72 }
73
74 .resultTextFive{
75     margin-top: 2.25rem;
76     cursor: pointer;
77     font-size: 1.25rem;
78     font-weight: 500;
79 }
80
81 .resultTextFive:hover {
82     text-decoration: underline;
83 }
84
85 .resultContainer{
86     margin-top: 4rem;
87     display: grid;
88     row-gap: max(calc(7.5vw - 2.5rem), 0.75rem);
89     column-gap: max(calc(15vw - 5rem), 1.25rem);
90     width: inherit;
91     grid-template-columns: repeat(2, 1fr);
92 }
93
94 .cardWrapper {
95     display: grid;
96     grid-template-rows: repeat(2, 1fr);
97 }
98
99 .resultRechenzentrumContainer{
100     margin-left: 8%;
101     grid-column: 1;
102     width: 90%;
103     overflow: visible;
104     max-width: 20.5rem;
105 }
106
107 .resultNetzwerkeContainer{
108     margin-left: 8%;
109     grid-column: 2;
110     width: 90%;
111     overflow: visible;
112     max-width: 20.5rem;
113 }
114
115 .resultEndgeräteContainer{
116     margin-left: 8%;
117     grid-column: 1;
118     width: 90%;

```

```

119     overflow: visible;
120     max-width: 20.5rem;
121 }
122
123 .resultTextContainer{
124     grid-column: 2;
125     background-color: yellow;
126     gap: 2rem;
127     grid-template-columns: repeat(2, 1fr);
128 }
129
130 .datacenterSvg{
131     height: 40%;
132     width: 40%;
133 }
134
135 .networkSvg{
136     height: 50%;
137     width: 50%;
138 }
139
140 .resultSvg{
141     height: 40%;
142     width: 40%;
143 }
144
145 .cardText {
146     grid-column: 2;
147     padding: 1rem 0.5rem;
148     display: grid;
149     grid-template-rows: repeat(2, 1fr);
150     gap: 0.5rem;
151 }
152
153 .controls {
154     grid-column: 1;
155     padding: 1.2rem 0.5rem;
156 }
157
158 .backButton{
159     background-color: rgb(122,206,185);
160     height: 2rem;
161     width: 2rem;
162     offset-anchor: 20% 80%;
163     float: left;
164     margin-right: 0.5rem;
165     border-radius: 50%;
166     transition: 0.5s;
167     margin-top: 2px; /* this is half the height of your div*/
168 }
169
170 .backButton:hover{
171     background-color: rgb(78,144,129);
172     cursor: pointer;
173     box-shadow: 0 0 0 0.2rem rgb(122,206,185);
174 }
175
176 .backArrow{
177     fill: white;
178     display: block;
179     width: 1.5rem;
180     margin: auto;
181 }

```

```

182
183 .settings {
184     position: relative;
185     display: grid;
186     gap: 0 3vw;
187     grid-template-columns: repeat(2, 1fr);
188     grid-template-rows: 0;
189     justify-content: center;
190     align-content: center;
191 }
192
193 .textBoxPages {
194     position: relative;
195     display: grid;
196     justify-content: center;
197     align-content: center;
198     grid-template-rows: 1fr;
199     padding: 2rem 2.5rem;
200     gap: 0;
201 }
202
203 .cardTextPages {
204     padding: 1rem 0.5rem;
205     line-height: 1.75;
206 }
207
208 .input {
209     font-family: 'Avenir';
210     line-height: 1.4375rem;
211     letter-spacing: 0.009368rem;
212     color: rgba(0, 0, 0, 0.6);
213     font-weight: 400;
214     margin-bottom: 0.5rem;
215 }
216
217 .selectContainer {
218     display: grid;
219     gap: 2rem;
220     width: inherit;
221     grid-template-columns: repeat(2, 1fr);
222 }
223
224 .label {
225     font-family: 'Avenir';
226     font-size: 0.8rem;
227     line-height: 1.4375rem;
228     letter-spacing: 0.009368rem;
229     color: rgba(0, 0, 0, 0.6);
230     font-weight: 400;
231     margin-bottom: 0.5rem;
232 }
233
234 .select {
235     min-width: 10rem;
236 }
237
238 .footer {
239     position: static;
240     bottom: 0;
241     width: 90%;
242     padding: 2rem;
243     /* border-top: rgba(0, 0, 0, 0.3) 1px solid; */

```



```

244     box-shadow: 0 2px 4px -50px rgba(0, 0, 0, 0.2), 2px -9px 13px -12px
245     rgba(0, 0, 0, 0.14), 0 1px 10px -50px rgba(0, 0, 0, 0.12);
246 }
247 .spaceFooter {
248     display: flex;
249     min-height: 100vh;
250     flex-direction: column;
251 }
252 .content {
253     flex: 1;
254 }
255
256 @media (max-width: 900px) {
257     .info {
258         display: unset;
259     }
260
261     .settings {
262         gap: 0;
263     }
264
265     .chart {
266         max-width: 33rem;
267         padding: 1rem 0;
268         margin: auto;
269     }
270
271     .selectContainer {
272         gap: max(1rem, 4vw);
273     }
274
275     .select {
276         min-width: unset;
277     }
278
279     .site {
280         padding: 0.25rem max(20vw - 5rem, 1.5rem);
281     }
282
283     .title {
284         font-size: 2rem;
285     }
286
287     .paragraph {
288         display: none;
289     }
290
291     .settings {
292         grid-template-columns: 0;
293         grid-template-rows: 1fr;
294         padding: 2rem 1rem;
295     }
296
297     .cardText {
298         display: block;
299     }
300
301     .controls {
302         grid-column: 2;
303     }
304
305 }

```

```

306
307 @media (max-width: 600px) {
308     .resultContainer {
309         grid-template-columns: 1fr;
310         margin-top: 2rem;
311     }
312
313     .resultNetzwerkeContainer {
314         grid-column: 1;
315     }
316
317     .resultTextOne{
318         font-size: 1.5rem;
319     }
320
321     .resultTextTwo{
322         font-size: 2rem;
323     }
324
325     .resultTextThree{
326         font-size: 1.25rem;
327     }
328
329     .resultTextFour{
330         font-size: 1.25rem;
331     }
332
333     .resultTextFive{
334         font-size: 1.25rem;
335     }
336 }
337
338 @media (max-width: 345px) {
339
340     .cardWrapper {
341         grid-template-rows: 1fr;
342     }
343
344     .selectContainer {
345         grid-template-columns: 1fr;
346     }
347 }
348
349 @media (min-width: 1100px) {
350     .resultContainer {
351         grid-template-columns: repeat(3, 1fr);
352         gap: 2.5rem;
353     }
354
355     .resultEndgeräteContainer {
356         grid-column: 3;
357     }
358 }
359
360 @media (min-width: 1300px) {
361     .backButton{
362         height: 2.25rem;
363         width: 2.25rem;
364         margin-right: 0.5rem;
365         margin-top: 2px; /* this is half the height of your div*/
366     }
367 }

```

### Datei: theme.js

```
1  import { createTheme } from '@mui/material/styles';
2
3  export const theme = createTheme({
4    palette: {
5      type: 'light',
6      primary: {
7        main: '#70CEB9',
8      },
9      secondary: {
10       main: '#F5F7F6',
11       contrastText: '#111',
12     },
13   },
14   typography: {
15     fontSize: 12,
16     fontFamily: 'Arial',
17   },
18   shape: {
19     borderRadius: 10,
20   },
21   key: {
22     color: "#cfe8fc"
23   }
24 });
```