

## Die digitale Welt und das Klima



**Ob zentrale Rechenzentren für Kunden mit spezifischen Anwendungen oder Rechenzentren für alle Internet- und Telekommunikationsnutzer- oder Rechenzentren, die nicht nur über Datenkabel, sondern auch über Satellitenanlagen an die verschiedenartigsten Datennetze angeschlossen sind, sie alle benötigen für ihren Betrieb viel elektrische Energie. Bei deren Erzeugung werden derzeit gerade auch für die Rechenzentren bisher sehr viel Treibhausgase in die Atmosphäre emittiert.**

*Inzwischen haben einige Menschen ein schlechtes Gewissen bei der Frage, was sie der Umwelt mit einem Flug in den Urlaub eigentlich antun. Gleichzeitig denken vor allem in den Städten viele Menschen darüber nach, ob sie im städtischen Bereich noch ein Kraftfahrzeug brauchen oder benutzen sollten. Dies gilt vor allem für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Gleichzeitig sehen immer mehr Menschen aber auch ein, dass die von den Herstellern inzwischen stark propagierten batteriebetriebenen Elektroautos auch Rohstoffe brauchen, deren Abbau in den Ländern, wo sie abgebaut werden, große Umweltschäden und Nachteile für die dortigen Bewohner hervorrufen. Gleichzeitig nutzen viele Menschen, Firmen und Institutionen immer intensiver die digitalen Netze, ohne nach deren Wirkung auf unsere Umwelt zu fragen. An diesen Beispielen wird deutlich, dass viele Einzelprobleme einer nachhaltigen, umweltschonenden und für alle Energieverbraucher ausreichenden Energieversorgung nicht mit einfachen und kurzen Argumenten beschrieben oder gar gelöst werden können. Wird das Thema der Energienutzung*

*und des Energieverbrauchs breiter betrachtet, müssen sehr bald auch weitere Fragen gestellt und zusätzliche Vergleiche beachtet werden. Vor allem die digitalen Welten der Daten und Netze und die Welten der mobilen Kommunikation verbrauchen schon heute große Energiemengen – und dort wird künftig auch noch mit hohen Wachstumsraten und mit steigenden Emissionen gerechnet. Leider haben noch viel zu wenige Menschen, Unternehmen oder Institutionen dies bisher in ihre Betrachtungen einbezogen.*

## **Inhalt: Die digitale Welt und das Klima**

<b>Vergleiche zeigen die sinnvolle Verteilung der Energienutzung an</b>	<b>Seite 3</b>
<b>Welche Ziele sollen mit den derzeitigen Vorschlägen erreicht werden?</b>	<b>Seite 4</b>
<b>Grundlegende Überlegungen zum Bereitstellen von Energie</b>	<b>Seite 5</b>
<b>Welche Energieformen gibt es und wie hängen sie zusammen?</b>	<b>Seite 7</b>
<b>Energie wird zunächst in eine gängige Form umgewandelt</b>	<b>Seite 9</b>
<b>Wieviel Energie wird für verschiedene Nutzungsarten benötigt?</b>	<b>Seite 11</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Menge durch Dieselkraftstoff aus fossilen Rohstoffquellen</b>	<b>Seite 12</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Menge durch Ausatmen</b>	<b>Seite 13</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Menge aus dem Verbrennen von Kerosin im Luftverkehr</b>	<b>Seite 13</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Menge aus dem Verbrennen von Schweröl im Schiffsverkehr</b>	<b>Seite 13</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Menge beim Erzeugen von elektrischem Strom für den Internetbetrieb</b>	<b>Seite 14</b>
<b>Energieverbrauch für den Betrieb der Internet-Rechenzentren</b>	<b>Seite 14</b>
<b>Gründe für das erwartete Anwachsen des Internet-Stromverbrauchs</b>	<b>Seite 15</b>
<b>Werden der digitalen Welt umweltschädliche Folgen zugemessen?</b>	<b>Seite 17</b>
<b>Auf welche Weise wird das Denken zielführend gelenkt?</b>	<b>Seite 17</b>
<b>Welche Energienutzungsarten wurden bisher häufig kritisiert?</b>	<b>Seite 18</b>
<b>Gibt es auch bisher kaum kritisierte Energienutzungsarten?</b>	<b>Seite 18</b>
<b>Entsteht künftig ein Verteilungsproblem für saubere Energie?</b>	<b>Seite 20</b>
<b>Hinweise auf Literaturquellen</b>	<b>Seite 20</b>

**Bis zur Krise, die weltweit durch das Corona-Virus Sars-CoV-2 hervorgerufen ist, wurde, dem Thema Umwelt und der Rettung unseres Planeten in den Nachrichten, in den Medien und auf vielen weiteren gesellschaftlichen Ebenen viel Beachtung geschenkt. Ein Grund dafür ist auch die inzwischen global agierende und immer bekannter gewordene Schüler- und Jugendbewegung „Fridays for Future“, die inzwischen auch andere Altersgruppen aktivieren konnte und richtigerweise die Forderungen erhebt, die Aussagen der Wissenschaftler auch zum Thema Klima und Klimawandel endlich ernst zu nehmen.**

Ob und inwieweit dies wirklich geschieht, kann durch die inzwischen von der Corona-Krise stark beeinflussten gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklungen nicht mehr bewertet werden. Es gibt jedoch inzwischen auch Stimmen, die deutlich formulieren, im Zuge der konkreten Krisenbewältigung der Corona Pandemie die erforderlichen Veränderungen zum Lösen der angesprochenen Klimakrise ebenso anzudenken und vorzubereiten. Dies sollte deshalb miteinander verknüpft geschehen, dass nicht eine Rückkehr in die bisherigen Strukturen gefördert und damit künftig erforderliche strukturelle Problemlösungen erschwert oder gar unmöglich gemacht werden.

In diesem Zusammenhang muss auch betrachtet werden, dass die deutsche Bundesregierung die Entwicklungen zum breitgefächerten Anwenden von künstlicher Intelligenz als Grundlage für eine durchgreifende Digitalisierung und eine starke Verbreitung der Nutzung des Internets fordert und fördert. Als Beispiel dafür sei hier auf die Argumente zum Einführen und zum Ausbau der G5-Netzinfrastrukturen verwiesen, die vor allem von vielen Industrievertretern gefordert werden.

Gleichzeitig will die deutsche Bundesregierung aber auch die für einen Schutz des Weltklimas erforderlichen Klimaziele durch ein entsprechendes Verringern der derzeit bestehenden Emissionen von Klimagasen erreichen. Dabei muss die Frage danach gestellt werden, ob - und wenn ja in welcher Weise oder wie stark - sich diese beiden Ziele gegenseitig beeinflussen. Ein solcher Einfluss dieser beiden Ziele aufeinander muss schon allein deshalb angenommen werden, weil für die Digitalisierung und für den Betrieb des Internets der elektrische Strom die Grundlage jedes Betriebes darstellt. Beim Erzeugen des erforderlichen Stroms in entsprechend dimensionierten Kraftwerken entstehen allerdings auch entsprechende Mengen an Klimagasen, die dann in die Atmosphäre „entsorgt“ werden. Die angestrebte Digitalisierung und die angestrebte Verbreitung der Internetnutzung können daher die ebenfalls angestrebten Ziele einer ausgeglichenen Umweltbilanz behindern und möglicherweise auch konterkarieren.

Interessanterweise werden derzeit im politischen Prozess für verschiedene Emissionsquellen der Klimagase gleichzeitig sowohl Verbote, als auch ein Verordnen von neu definierten hohen Abgaben und damit von zusätzlichen Kosten für die Bürger diskutiert. Es fällt allerdings auf, dass nicht alle starken Emissionsquellen als gleichwertig angesprochen und diskutiert werden – ja es gibt sogar manche Verursacher von Emissionen, die, ob bewusst oder bisher unerkannt, in diesem Kontext kaum angesprochen werden oder gar nicht angesprochen werden sollen!

## **Vergleiche zeigen die sinnvolle Verteilung der Energienutzung an**

In diesem Zusammenhang wird es offensichtlich dringend erforderlich, zunächst die derzeit in den Diskussionen angesprochenen, aber ebenso die möglicherweise dabei bewusst auch nicht angesprochenen Energieverbrauchszahlen verschiedener Nutzungen zu benennen und gegenüber zu stellen. Daraus können dann eventuell auch sinnvolle weitere Schritte entwickelt werden, die auch auf ein verändertes künftiges Betreiben verschiedener Energienutzungsarten hinführen. Es gilt also zunächst festzu-

stellen, wieviel Energie für die verschiedenartigsten Nutzungsarten überhaupt verwendet wird, damit eine sinnvolle Planung für eine offenbar angedachte Verteilung von Energie auf die bestehenden Nutzungsarten überhaupt möglich werden könnte.

Dahinter stehen natürlich zunächst die Fragen, für welche Nutzung in unserer Gesellschaft wieviel Energie derzeit benötigt und verbraucht wird. Es zeigt sich, dass der Energiebedarf den jeweiligen Nutzungsarten entsprechend angegeben wird. Die dabei verwendeten verschiedenartigen Einheiten lassen auf den ersten Blick einen direkten Vergleich der Verbrauchsangaben nicht zu. Verschiedenartige Einheiten für Energie und Leistung können jedoch – den physikalischen Grundlagen entsprechend – in andere Einheiten für Energie und Leistung umgerechnet werden. Dabei wird es dann erforderlich, eine entsprechende Vergleichseinheit zu benennen und die zu vergleichenden Daten umzurechnen.

Eine möglichst verständliche Vergleichbarkeit der Antworten hängt sehr stark von den jeweils gewählten Vergleichseinheiten ab. Dabei gilt es zu bedenken, ob in einem der zu vergleichenden Nutzungsbereiche überwiegend eine Energieart verbraucht wird und ob es möglich ist, die im Vergleichsbereich verwendeten Energiearten für den Vergleich auch in diese Hauptenergieart umzurechnen. Über derart berechnete Vergleichswerte können dann verschiedenartige Energienutzungsbereiche miteinander verglichen werden. Die derart ermittelten Ergebnisse machen es dann auch möglich, die Verbrauchsbereiche zu identifizieren und zu hinterfragen, in denen die größten Energieanteile gebraucht werden. Dementsprechend könnten dann auch Umstellungen auf weniger klimaschädliche Energieformen oder Treibstoffe besser geplant und möglicherweise auch durchgeführt werden. Insgesamt würde sich daraus eine effizientere Anwendung verschiedener Energieerzeugungen und damit eine für die Umwelt sinnvollere Energienutzung ergeben. Dies könnte letztendlich auch dazu führen, die spezifischen Anforderungen für verschiedene Energienutzungen besser zu berücksichtigen.

## Welche Ziele sollen mit den derzeitigen Vorschlägen erreicht werden?

Die technische Entwicklung in den vergangenen Jahrzehnten hat gezeigt, dass es einerseits denkbar ist, einige Bereiche des gesellschaftlichen Betriebs und die derzeit dort überwiegend verwendeten Energienutzungen auf andere Energieträger umzustellen. Dies erfordert allerdings auch von allen Teilnehmern am gesellschaftlichen Leben erhöhte Investitionen, die für viele Bürger nicht so schnell und oft auch nicht in der entsprechend erforderlichen Höhe umgesetzt werden können. An dieser Stelle müssen dann die vielfach beschriebenen Forderungen nach Effizienz und vor allem nach einem Zwang zum Einsparen des Verbrauchs gewisser Energieformen näher betrachtet werden. Hier stellen sich die Fragen danach, ob mit solchen Forderungen zwar einerseits die Notwendigkeit einer Veränderung im Energieverbrauch dargestellt werden kann, ob damit aber andererseits die gleichzeitigen Anforderungen an schnelle Umsetzungen konterkariert werden. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass Kombinationen mit Anforderungen, die sich in entscheidenden Punkten widersprechen, nicht wirklich mit der erforderlichen Geschwindigkeit zielführend wirken. Außerdem wird dabei der Gedanke,



eine möglichst schnelle und für die Atmosphäre oder das Klima schnellstmögliche Wirkung zu erzielen, nicht als der primär wichtige Gedanke vertreten.

Die bestehenden Forderungen nach Veränderungen im Energieverbrauch zielen eher auf ein längerfristig wirkendes Konzept einer grundsätzlichen Umstellung hin. Dabei wird als Ziel erkennbar, den Energieverbrauch spezifischer Nutzungsarten abzubauen. Diese Betrachtungen resultieren aus politisch geprägter Sicht, die mit den Zielen verknüpft werden, auch gesellschaftliche Veränderungen herbeizuführen. Um allerdings möglichst schnell einen ökologischen Vorteil für das Leben und den Planeten zu erreichen, würden andere Vorgehensweisen schnellere Fortschritte versprechen. Zuerst müssen dazu jedoch verschiedene Nutzungsarten und deren Energieverbräuche ermittelt, gegenübergestellt und miteinander verglichen werden.

## Grundlegende Überlegungen zum Bereitstellen von Energie

Für die verschiedenen Prozesse, die in unseren Gemeinschaften funktionieren sollen, muss die dazu jeweils erforderliche Energie bereitgestellt werden. Um dies so zu erreichen, dass dabei weder die Menschen, noch unsere Umwelt irgendwie Schaden nehmen könnten, sollten zunächst folgende Überlegungen zum Erzeugen und zum Verwenden der benötigten Energie berücksichtigt werden:

- Zum Vermeiden von unnötigen Transportverlusten sollte benötigte Energie dezentral und vor allem dort erzeugt werden, wo sie auch verwendet werden soll.



*Die bestehende Infrastruktur zur Energieversorgung spielt beim Bereitstellen der jeweils lokal benötigten Energie eine Schlüsselrolle. Diese können die bestehenden Versorgungsnetze für viele Energienutzungsarten künftig nicht mehr ausfüllen, da in vielen Fällen die vorhandenen Netzkapazitäten gerade für den derzeitigen Energiebedarf ausreichen. Absehbare und geplante Steigerungen erfordern den Ausbau verschiedenartiger Versorgungsnetze.*

- Zum Vermeiden von unnötigen Umwandlungsverlusten sollte benötigte Energie möglichst in der Energieform bereitgestellt werden können, in der sie auch verwendet werden soll.
- Zum Vermeiden von unnötigen Umweltbelastungen durch den Auf- oder Ausbau aufwendiger Energieversorgungsnetze, sollten lokale und/oder mobile Strukturen zum Erzeugen der jeweils benötigten Energie aufgebaut werden.
- Zum Vermeiden von Verteilungskämpfen um eine Versorgung mit stark nachgefragten Energieformen, sollten vor allem die für mobile Anwendungen erforderlichen Energien, die bestehenden Versorgungsnetze für die stationäre Versorgung nicht zusätzlich belasten.
- Zum Vermeiden von Engpässen in der lokalen Energieversorgung für bestehende Versorgungsnetze spezifischer Energieformen, sollten Großverbrauchereinheiten immer in räumlicher Nähe zu den Erzeugereinheiten platziert werden.
- Zum generellen Vermeiden von Engpässen in der Energieversorgung sollen in den verschiedenen Versorgungsnetzen als Pufferlösung auch Vorrichtungen zum Speichern der jeweils benötigten Energieform eingerichtet werden.
- Zum Vermeiden von weiterhin unnötigen Belastungen der planetaren Umwelt durch Verbrennen von Kraftstoffen mit fossilem Kohlenstoff, sollten moderne Technologien zur Rückgewinnung des in die Atmosphäre entsorgten Kohlenstoffs als Rohstoff für synthetische Kraftstoffe eingesetzt werden. Die damit erzeugten Kraftstoffe sollten überwiegend dort verwendet werden, wo die hohe Energieentfaltung der Kraftstoffverbrennung zum Erreichen des Einsatzzwecks unbedingt erforderlich ist.

Hierzu wäre es wichtig, mit rezentem Kohlenstoff und mit Wasserstoff beispielsweise synthetisches Kerosin herzustellen. Kohlenstoff kann über entsprechende Techniken an den CO<sub>2</sub>-Emissionspunkten aus einem Prozess oder aus der Atmosphäre zurück-gewonnen werden. Da es diese Techniken bereits gibt, sollte dies schnell realisiert werden, um den Anteil an emittiertem fossilem Kohlenstoff – beispielsweise im Luftverkehr – schnellstmöglich zu reduzieren und in der Atmosphäre in einen technischen CO<sub>2</sub>-Kreislauf zu überführen.

- Zum Vermeiden eines insgesamt größeren Energieverbrauchs durch ein Verlagern von bestehenden Diensten auf strukturell andersartige Anwendungen sollte grundsätzlich darauf geachtet werden, dass keine außerdem entstehenden energieintensiven Dienste die Treibhausgasemissionen zusätzlich steigern.

Als Beispiele können hier die während der Corona-Krise verstärkt eingesetzten Telefon- und Videokonferenzschaltungen dienen, denen sich zusätzlich viele mit besonderen Angeboten auftretende Streamingdienste hinzugesellt haben. Insgesamt betrachtet zeichnet sich dadurch eine bisher zu beobachtende Steigerung von mehr als 10% des bisher transportierten Datenvolumens ab.

## Welche Energieformen gibt es und wie hängen sie zusammen?

Im streng physikalischen Sinn kann Energie nicht erzeugt, aber auch nicht vernichtet werden. Energie gibt es aber in verschiedenen Energieformen und es ist möglich, Energie aus einer Energieform in eine andere, besser nutzbare Form umzuwandeln. In unserer Gesellschaft wird zwar von Energieerzeugern gesprochen, aber damit sind immer Vorgänge oder Firmen beschrieben, deren Geschäft es ist, Energie in eine jeweils benötigte Energieform umzuwandeln und dann bereitzustellen. Bezogen auf das Umwandlungsziel, können solche Umwandlungen allerdings nicht vollständig vollzogen werden, wobei aus technischen Gründen auch Energieverluste benannt werden. Es geht dabei allerdings keine Energie verloren. In den technischen Umwandlungsprozessen werden gewisse Energieanteile nicht in die Zielenergieform gewandelt, sondern gehen durch Reibung und/oder weitere - eigentlich unerwünschte - Vorgänge im Wandlungsprozess in verschiedene andere Energieformen über. Diese auf die Zielenergieform bezogenen „Verluste“ im jeweiligen Wandlungsprozess werden technisch durch den Wirkungsgrad der jeweiligen Umwandlungstechnik beschrieben.

Es ist bei Energie daher auch jederzeit möglich, das Umwandeln einer Energieform in eine andere - besser verwendbare - Energieform zu berechnen. Gleichzeitig können dabei auch die bei den Umwandlungsprozessen technisch erreichbaren Wirkungsgrade berücksichtigt werden. Daher ist es wichtig zu betrachten, welche Energieformen es gibt und wie sie in die Energieformen gewandelt werden, die hauptsächlich verwendet werden:

- **Bewegungsenergie** (oder kinetische Energie)

Immer dann, wenn sich etwas bewegt, hat die entsprechende Masse die kinetische Energie dieser Bewegung. Als Beispiele können hier die Windbewegung von Luft, das Fließen von Wasser sowie das Fahren eines Autos oder Zuges dienen.

Bewegungsenergie ist einerseits die Energiequelle, aber häufig auch ein Ziel verschiedenartiger Umwandlungsprozesse: Beispielsweise werden Wind und strömendes Wasser in elektrische Energie umgewandelt, oder die chemische Energie von Kraftstoffen wird in Bewegungsenergie für Autos, Züge, Schiffe, Flugzeuge oder Satelliten umgewandelt.

- **Lageenergie** (oder potentielle Energie)

Für jeden ruhenden Gegenstand hat die entsprechende Masse die potentielle Energie dieser Ruhelage. Wird diese Ruhelage verändert, ändert sich auch die Lageenergie des entsprechenden Gegenstands. Als Beispiele können hier das Wasser eines Berg- oder Stausees, oder ein zur Umgebung unter Differenzdruck stehender Behälter dienen.

Fließt das Wasser eines Stausees in den Bergen kontrolliert ab, kann das Verändern der Lageenergie beim Fallen in eine Drehbewegung (mechanische Energie) und nachfolgend in elektrische Energie umgewandelt werden. Wenn Überdruck oder Unter-

druck durch Ventile kontrolliert abgebaut werden, kann die entstehende Ausgleichsströmung ebenfalls zur Energieumwandlung verwendet werden.

- **Wärmeenergie** (oder thermische Energie)

Die Wärmeenergie ist eine innere Energie der Materie und auch eine Bewegungsenergie. Dabei werden alle ungerichteten Zufallsbewegungen der Materiebausteine, also die Summe der Bewegungsenergie (der kinetischen Energie) der Materieteilchen als Mittelwert dargestellt. Die Temperatur ist daher ein Maß für die Bewegungsenergie der Materiebausteine. Mit Wärme wird die thermische Energiemenge beschrieben, die beim Übertragen von Wärmeenergie abgegeben oder aufgenommen wird.

Wärmeenergie spielt bei der technischen Umwandlung zwischen den Energieformen eine große Rolle. Als Beispiele dafür können alle Verbrennungsprozesse, viele chemischen Prozesse und auch die kerntechnischen Prozesse dienen.

- **Elektrische Energie**

Bei der elektrischen Energie werden sowohl elektrische Ladungen als Materieeigenschaften und das Verhalten von Ladungsträgern in elektrischen oder magnetischen Feldern, als auch die Wirkung der Bewegung solcher Ladungsträger in der Vorzugsrichtung eines gerichteten Flusses durch ein ruhendes Medium oder im freien Raum betrachtet. Die Bewegung durch ein ruhendes Medium entspricht dem elektrischen Stromfluss oder Leitungsstrom (beispielsweise in einer Kupferleitung), die durch einen freien Raum wird als Konvektionsstrom (beispielsweise der Sonnenwind) betrachtet.

Elektrische Energie kann leicht über Leitungsnetze verteilt und mit vielen technischen Geräten in andere Energieformen umgewandelt werden. Sie wird auch häufig zentral in verschiedenartigen Kraftwerken über Umwandlungsprozesse erzeugt. Erst in den letzten Jahren treten zunehmend auch kleinere, dezentrale Erzeuger auf. Die Verwendung der elektrischen Energie nimmt derzeit weltweit zu und es wird künftig zunehmend mehr elektrische Energie nachgefragt werden. Dabei ist absehbar, dass künftig auch danach gefragt werden muss, welche Verwendungen von elektrischer Energie wirklich erforderlich sind, und welche Anwendungen oder Angebote in den menschlichen Gemeinschaften auch freiwillig weniger stark nachgefragt werden könnten.

- **Atomenergie** (oder Kernenergie)

In Kernreaktoren der derzeitigen Reaktortechnik werden genügend schwere Atomkerne durch die neutroneninduzierte Kernspaltung meist in jeweils zwei mittelschwere Spaltfragmente gespalten, wobei ebenfalls freiwerdende Neutronen als Kettenreaktion weitere Kernspaltungen auslösen. Durch diese Vorgänge entsteht in den Brennstäben einerseits Strahlungsenergie und andererseits Reibungswärme. Die Wärme wird über Wärmetauscher abgeführt und in weiteren Prozessen mit Turbinen letztendlich in elektrische Energie überführt.



Die Nachteile der derzeitigen Kernreaktoren zeigen sich vor allem in den geologisch langen Endlagerzeiten (mehrere 100.000 Jahre) der zurückbleibenden radioaktiven Spaltprodukte. Mit der neuen Reaktortechnik der „Dual-Fluid-Reaktoren“ könnten diese Nachteile sogar in Vorteile gewandelt werden, denn dabei würden einerseits wesentlich kürzere Endlagerzeiten der Spaltprodukte erforderlich und außerdem könnten die Spaltprodukte der herkömmlichen Reaktortechnik auch als Brennstoff dieser neuen Reaktortechnik verwendet werden. Bisher fehlt allerdings die Bereitschaft, einen solchen Versuchsreaktor zu bauen und sichere Betriebsdaten im Versuchsbetrieb festzulegen.

- **Chemische Energie**

Auch die chemische Energie ist eine innere Energie. Sie ist in jeder chemischen Verbindung gespeichert und kann bei chemischen Reaktionen über die Neuordnung der Reaktionspartner freigesetzt werden.

In Batterien wird chemische Energie über eine umkehrbare chemische Reaktion direkt in elektrische Energie umgewandelt. Auch die Photosynthese ist ein chemischer Prozess, bei dem Strahlungsenergie in chemische Energie umgewandelt wird. Außerdem wird mit jedem Verbrennungsprozess die in den Brenn- oder Treibstoffen vorhandene chemische Energie zunächst in Wärmeenergie umgewandelt. Diese wird dann für eine nachfolgende Nutzung oder für eine weitere Umwandlung bereitgestellt.

- **Strahlungsenergie** (oder elektromagnetische Energie)

Strahlungsenergie ist die von der jeweiligen Frequenz abhängige Energie elektromagnetischer Wellen. Dazu gehören Licht, Mikrowellen, Röntgenstrahlung, Radiowellen, Infrarot- und Ultraviolettstrahlung. Elektromagnetische Wellen breiten sich immer mit Lichtgeschwindigkeit aus.

Strahlungsenergie wird überwiegend durch das Umwandeln von Licht in elektrischen Strom oder in Wärme genutzt.

## **Energie wird zunächst in eine gängige Form umgewandelt**

**Mit den derzeit genutzten Energiequellen stehen zunächst die hier kurz beschriebenen Energieformen als Primärenergie zur Verfügung. Meist wird in unserer technisch strukturierten Welt die Energie aber zunächst in einer anderen Energieform benötigt, in der sie besser transportiert, besser gespeichert oder effektiver genutzt werden kann. Über verschiedenartige Umwandlungsprozesse mit jeweils unterschiedlichen Wirkungsgraden werden diese Primärenergien zunächst in Sekundärenergien überführt. Die jeweilige Energieform der Sekundärenergie wird von den Vorgaben der geplanten Nutzung bestimmt. Soll viel Sekundärenergie transportiert und am Ziel sogar in der gleichen Energieform als Endenergie bereitgestellt werden, kann schon vor dem Transport zum Verbraucher ein weiterer Umwandlungsverlust vermieden werden. Trifft dies nicht zu, wird vor dem Verteilen der Energie zum Verbraucher die Sekundärenergie auch noch in die Energieform der zu verteilenden Endenergie gewandelt.**

Bei diesen Betrachtungen zeigt sich, dass Energie entweder als elektrische Energie (als elektrischer Strom), als chemische Energie (als Kraftstoff) oder als Wärmeenergie (als fließendes oder strömendes warmes Transportmedium) transportiert wird. Zum Speichern von Energie werden – den derzeitigen technischen Möglichkeiten entsprechend – hauptsächlich die Energieformen der chemischen Energie, die Kraftstoffe oder der Wärmeenergie, gut isolierte Behälter für warme Transportmedien verwendet. Elektrische Energie kann nicht direkt gespeichert werden. Sie wird vor dem Speichern immer in eine speicherbare andere Energieform umgewandelt.



*Chemische Energie lässt sich in der Form verschiedenartiger Kraftstoffe gut lagern und transportieren. Solche Kraftstoffe werden derzeit in Raffinerien überwiegend aus dem fossilen Rohstoff Erdöl gewonnen. Inzwischen ist es aber ebenso möglich, aus den rezenten Rohstoffen Kohlenstoff und Wasserstoff synthetische Kraftstoffe mit gleichen Eigenschaften herzustellen. Solche industriellen Produktionsstätten könnten ähnlich aussehen.*

**Da es beim Verwenden von Energie immer wieder zu Umwandlungen der Energieform kommt, stellt sich auch die Frage, welche Energieform die am weitesten verbreitete Form ist. Außerdem muss danach gefragt werden, in welchem Verhältnis eine häufig verwendete energieformspezifische Einheit zu der für alle Energieformen verwendeten Einheit  $J = \text{Joule} [\text{kg m}^2 / \text{s}^2]$  steht:**

- Aufgrund der guten Transportfähigkeit und der dabei auch möglichen Transportgeschwindigkeit ist auf der Landoberfläche die elektrische Energie in der Form des elektrischen Stroms die am weitesten verbreitete Energieform. Allerdings ist dazu auch ein entsprechendes Verteilernetz erforderlich, an das die entsprechenden

Energieverbraucher über festgelegte und immobile Abnahme- und Messpunkte angeschlossen werden müssen. Die elektrische Energiemenge wird dabei als elektrische Arbeit mit der Einheit KWh (Kilowattstunde) erfasst und berechnet. Dabei gilt  $1 \text{ KWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$ .

Im Jahr 2017 wurden zum Erzeugen von 1 KWh elektrischen Stroms durch das Verbrennen fossiler Energieträger durchschnittlich etwa 485 g CO<sub>2</sub> emittiert. Durch das Optimieren der Verbrennungsprozesse können diese Emissionen technisch weiter reduziert werden. Außerdem sollte durch ein Mischen mit regenerativen Produktionsarten dieser Emissionswert wesentlich stärker und schneller reduziert werden können.

- Auch die chemische Energie kann in der Form von Kraftstoffen gut transportiert werden. Sie wird zwar ebenfalls im Bereich von zentralen Kraftwerken zum Erzeugen von elektrischer Energie verwendet, um diese zentral in das erforderliche Verteilernetz einspeisen zu können, aber ihr großer Vorteil liegt vor allem in der Anwendung als transportable Energie für mobile Anwendungen in den verschiedenartigsten Fahrzeugen oder Geräten für die verschiedenen Kraftstoffe.

Da die Energiemenge verschiedenartiger Kraftstoffe unterschiedlich ist, wurde zum Vergleich die Einheit SKE = Steinkohleeinheit definiert. Dabei gilt  $1 \text{ kg SKE.} = 7.000 \text{ kcal} = 29,3076 \text{ MJ} = 8,141 \text{ KWh} = 0,7 \text{ Kg ÖE}$ . Die Einheit ÖE gilt als Öleinheit und wird überwiegend in angelsächsisch geprägten Umgebungen mit englischen oder amerikanischen Grundeinheiten verwendet.

- Die Wärmeenergie wird aus dem Volumenstrom des zum Transport verwendeten strömenden Transportmediums und der Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf ermittelt. Die Wärmeenergie wird dabei in GJ (Gigajoule) oder in MWh (Megawattstunden) angegeben.

## Wieviel Energie wird für verschiedene Nutzungsarten benötigt?

**Es ist nur natürlich, dass in den menschlichen Gemeinschaften für die verschiedenartigen Nutzungsarten von Energie jeweils unterschiedlich große Energiemengen benötigt oder benutzt werden. Es ist ebenfalls natürlich, dass der Verbrauch der Energieformen für bestimmte Energienutzungen mit ihren Auswirkungen stärker beachtet und diskutiert werden, als andere Nutzungen, die in der allgemeinen Betrachtung noch nicht stärker in den Fokus einer Kritik geraten sind. Es wäre daher wichtig und interessant, die verschiedenen Energieformen und die im Energieverbrauch größten Verbräuche zu erfassen, gegenüber zu stellen und nach deren Auswirkungen auf die derzeit stark diskutierten Belastungen unserer Umwelt zu hinterfragen. Es ist dabei im Rahmen dieses Aufsatzes nicht möglich, alle diese verschiedenartigen Energienutzungen anzusprechen. Es sollen daher hier zunächst nur einige der stark angesprochenen und einige der in den Diskussionen kaum erwähnten Energienutzungen gegenübergestellt werden. Dabei konzentrieren sich die Angaben im Rahmen dieses Aufsatzes auf die für die angesprochenen Energienutzungen bereitgestellten vergleichbaren Parameter. Eine weiterfüh-**



rende Untersuchung zu Parametern, die nur für einzelne Nutzungen angegeben sind, würde den Rahmen dieses Aufsatzes sprengen.

Unter den stark angesprochenen Energienutzungen fällt auf, dass sich große Anteile der Diskussionen vor allem auf den Kraftstoffverbrauch im Verkehr konzentrieren. Es zeigt sich, dass bei den Argumenten einerseits die Dieselantriebe unter den PKW-Fahrzeugen und andererseits die Luftfahrt mit ihrem dieselähnlichen Treibstoff Kerosin immer wieder aufgeführt werden. Bezogen auf die vielen weiteren Anwendungen von Dieselmotoren kann dies auch als eine eher einseitige Argumentation gesehen werden. Sicher spielt auch die am Verkehr teilnehmende große Anzahl an Diesel-PKW dabei eine Rolle, aber dies dürfte nicht dazu führen, die ebenfalls große Anzahl an Diesel-LKW argumentativ nicht oder nur gering zu berücksichtigen. Es muss ebenfalls angenommen werden, dass die von der Automobilindustrie mit dem Dieselskandal aufgedeckten Betrugsfälle hierzu stark beigetragen haben.

Um die hier verwendeten Argumente zu vervollkommen seien in diesem Zusammenhang auch weitere Anwendungen von Dieselmotoren im Verkehrsaufkommen zumindest genannt: Auch beim Zugverkehr, beim Rangieren, beim Gleisbau oder bei den nicht elektrifizierten Nahverkehrsstrecken werden Loks oder Triebwagen mit Dieselmotoren eingesetzt. Im Schiffsverkehr werden, sowohl bei den Binnenschiffen auf den Flüssen und Kanälen, als auch bei den Hochseeschiffen überwiegend Dieselmotoren eingesetzt. Zusätzlich werden in vielen weiteren Bereichen, wie beispielsweise im Baugewerbe, bei der Rohstoffgewinnung und in der Landwirtschaft viele Maschinen mit Dieselmotoren betrieben.

Für den weiteren Vergleich mit anderen Energienutzungen können folgende Umrechnungsfaktoren gelten: 1 Liter Euro-5 Normdiesel mit der Dichte von 835 g/Liter und dem Energieinhalt von 43 GJ/t entspricht einer Energiedichte von 9,79 KWh/Liter. 1 Liter Kerosin mit der Dichte von 796 g/Liter und dem vergleichbaren Energiegehalt von etwa 43,1 GJ/t entspricht einer Energiedichte von 8,84 KWh/Liter.

### **CO<sub>2</sub>-Menge durch Dieselkraftstoff aus fossilen Rohstoffquellen**

Im Jahr 2018 wurden in Deutschland etwa 37.475.000 t Dieselkraftstoff verbraucht. Wenn für den Liter Dieselkraftstoff etwa 0,835 Kg Masse angenommen werden, entspricht dies etwa 44.880.240.000 Litern (oder 44.880.240 m<sup>3</sup>) mit einem Energiegehalt von etwa 1.929.850,32 PJ und einer Energiedichte von 439.377,5 GWh.

Aus jedem Liter Diesel entstehen durch Verbrennung etwa 2,64 kg CO<sub>2</sub>. Dies bedeutet, dass in Deutschland durch den Dieselverbrauch im Jahr 2018 mit der Verbrennung des Dieselkraftstoffs etwa 118.483.833,6 t CO<sub>2</sub> emittiert wurden.

Aus Erdöl raffinierter Dieselkraftstoff könnte durch synthetische Kraftstoffe ohne fossilen Kohlenstoffgehalt ersetzt werden. Dies wird derzeit jedoch nur wenig unterstützt, obwohl damit ein schnelles Reduzieren der Emissionsmenge von fossilem Kohlenstoff möglich werden könnte. Solche synthetischen Kraftstoffe sollen für die Anwendungen



reserviert bleiben, für die andere Energieträger nicht genügend Prozessenergie bereitstellen können. Mit einer Produktionskapazität für die entsprechenden Mengen könnte theoretisch sogar der Verkehrssektor erhebliche Emissionsmengen an fossilem Kohlenstoff einsparen.

### **CO<sub>2</sub>-Menge durch Ausatmen**

Die Luft, die wir Menschen ausatmen enthält etwa 4% CO<sub>2</sub>. Dies entspricht etwa 80 mg CO<sub>2</sub> je Liter Ausatemluft. Angenommen ein Mensch bewegt täglich etwa 12 m<sup>3</sup> Atemluft, dann atmet er täglich etwa 960 g und jährlich etwa 350 kg CO<sub>2</sub> aus. Damit wurden von den 83.019.200 Einwohnern in Deutschland im Jahr 2018 beim Ausatmen etwa 29.056.720 t CO<sub>2</sub> ausgeatmet.

Diese CO<sub>2</sub>-Emission ist jedoch ein Bestandteil des natürlichen Kohlenstoff-Kreislaufs, der nicht als Teil der zusätzlichen Belastung der Atmosphäre durch technische Prozesse betrachtet wird. Nur diese zusätzlichen - durch den Menschen erzeugten - Atmosphärenbelastungen werden als wirksam für den Klimawandel betrachtet.

### **CO<sub>2</sub>-Menge aus dem Verbrennen von Kerosin im Luftverkehr**

Im Jahr 2018 wurden von den deutschen Fluggesellschaften und von den zu einem deutschen Luftfahrtkonzern gehörenden internationalen Gesellschaften insgesamt 11.396.814.031 Liter oder etwa 9.071.864 t Kerosin verbraucht. Dies entspricht einem Energiegehalt von 390.997,34 PJ und einer Energiedichte von 100.747,84 GWh.

Aus jedem Liter Kerosin entstehen durch Verbrennung etwa 3,15 kg CO<sub>2</sub>. Dies bedeutet, dass durch den Kerosinverbrauch der angesprochenen Fluggesellschaften im Jahr 2018 etwa 35.899.964,2 t CO<sub>2</sub> emittiert wurden.

Diese Fluggesellschaften sind allerdings sehr daran interessiert, möglichst mit synthetischem Kerosin ohne fossilem Kohlenstoffgehalt zu fliegen. Leider ist die Wirtschaft derzeit noch nicht dazu bereit oder dazu in der Lage, die dafür erforderlichen Mengen dieses Treibstoffs herzustellen und zu einem entsprechenden Preis anzubieten.

Es könnte für unsere Atmosphäre bedeuten, diesen Nachschub an fossilem Kohlenstoff schnellstmöglich abzustellen und einen technischen Kohlenstoff-Kreislauf aufzubauen. Damit könnte auch das Anwachsen des CO<sub>2</sub>-Gehalts in der Atmosphäre recht schnell reduziert oder sogar gestoppt werden, sofern die notwendigen Raffinerien die entsprechend erforderlichen Kapazitäten aufbauen und die benötigten Mengen an synthetischen Kraftstoffen liefern könnten. In Kanada gibt es bereits Beispiele dafür, dass solche Treibstoffe auch für den Hersteller gewinnbringend hergestellt und für die Kunden zu konkurrenzfähigen Preisen verkauft werden können.

### **CO<sub>2</sub>-Menge aus dem Verbrennen von Schweröl im Schiffsverkehr**

Über den Verbrauch an Schweröl im Schiffsverkehr der deutschen Reedereien oder des weltweiten Schiffsverkehrs wurden im Rahmen der hier durchgeführten Datenrecher-

chen keine definierten Zahlen gefunden. Damit war auch keine Umrechnung in andere Energieverbrauchswerte möglich. Die Emissionen des Schiffsverkehrs aus dem Verbrennen von Schweröl können daher in diesem Aufsatz nicht mit den Angaben zu anderen Emissionswegen verglichen werden. Insgesamt betrachtet wird jedoch in verschiedenen Publikationen immer wieder darauf hingewiesen, dass von Januar 2020 an weltweit neue Richtlinien für verwendbare Schiffstreibstoffe gelten, durch die vor allem die Schwefel-emissionen reduziert werden sollen. Außerdem wird darauf verwiesen, dass sich inzwischen die großen Reedereien darüber informieren, die Schiffsantriebe auf den Treibstoff LNG (verflüssigtes Erdgas) umzustellen. Dennoch stellt der Naturschutzbund NABU fest, dass im Jahr 2020 die Schiffsemissionen in der EU die Emissionen aller anderen Quellen übertreffen.

## **CO<sub>2</sub>-Menge beim Erzeugen von elektrischem Strom für den Internetbetrieb**

Um den derzeit von den Menschen als normal empfundenen Internetbetrieb zu ermöglichen, gibt es mehrere Stellen, an denen dieses globale System mit Energie in der Form elektrischen Stroms versorgt werden muss. Einerseits braucht jeder Internetbenutzer einen PC oder ein mobiles Gerät mit Internetfunktion und andererseits muss dieses Gerät an das weltweite Datennetz des Internet angeschlossen sein. Dieses Datennetz wird über viele miteinander verbundene Rechenzentren betrieben. Dort brauchen die Server bei starker Last viel Strom und werden dabei auch sehr warm. Sie müssen daher entsprechend gekühlt werden, was ebenfalls einen hohen Anteil an Stromverbrauch hervorruft. Es sind daher vor allem die rechenintensiven Prozesse, die den Stromverbrauch der Rechenzentren hochhalten.

Einige Beispiele der verschiedenen Vorgänge und Operationen, die von den vielen Internetbenutzern häufig ausgeführt werden können zeigen, wie durch dieses Nutzen der weltweiten Datennetze der Energieverbrauch immens hochgehalten wird. Jede Suchanfrage bei Internet-Suchmaschinen verbraucht die Energiemenge, für deren Erzeugen etwa 0,2 g CO<sub>2</sub> emittiert werden. Durch die etwa 3,5 Mrd. täglichen Suchanfragen bei den Internet-Suchmaschinen entsteht daher jedes Jahr eine Emission von mehr als 255.000 t CO<sub>2</sub>. Auch das Transportieren einer E-Mail durch die verschiedenen Rechenzentren des Datentransportwegs führt durchschnittlich zu einer Emission von etwa 1 g CO<sub>2</sub>. Allein in Deutschland werden täglich etwa 1 Milliarde E-Mails geschrieben. Dies bedeutet, dass allein durch den E-Mail-Verkehr nur in Deutschland jährlich etwa 365.000 t CO<sub>2</sub> emittiert werden. Fachleute schätzen, dass derzeit – je nach Studie – zwischen zwei und vier Prozent der globalen Treibhausgasemissionen durch digitale Technologien erzeugt werden. Zudem nehmen die Wissenschaftler und Ingenieure an, dass der Anteil künftig steigt und bis zum Jahr 2030 – ebenfalls je nach Studie – zwischen 8 und 23 % liegen kann.

## **Energieverbrauch für den Betrieb der Internet-Rechenzentren**

Bezogen auf den Energieverbrauch benötigt eine Suchanfrage bei einer Internet-Suchmaschine einen Strombedarf von etwa 0,3 Wh. Bei global etwa 40.000 Suchanfragen je Sekunde bedeutet dies, dass jährlich etwa 1.261,4 Milliarden Suchanfragen gestellt wer-

den. Dies erfordert einen globalen jährlichen Strombedarf von etwa 378,4 GWh allein für solche Suchanfragen. In Deutschland wurden im Jahr 2017 von den Internet-Rechenzentren etwa 13,2 Mrd. KWh an Strom verbraucht.

Mehr als die Hälfte des im Internet transportierten Datenvolumens wird durch Bewegtbilder hervorgerufen. Der dazu erforderliche Stromverbrauch um diese „Streaming-Techniken“ zu bedienen, wird derzeit auf jährlich mehr als 200 Milliarden KWh (= mehr als 200.000 GWh) geschätzt. Damit wird dann auch die Treibhausgasemission an CO<sub>2</sub> durch die „Streaming-Techniken“ für das Jahr 2017 auf etwa 97 Millionen t geschätzt. Da in diesem Sektor derzeit weitere neue Anbieter auf dem Markt auftreten, rechnen Fachleute auch mit einem weiteren Anwachsen des Stromverbrauchs - und damit auch mit einem weiteren Anstieg der globalen Treibhausgasemissionen durch die digitalen Industrien.

Ein weiterer Aspekt der derzeit sehr hohen CO<sub>2</sub> Emissionen durch die digitalen Industrien liegt in der Entwicklung von künstlicher Intelligenz. Solche Programme müssen in den verschiedenartigen Datennetzen lernen, um ihre späteren Aufgaben erfüllen zu können. Dieses Lernen braucht aber den Netzbetrieb, auch wenn es zunächst nur Forschungs- oder Versuchsnetze sind, die dafür betrieben werden. Aber solche Rechenzentren benötigen ebenfalls große Mengen an elektrischer Energie. Auch der geplante und kommende Einsatz von immer mehr Algorithmen und künstlicher Intelligenz wird künftig die Emission von Treibhausgasen verstärken.

## **Gründe für das erwartete Wachsen des Internet-Stromverbrauchs**

Das Ansteigen des Internet-Stromverbrauchs kann zunächst auf einen immer stärker steigenden Datenverkehr zurückgeführt werden. Dabei gibt es vor allem zwei Größen, die ein ständiges Erweitern der Kapazitäten der Netze erfordern. Einerseits steigen durch verschiedenartige Nutzer die zu transportierenden Datenmengen extrem stark an und andererseits steigt ebenso die Zahl der Netzbenutzer extrem stark an.

Das Ansteigen der Anzahl der Netzbenutzer kann nicht allein darauf zurückgeführt werden, dass sich immer mehr Menschen über das Internet verbinden. Zur Zeit gibt es durch die Entwicklungen der verschiedenartigsten Techniken vor allem Maschinen und Geräte der „Smart-Technologies“, die als Netzbenutzer auftreten. Dieser Ausdruck sollte eigentlich nur die Produktpalette der kanadischen Firma gleichen Namens beschreiben, wird aber inzwischen leider häufig für die verschiedenartigsten Produkte aus dem Bereich interaktive Mess- und Regeltechnik verwendet. Dazu gehören inzwischen alle Techniken, die mit den Begriffen „das Internet der Dinge“, Cloud Computing“, „Industrie 4.0“, „Künstliche Intelligenz“ oder dem Teilbegriff „Smart“ beschrieben werden. Auch die Techniken der „autonomen Mobilität“ sowie die „Trading Bots“ und andere Handelsrobotersysteme müssen hier hinzugerechnet werden. Zudem ist derzeit schon absehbar, dass die zukünftige Netztechnik der „5G-Netze“ wesentlich mehr Datenverkehr und entsprechende Rechenprozesse erfordern werden. Daher wird mit diesen Techniken künftig auch ein wesentlich höherer Stromverbrauch verbunden mit einer stark erhöhten Emission von Treibhausgasen durch die IT-Welt verknüpft sein.



Neben dieser großen Menge an maschinellen Netzbenutzern kommen in verschiedenen Weltgegenden auch immer noch viele Menschen als neue Nutzer hinzu, für die das Internet bisher aufgrund einer fehlenden oder zu schlecht ausgebauten Netzinfrastruktur nicht erreichbar war. Diese Entwicklung wird künftig durch neue Methoden des Netzausbaus auch in den nächsten Jahren noch weitergehen. Außerdem wird damit gerechnet, dass immer mehr digitale Dienstleistungen angeboten und am Markt auch verkauft werden.



*Durch immer mehr und immer aufwendigere digitale Dienstleistungen werden künftig auch immer wieder neue Kunden als Nutzer des Internets „gewonnen“. Zudem steigt bisher auch immer noch die Anzahl der verschiedenartigsten Peripheriegeräte, die vor allem als mobile Peripherie den Datenverkehr und damit die Emissionen durch den Betrieb der Rechenzentren zusätzlich steigern.*

Bei der Zunahme der Netzbenutzer wird jedoch künftig mit einer Verschiebung hin zu mehr maschinellen Internetnutzern gerechnet. Dies bedeutet allerdings auch, dass damit vor allem die Menge der zu transportierenden und durch die Prozessoren in den Servern der Rechenzentren zu handhabenden Daten erheblich zunimmt. In der Folge bedeutet dies bei der derzeitigen Technik in den Rechenzentren auch mehr Server, mehr Rechenleistung, einen höheren Stromverbrauch und dementsprechend auch einen ansteigenden Strombedarf für die Kühlung in den Rechenzentren. Zudem kann es auch bedeuten, dass insgesamt mehr Rechenzentren erforderlich sind und aufgebaut werden müssen. Es gibt zwar Bestrebungen, auch im Bereich der IT die Effizienz zu steigern, aber bisher war das Nachfragewachstum noch immer größer als die erzielten Effizienzsteigerungen. Dabei gelten die in Deutschland betriebenen Rechenzentren derzeit als die energieeffizientesten der Welt. Dennoch wurde während der bisherigen Corona-Krise bei den Rechenzentren, über die große Dienste für Videostreaming und soziale Netzwerke versorgt werden, ein anwachsender Strombedarf festgestellt.



## **Werden der digitalen Welt umweltschädliche Folgen zugemessen?**

Der Verkehr, die Landwirtschaft, die Schwerindustrie und weitere produzierende Industrien oder Gewerbearten werden in der derzeitigen Klimadiskussion als die Hauptverursacher der Klimagasemissionen beschrieben. Die eher als Dienstleister betrachteten Industrien und Gewerbearten wie beispielsweise die Banken, die Versicherungen oder das Handwerk und der Handel, deren Produkte entweder als abstrakt oder als Ergebnis von Handarbeit empfunden werden, sind dagegen kaum mit den Gedanken an umweltschädliche Emissionen verknüpft. Auch der Einsatz von Mobiltelefon und Computer wird dabei als inzwischen notwendiges Werkzeug, aber nicht als klimaschädliches Produktionsmittel betrachtet. Der dabei sichtbare Teil der digitalen Welt ist meist sauber und leise und kann nicht als klimarelevant erkannt werden.

Die für alle diese digitalen Werkzeuge erforderliche, aber immer im Hintergrund wirkende und dabei unsichtbare Infrastruktur erleichtert es, die Informations- und Kommunikationstechnik sowie deren Betreiber eher als „schadstoffarm“ zu betrachten. Diese Sichtweise wird durch das ständig steigende Angebot an Dienstleistungen und die pausenlosen Verfügbarkeiten dieser Dienste in den Datenwolken des „Cloud-Computing“ noch erheblich erleichtert. Die im Hintergrund vorhandene physische Wirklichkeit der digitalen Produkte und Dienste ist so kaum noch erfassbar.

Dies zeigt sich vor allem in der starken Zunahme des Energieverbrauchs der IT-Welt von jährlich etwa 9% und einem wachsenden Datenvolumen von etwa 30%. Derzeit wird in der Fachwelt der Anteil der Branchen der Informationstechniken (IT) und der Telekommunikation (TK) an den globalen Treibhausgasemissionen auf etwa 3,7 % geschätzt. Dies ist nicht ganz doppelt so viel wie der Emissionsbeitrag der globalen zivilen Luftfahrt mit einem Anteil von etwa 2 % und knapp die Hälfte des Anteils aller PKW und Motorräder von etwa 8% an den globalen Treibhausgasemissionen. Als Gründe für den stark steigenden Energieverbrauch in der IT-Welt werden das starke Anwachsen der Datenvolumina in den Datennetzen, das Anwachsen der Nutzung des Internets durch immer mehr robotische Nutzer und ebenso des Nutzungsanteils für das „Internet der Dinge“, sowie die derzeit eher rasant anwachsende Zahl an Kommunikationsgeräten oder an digital vernetzten Peripheriegeräten. So verbrauchen derzeit allein die Internet-Rechenzentren in Europa etwa 3 % des europäischen Stroms. Zudem führen immer wieder neue Angebote der großen Konzerne der digitalen Kommunikation wie Alibaba, Amazon, Apple, Baidu, Facebook oder Google zusätzlich zu weiteren Steigerungen im ständig anwachsenden Datenverkehr und damit auch zum ständigen Anwachsen der globalen Emissionen an Treibhausgasen durch die IT-Welt.

## **Auf welche Weise wird das Denken zielführend gelenkt?**

In vielen Schlagzeilen, kurzen Artikeln oder anderen Formen der Kurzinformation ist zu beobachten, dass häufig die negativen Wirkungen verschiedener Arten der Energienutzung auf unsere Umwelt hervorgehoben werden. Dies soll einerseits zwar ein Nachdenken über diese Themen bewirken, andererseits aber auch gerade die dabei angespro-

chenen Arten der Energienutzung in den Kontext der Betrachtung als umweltbelastendes Verhalten heben. Dieses Vorgehen wird in unserer derzeitigen Informationsgesellschaft bei vielen Themenbereichen eingesetzt. Es sollte auch nicht grundlegend abgelehnt werden, aber jeder Informationskonsument sollte sich dabei ebenfalls grundlegend darüber informieren, welche Gefahren des Beeinflussens der jeweils persönlichen Meinung für jeden Informationskonsumenten dabei bestehen. Es reicht dabei schon, wenn bei den so verbreiteten Informationen nur ein oder zwei spezifische Teilinformationen überhaupt nicht mit angesprochen werden. Dies wird umso gravierender, wenn es irgendwie zufällig auch im Interesse der gesellschaftlich führenden Strukturen liegt, bestimmte und gerade die meist fehlenden Teilbetrachtungen nicht mit anzusprechen und diese auszublenden. Dies erfordert eine zusätzliche Betrachtung der meist in den Vordergrund gehobenen und auch der häufig nicht angesprochenen Argumente.

## **Welche Energienutzungsarten wurden bisher häufig kritisiert?**

In den letzten Monaten wurden in der überwiegenden Mehrzahl der Artikel, Videos, Kurzfilme und anderer publizierter Medienprodukte vor allem die folgenden Energienutzungen immer wieder angesprochen: das Autofahren, der Luftverkehr, die Bahn, die Busverbindungen, der öffentliche Nahverkehr, die Standorte der Kraftwerke zum Erzeugen elektrischer Energie durch Verbrennung, die Standorte von Windkraftanlagen in der Umgebung von Ortschaften, die Industriestandorte der Metallproduktion und andere Standorte mit prozessbedingt hohem Energiebedarf, sowie alle Kleinfeuerungsanlagen, die in den Bereichen Handel, Gewerbe, Dienstleistungen sowie in den privaten Haushalten betrieben werden. Bei allen diesen Nutzungsarten werden Energieumwandlungen eingesetzt und mehr oder weniger stark Treibhausgase oder Windgeräusche emittiert.

An diesen Punkten setzt dann auch häufig die Kritik an. In vielen Publikationen wird dann propagiert, dass auf manche Energienutzung besser verzichtet würde und in vielen Bereichen das Nutzen elektrischer Energie weniger Schadstoffemissionen und damit auch weniger Klimagasemissionen erzeugen würde. Allerdings gibt es bisher nur bei den erneuerbaren Energien einige Methoden der Energieumwandlung, bei denen elektrischer Strom ohne eine Schadstoff- und ohne eine Treibhausgasemission, aber dafür dann eben mit einer anderen Emission stattfindet.

## **Gibt es auch bisher kaum kritisierte Energienutzungsarten?**

In der Zusammenschau der letzten Jahre und beim Betrachten der Argumente auch der Schüler- und Jugendbewegung „Fridays for Future“ fällt auf, dass deren Vertreter in vielen inzwischen auch öffentlichen Diskussionen ebenso die oben benannten Energienutzungen nennen und kritisieren. Dabei fällt allerdings ebenfalls auf, dass folgende Energienutzungen sowohl in den Medien, bei den Politikern, als auch bei den Jugendbewegungen kaum angesprochen werden: das Nutzen der modernen Kommunikationsmedien, das Nutzen des Internets und der dort mit wachsenden Angeboten auftretenden Streamingdienste, der Ausbau der Datennetze auf neue und erweiterte Standards für

immer stärker wachsenden Datenverkehr und damit verknüpft, für wachsende Schadstoff- und Treibhausgasemissionen sowie das Vergleichen von Daten zur Emission von Treibhausgasen und Luftschadstoffen mit den oben benannten Energienutzungen.

Hier muss die Frage danach gestellt werden, woran und in wessen Interesse es liegt, dass diese Energienutzungen eher selten benannt und öffentlich diskutiert werden. Dabei spielt natürlich auch eine Rolle, dass die erforderlichen Netzbetriebsstätten oft unbekannt sind und vor allem unsichtbar im Hintergrund arbeiten.



*Die bisher ständig zunehmende Anzahl an Kommunikations- und Peripheriegeräten, das ebenfalls ständig wachsende Angebot an verschiedenartigen Diensten sowie der ständige Zwang, technologisch aufzurüsten und dies immer wieder den Kunden zu höheren Preisen verkaufen zu müssen führt ebenfalls zwangsläufig über einen steigenden Stromverbrauch zu ständig steigenden Treibhausgasemissionen in der digitalen Welt.*

Es erscheint selbstverständlich, dass einerseits diejenigen Organisationen, Gemeinschaften und Bewegungen, die das System Internet und die Kommunikationssysteme ständig nutzen und diejenigen, die daraus einen Vorteil erwarten oder schon für sich erzielen, dieses Thema nicht wirklich durchdenken und es nicht öffentlich diskutieren wollen. Dazu gehören einerseits alle Bereiche, in denen durch das Internet Kosten und Arbeitsplätze eingespart und Arbeiten auf andere Internetnutzer ausgelagert werden können. Dazu gehören auch diejenigen Nutzer, die aufgrund solcher Auslagerungen neue Arbeitsfelder erschließen. Dazu gehören vor allem auch diejenigen Nutzergenerationen, die ihren Lebensstil bereits ganz auf diese Kommunikationsarten eingestellt haben. Dennoch sollten auch die durch die derzeit modernen Medien, durch die derzeit modernen Kommunikationsarten und durch die derzeit verwendeten Techniken im Internet aufgrund des steigenden Stromverbrauchs erzeugten Emissionen in vergleichende Betrachtungen einbezogen werden. Die Schadstoff- und Treibhausgasemissionen

durch die digitale Welt müssen ebenso wie die Emissionen anderer Energienutzungsarten betrachtet und mit diesen auch verglichen werden. Global betrachtet wäre das Internet der sechstgrößte Stromverbraucher unseres Planeten, sofern es als Staat betrachtet würde.

## Entsteht künftig ein Verteilungsproblem für saubere Energie?

Der von der Wirtschaft und auch politisch gewollte Fortschritt in der Digitalisierung ist grundlegend mit einem höheren Energiebedarf in der Form von elektrischem Strom verknüpft. Wenn jetzt sowohl für den Verkehr, als auch für weitere gesellschaftliche Bereiche und auch für die Rechenzentren der digitalen Netzwelten nur noch „grüner Strom“ verwendet werden soll, wird dieser elektrische Strom künftig sehr knapp und damit wahrscheinlich auch sehr teuer werden.

Hier deutet sich ein Verteilungsproblem an, das aus den verschiedensten Gründen nicht wirklich allein marktwirtschaftlich gelöst werden kann. Es wird wahrscheinlich schon bald erforderlich werden, alle Stromerzeugungsarten und alle Energienutzungsarten so aufeinander abzustimmen, dass im Sinne eines wirksamen Klimaschutzes schnellstmöglich die geringste technisch erreichbare Umweltbelastung durch Stromerzeugung und Stromverbrauch realisiert wird. Dies darf dabei jedoch nicht allein zum Vorteil von Unternehmen und Industrien erfolgen, sondern muss ausgewogen die verschiedenartigsten Interessen von Energieerzeugern und Energieverbrauchern zusammenführen. Wird dies nicht berücksichtigt, kann auch beim Verteilen von sauberem elektrischem Strom das Problem einer gerechten Verteilung entstehen. Ob und inwieweit dies auch zu weiteren gesellschaftlichen Spaltungen und in der Folge auch zu denkbaren Verteilungskämpfen führt, wird künftig vor allem von der gemeinschaftlichen Vernunft aller Gesellschaftsmitglieder abhängen.

## Hinweise auf Literaturquellen

Arbeitsgemeinschaft „Aachen hat Energie“ (2018): Grundbegriffe zur Energie. – online Publikation: <https://www.aachen-hat-energie.de/entw/energieformen.htm>

Bauforumstahl (2010): Heizwerte. – online Publikation: <https://bauforumstahl.de/upload/documents/brandschutz/kennwerte/Heizwertfluessig.pdf>

Bayrisches Landesamt für Statistik – LfStat (2017): Energiebilanz 2013 - Heizwerte der Energieträger und Faktoren für die Umrechnung. – online Publikation: [https://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user\\_upload/stmwi/Themen/Energie\\_und\\_Rohstoffe/Dokumente\\_und\\_Cover/Energiebilanz/Energiebilanz\\_2013/Block\\_0\\_Energiebilanz\\_Bayern/heizwerte\\_legende\\_2013\\_20151218.pdf](https://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user_upload/stmwi/Themen/Energie_und_Rohstoffe/Dokumente_und_Cover/Energiebilanz/Energiebilanz_2013/Block_0_Energiebilanz_Bayern/heizwerte_legende_2013_20151218.pdf)



- Becker D. (2020):** Wie die Digitalisierung die Klimakrise weiter anheizt. –online Publikat.: [https://www.riffreporter.de/klimasocial/becker\\_digitalisierung\\_heizt\\_klimakrise\\_an/](https://www.riffreporter.de/klimasocial/becker_digitalisierung_heizt_klimakrise_an/)
- Bickmann, R. (2020):** CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des Internets: Groß wie globaler Flugverkehr. – online Publikation: <https://www.webaffin.de/blog-details/oekologischer-fussabdruck-des-internets-so-gross-wie-der-globale-flugverkehr.html>
- Brake, M. (2007):** Internet so energiehungrig wie der Flugverkehr – online Publikation: <https://www.heise.de/tp/news/Internet-so-energiehungrig-wie-der-Flugverkehr-1986337.html>
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur - BMVI (2012):** Berechnung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen des ÖPNV - Leitfaden zur Anwendung der europäischen Norm EN 16258. – online Publikation: [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/energieverbrauch-treibhausgasemission-oepnv.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/energieverbrauch-treibhausgasemission-oepnv.pdf?__blob=publicationFile)
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie – BMWI (2018):** Energieeffizienz in Zahlen – Entwicklungen und Trends in Deutschland 2018. – online Publikation: [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen-2018.pdf%3F\\_\\_blob%3DpublicationFile%26v%3D8](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen-2018.pdf%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D8)
- Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft (2020a):** Fragen rund ums Fliegen. – online Publikation: <https://www.klimaschutz-portal.aero/faq/wie-viel-kerosin-verbrauchen-deutsche-fluggesellschaften-in-einem-jahr/>
- Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft (2020b):** Klimawirkung des Luftverkehrs im Überblick. – online Publikation: <https://www.klimaschutz-portal.aero/klimakiller-nr-1/klimawirkung-des-luftverkehrs/>
- Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie – BVEG (2018a):** Reichweite fossiler Rohstoffe. – online Publikation: <https://www.bveg.de/Erdgas/Rohstoffe/Reichweite-fossiler-Rohstoffe>
- BUND-Naturschutz in Bayern (2019):** Stromverbrauch durchs Internet. – online Publikation: <https://main-spessart.bund-naturschutz.de/klimatipps/stromverbrauch-durchs-internet.html>
- co2online (2020):** Wieviel CO<sub>2</sub> atmet der Mensch aus? – online Publikation: <https://www.co2online.de/service/klima-orakel/beitrag/wie-viel-co2-atmet-der-mensch-aus-8518/>
- Cwienk, J. (2019):** Ist Netflix schlecht für die Umwelt? Wie Video-Streaming den Klimawandel anheizt. – online Publikation: <https://www.dw.com/de/co2-aussto%C3%9F-von-online-video-streaming-als-klima-killer/a-49469109>
- Die Chemie-Schule (2019):** Kerosin. – online Publikation: <https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Kerosin>

- Die Freie Welt (2019):** Internet-Generation erzeugt mehr CO<sub>2</sub>-Ausstoß als der gesamte Flugverkehr. – online Publikation: <https://www.freiewelt.net/nachricht/internet-generation-erzeugt-mehr-co2-ausstoss-als-der-gesamte-flugverkehr-10078589/>
- Emse, H. (2020):** Klimaneutral Handeln! – CO<sub>2</sub>-Rechner. – online Publikation: <http://www.klimaneutral-handeln.de/php/kompens-berechnen.php>
- Engel, K. M. (2019):** Was Katzenvideos das Klima kosten. – online Publikation: <https://www.spektrum.de/news/das-internet-verbraucht-so-viel-energie-wie-der-flugverkehr/1693692>
- Enviarn-Gruppe (2020):** Stromverbrauch Internet. – online Publikation: <https://www.enviarn-gruppe.de/energiezukunft-ostdeutschland/energie-fakten/stromverbrauch-internet>
- E-on Energie Deutschland (2020):** Internet: So hoch ist der Stromverbrauch des World Wide Web. – online Publikation: <https://www.eon.de/de/eonerleben/warum-der-stromverbrauch-im-internet-die-umwelt-genauso-belastet-wie-der-weltweite-flugverkehr.html>
- ETH-Zürich (2019):** CO<sub>2</sub>-neutraler Treibstoff aus Luft und Sonnenlicht. – online Publikation: <https://ethz.ch/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2019/06/mm-solare-mini-raffinerie.html>
- F und F Spritmonitor (2020):** Informationen zur Berechnung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes. – online Publikation: [https://www.spritmonitor.de/de/berechnung\\_co2\\_ausstoss.html](https://www.spritmonitor.de/de/berechnung_co2_ausstoss.html)
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe – FNR (2019):** Kraftstoffverbrauch in Deutschland. – online Publikation: <https://mediathek.fnr.de/biokraftstoffe-in-deutschland.html>
- Feisthammel, P. (2020):** Energiegedanken – Umrechnungsfaktoren. – online Publikation: <https://www.energie-gedanken.ch/umrechnungsfaktoren/>
- Freude, D., Snurr, R. (2020):** Energie Grundlagen. – online Publikation: <https://home.uni-leipzig.de/energy/energie-grundlagen/>
- Fruster, T. (2019):** Streaming ist das neue Fliegen – wie der digitale Konsum das Klima Belastet. – online Publikation: <https://www.nzz.ch/wirtschaft/streaming-ist-das-neue-fliegen-wie-der-digitale-konsum-das-klima-schaedigt-ld.1474563>
- Grimm, H. (2016):** Was ist Energie? - Energie, Leistung, Einheiten, Umrechnung, Faktoren, Formeln. – online Publikation: <http://www.wissenschaft-technik-ethik.de/was-ist-energie.shtml>
- Heim, M. (2019):** Stromfresser Internet: Wie viel Energie unsere Daten verbrauchen. – online Publikation: <https://web.de/magazine/wissen/wissenschaft-technik/stromfresser-internet-energie-daten-verbrauchen-33170202>
- i12-Energielexikon (2020):** Strahlungsenergie. – online Publikation: <https://www.energievergleich.de/energie-lexikon/strahlungsenergie/>

Jansen, J., Zàboji, N. (2020): Bitte nicht ruckeln. – Frankfurter Allgemeine Woche 21/2020, S.40-41, FAZ-GmbH, Frankfurt

Käser, E. (2014): Fachlexikon Mechatronik - Energiewerte. – online Publikation: <http://www.fachlexika.de/technik/mechatronik/energiewert.html>

Kerler, M. (2019): Wie viel Strom das Internet schluckt. – online Publikation: <https://www.mainpost.de/ueberregional/politik/zeitgeschehen/Wie-viel-Strom-das-Internet-schluckt;art16698,10378130>

Kirst, N. (2020): Lasst uns das Internet grüner machen! – online Publikation: <https://page-online.de/branche-karriere/lasst-uns-das-internet-gruener-machen/>

Kuhne, M. (2015): Energieverbrauch von Bahn und Flugzeug. – online Publikation: <https://www.airliners.de/energieverbrauch-bahn-flugzeug-afropos/36592>

Kummer, J. (2020): Elektroauto Verbrauch: Vergleich Strom, Benzin, Diesel Gas. – online Publikation: <https://rechneronline.de/elektroauto/>

Landesamt für Umwelt Brandenburg – LfU (2019): CO<sub>2</sub> - Emissionsfaktoren nach Energieträgern. – online Publikation: <https://lfu.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.523833.de>

Langer, H. (2014): Der Mensch und sein Energieverbrauch. – online Publikation: [https://www.umwelt.uni-hannover.de/fileadmin/institut/Arbeitsmaterialien/5\\_Der\\_Mensch\\_und\\_sein\\_Energieverbrauch.pdf](https://www.umwelt.uni-hannover.de/fileadmin/institut/Arbeitsmaterialien/5_Der_Mensch_und_sein_Energieverbrauch.pdf)

Link (M. (2020): Internet: Wenn Surfen dem Klima schadet. – online Publikation: <http://www.fluchtgrund.de/2020/02/internet-wenn-surfen-dem-klima-schadet/>

Lobe, A. (2019): Wie Klimaschädlich ist das Internet?. – online Publikation: <https://www.derstandard.at/story/2000109723757/wie-klimaschaedlich-ist-das-internet>

Makartsev, A. (2020): Stromfresser Internet. – online Publikation: <https://bnn.de/nachrichten/politik/das-internet-als-riesen-stromfresser>

Maibücher, M. (2019): Netflix, Youtube & Co: Streaming schadet dem Klima. – online Publikation: <https://www.swr3.de/aktuell/netflix-youtube--co-streaming-schadet-dem-klima-100.html>

Mineralölwirtschaftsverband-MWV (2019): Jahresbericht 2019 – Neue Technologien für mehr Klimaschutz. – online Publikation: [https://www.mwv.de/wp-content/uploads/2019/11/MWV\\_Jahresbericht\\_2019\\_Web\\_191219.pdf](https://www.mwv.de/wp-content/uploads/2019/11/MWV_Jahresbericht_2019_Web_191219.pdf)

Naturschutzbund Deutschland – NABU (2019): Luftverschmutzung durch Schiffe. – online Publikation: <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/verkehr/schifffahrt/index.html>

- Neumeier, F. (2016): Marinediesel, Schweröl & Co. – Schiffstreibstoffe im Überblick. – online Publikation: <https://www.cruisetricks.de/marinediesel-schweruel-co-schiffstreibstoffe-im-ueberblick/>
- Noll, A. (2019): Das Internet ist ein Energiefresser. – online Publikation: <https://www.deutschlandfunknova.de/beitrag/co2-emissionen-das-internet-ist-ein-energiefresser>
- Notgemeinschaft der Flughafenlieger Hamburg e. V. (2006): Klimakiller Flugzeuge – zur Umweltrelevanz des Luftverkehrs. – online Publikation: <https://www.fluglaerm.de/hamburg/klima.htm>
- Nowotka, F. (2008): Heizwerte verschiedener Hölzer im Vergleich. – online Publikation: <http://www.heiz-tipp.de/modules.php?name=Print&art=Content&sid=251>
- Parrisius, A. (2019): Was unser Digitalkonsum an Energie kostet. – online Publikation: <https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/stromfresser-internet-was-unser-digitalkonsum-an-energie-kostet/25182828-all.html>
- Paschotta, R. (2020): RP-Energie-Lexikon – Kilowattstunde. – online Publikation: <https://www.energie-lexikon.info/kilowattstunde.html>
- Posani, J. (2020): Klimakiller Internet? - Wieso Netflix, Pornos und Co der Umwelt schaden. – online Publikation: <https://www.salzburg24.at/news/salzburg/wieso-das-internet-der-umwelt-schadet-84314485>
- Quaschnig V. (2019): Statistiken – Spezifische Kohlendioxid-Emissionen verschiedener Brennstoffe. – online Publikation: <https://www.volker-quaschnig.de/datserv/CO2-spez/index.php>
- Quaschnig V. (2015): Statistiken – Umrechnungsfaktoren verschiedener Energieeinheiten. – online Publikation: <https://www.volker-quaschnig.de/datserv/faktoren/index.php>
- Reitmair, T. (2019): Energieträgerkennwerte: Heizwert, Brennwert, CO<sub>2</sub>. – online Dokumentation: <http://heizkostenrechner.eu/heizwert-brennwert-tabelle.html>
- Riebe, M. (2019): Hättest du es gewusst? Die erstaunlichsten CO<sub>2</sub>-Vergleiche. – online Publikation: <https://www.ecowoman.de/freizeit/natur/die-erstaunlichsten-co2-vergleiche-wie-viel-co2-verursachen-flugzeuge-5702>
- RWE-Informationsdienst (2020): Streaming und 5G treiben CO<sub>2</sub>-Emissionen des Internets nach oben. – online Publikation: <https://www.en-former.com/5g-treibhausgasemissionen/>
- Schmale, O. (2020): Der Stromhunger der Rechenzentren – Auch das Internet hat einen Auspuff: Seine digitalen Herzkammern verbrauchen fast 3 Prozent des europäischen Stroms. – Frankfurter Allgemeine Zeitung, Unternehmen; S. 22; Nr. 131 vom 8. Juni 2020; Frankfurt.



Schmidt, E. (2019): Klickscham statt Flugscham? – Internet produziert so viel CO<sub>2</sub> wie Flugverkehr. – online Publikation:

<https://www.zdf.de/nachrichten/heute/klickscham-wie-viel-co2-e-mails-und-streaming-verursachen-100.html>

Schneider A: (2019): So viel Energie verbraucht das Internet. – online Publikation:

<https://www.quarks.de/technik/energie/so-viel-energie-verbraucht-das-internet/>

Spektrum Verlag (2014): Lexikon der Physik – elektrische Energie. – online Publikation:

<https://www.spektrum.de/lexikon/physik/elektrische-energie/3917>

Stolz, S., Jungblut, S.-I. (2019): Der digitale Fußabdruck – unser Ressourcenverbrauch im Netz. – online Publikation:

<https://reset.org/knowledge/der-digitale-fussabdruck>

The Shift Project (2019): Lean ICT – Towards Digital Sobriety. – online Publikation:

[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)

Umwelt und Energie – UWE (2019): Heizwerte verschiedener Brennstoffe. – online

Publikation: <https://www.uwe-energie.de/brennstoffe/heizwerte/>

Umweltbundesamt – UBA (2020a): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2019. – online

Publikation: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-der-spezifischen-kohlendioxid-6>

Umweltbundesamt – UBA (2020b): Strom- und Wärmeversorgung in Zahlen. – online

Publikation: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/strom-waermeversorgung-in-zahlen?sprungmarke=Strommix#Kraftwerke>

Umweltbundesamt – UBA (2016): CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe. – onL. Publ.:

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/co2-emissionsfaktoren\\_fur\\_fossile\\_brennstoffe\\_korrektur.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/co2-emissionsfaktoren_fur_fossile_brennstoffe_korrektur.pdf)

Universität Halle (2006): Wärmelehre (Thermodynamik). – online Publikation:

<http://www.physik.uni-halle.de/Fachgruppen/bio/Lehre/exphysbiochem/Waerme.pdf>

Wikipedia (2020a): Atem. – online Publikation: <https://de.wikipedia.org/wiki/Atem>

Wikipedia (2020b): Brennwert. – online Publikation:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Brennwert>

Wikipedia (2020c): Energie. – online Publikation: <https://de.wikipedia.org/wiki/Energie>

Wikipedia (2020d): Energieverbrauch. – online Publikation:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Energieverbrauch>

**Wikipedia (2020e): Heizwert. – online Publikation:**

<https://de.wikipedia.org/wiki/Heizwert>

**Wikipedia (2020f): Joule. – online Publikation:** <https://de.wikipedia.org/wiki/Joule>

**Wikipedia (2020g): Kerosin. – online Publikation:** <https://de.wikipedia.org/wiki/Kerosin>

**Wikipedia (2020h): Kraftstoffverbrauch. – online Publikation:**

<https://de.wikipedia.org/wiki/Kraftstoffverbrauch>

**Wikipedia (2020i): Wattstunde. – online Publikation:**

<https://de.wikipedia.org/wiki/Wattstunde>

**Wissen-Wiki (2010a): Energieeinheiten, Umrechnung. – online Publikation:**

[https://wissenwiki.de/Energieeinheiten,\\_Umrechnung](https://wissenwiki.de/Energieeinheiten,_Umrechnung)

**Wissen-Wiki (2010b): Steinkohleeinheit. – online Publikation:**

<https://wissenwiki.de/Steinkohleeinheit>

---

**FiWiSo-Allianz**

**rnl im Juni 2020**

Bilder: copyright rnl