

Nachhaltigkeit bei Rechenzentren

Intelligente Steckdosenleisten und Suprastrom-Sammelschienen Treibhausgas in Computerprogrammen: klimabewusstes Codieren Klimabilanz: Nicht alles, was möglich ist, lässt sich zeitnah umsetzen

Inhalt

- Nachhaltigkeit gibt es nicht zum **Nulltarif** Einleitung
- Von intelligenten Steckdosenleisten bis zu Suprastrom-Sammelschienen Materialeffizienz, Mess-Präzision und Energiemanagement
- Klimabewusstes Codieren Treibhausgas in Computerprogrammen
- **18** Verbesserung der Klimabilanz beim Betrieb eines Rechenzentrums Nicht alles, was möglich ist, lässt sich zeitnah umsetzen
- ,Der PUE hat keinen Wert für die Klimaneutralität" Interview mit dem Datacenter-Planer Karl Rabe

Vogel IT-Medien GmbH

Max-Josef-Metzger-Str. 21 86157 Augsburg Telefon +49 (0) 821/2177-0 E-Mail redaktion@datacenter-insider.de Web www.DataCenter-Insider.de

Geschäftsführer: Werner Nieberle, Günter Schürger Chefredakteurin: Ulrike Ostler, V.i.S.d.P.,

ulrike.ostler@vogel.de

Erscheinungstermin: April 2022 Titelbild: malp/stock.adobe.com Haftung: Für den Fall, dass Beiträge oder Informationen unzutreffend oder fehlerhaft sind, haftet der Verlag nur beim Nachweis grober Fahrlässigkeit. Für Beiträge, die namentlich gekennzeichnet sind, ist der jeweilige Autor verantwortlich.

Copyright: Vogel IT-Medien GmbH. Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, digitale Verwendung jeder Art, Vervielfältigung nur mit schriftlicher Genehmigung der Redaktion.













Nachhaltigkeit gibt es nicht zum Nulltarif

Die Maßnahmen auf dem Weg zum klimaneutralen Rechenzentrum sind inhaltlich vielfältig. Es handelt sich um ein technisches und organisatorisches Puzzle, bei dem viele Teile für das große Ganze zusammenkommen.



Die Rechenzentrums-Landschaft muss in eine weltweite energetische Kreislaufwirtschaft eingebunden werden. (Bild: OpenClipart-Vectors auf Pixabay)

Online-Konferenzen und Media-Streaming, die immer engere Verbindung von Prozess-Datenverarbeitung und traditioneller IT (Autonomes Fahren, Digitale Zwillinge, IoT etc.) sowie die Übernahme von komplexen Denkprozessen durch Automaten (Künstliche Intelligenz) stellen immer größere Anforderungen an

Rechenzentren: rechentechnisch, energetisch, ökologisch, organisatorisch.
Rechenzentren gehören zur kritischen Infrastruktur. Sie sind zentraler Motor der digitalen Transformation und auch gleichzeitig in ihrem stetig wachsenden Energiehunger zentraler klimapolitischer Problemfall.

Im Vergleich zum Gesamtenergieverbrauch in Deutschland erscheint der Energieverbrauch der Rechenzentren zwar noch gering (0,6 Prozent im Jahr 2020 nach Zahlen des Borderstep-Instituts), aber dieser Wert sagt eher viel über die nicht gelöste Klimaproblematik des Gesamtverbrauchs in Deutschland aus und eher wenig bis nichts über eine Klimaschutz-Irrelevanz der Rechenzentrums-Industrie.

Scope₃-Anteil weit über 90 Prozent der Gesamt-Emissionen

Tatsächlich sagen regionale Energieverbrauchswerte von Rechenzentren wenig über die Klimaeffekte insgesamt aus, denn zum einen sind durch die weltweit installierten Cloud-Rechenzentren die Effekte regional kaum seriös zu beurteilen und zum zweiten ist der reine Verbrauchswert nur die Spitze des



Eisbergs. Die ist bekanntlich in der Natur zu acht bis neun Zehnteln unter der Wasseroberfläche und mit dem "Emissions-Eisberg" verhält es sich nicht anders.

In Unternehmen, die überwiegend aus Algorithmen und Daten und dementsprechend hauptsächlich aus Rechenzentrums-Infrastruktur bestehen, wie beispielsweise Facebook alias "Meta" ist der Emissions-Eisberg noch viel mehr unter Wasser. Im Nachhaltigkeitsreport 2020 wird der Anteil der Scope3-Emissionen an den Gesamtemissionen von Meta mit 99 Prozent angegeben. Eigentlich fast nicht zu glauben.

Aber diese Scope3-Emissionen, in die sämtliche CO₂-Emissionen entlang der Wertschöpfungskette eines Rechenzentrums eingehen, haben es wirklich "in sich". Sie bringen das ökologische Desaster fast eines jeden heute existierenden – schlimmer noch: in Projektierung befindlichen – Rechenzentrums schmerzlich auf den Punkt.

Die Scope3-Emissionen sind das eigentliche Problem auf dem Weg zur Klimaneutralität, weil sie am schwierigsten zu erkennen und noch schwieriger zu beeinflussen und damit zu reduzieren sind. Das Interview im letzten Kapitel dieses eBooks gibt einige Hinweise, wo angesetzt werden muss, um auf diesem Feld größere Fortschritte zu erzielen.

Messlatte für Energieeffizienz von Rechenzentren

Um die Energieeffizienz von Rechenzentren ganzheitlich zu steigern – und nicht nur an einigen "Nebenkriegsschauplätzen" – muss vor allem die Datenlage

deutlich verbessert werden. Denn wenn man die Ausgangslage nur unzureichend kennt, weiß man naturgemäß auch nicht, wo es hingehen soll und kann.

Aus diesem Grund ist das Ende 2021 vom Umweltbundesamt angestoßene Forschungsprojekt zum Aufbau eines deutschlandweiten Registers, in dem der energetische Stand eines jeden Rechenzentrums dokumentiert wird, besonders wichtig. Denn Rechenzentren werden derzeit weder statistisch erfasst noch existiert eine systematisch erstellte und regelmäßig gepflegte Datenbasis, in der der Energieverbrauch der Rechenzentren anhand gemessener oder von den Unternehmen bilanzierter und gemeldeter Zahlen enthalten ist.

Das macht es schwierig, die Energieeffizienz von Rechenzentren und die
Entwicklung der Energieverbräuche
der Branche zu vergleichen und zu
bewerten oder Mindestanforderungen
an Rechenzentren zu stellen und deren
Einhaltung zu überprüfen.

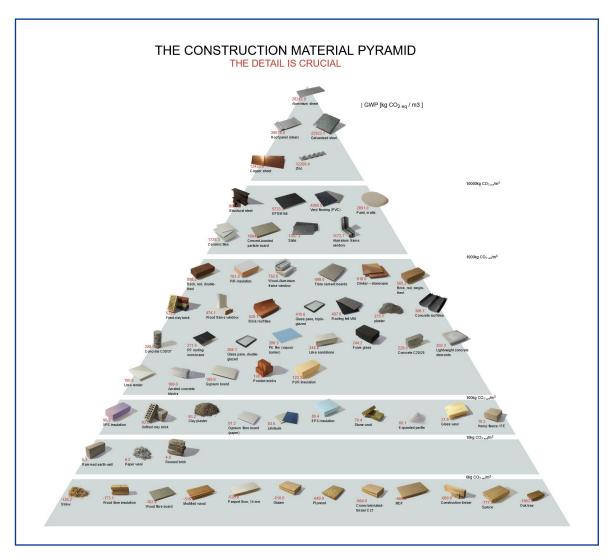
dem ambitionierten Vorhaben Mit "PeerDC" (für "Public energy efficiency register of data centres", also "Öffent-Energieeffizienzregister liches Rechenzentren"), das unter die Ägide Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energienutzung (IER) an der Universität Stuttgart betrieben wird, werden hoffentlich endlich die Rahmenbedingungen für eine höhere Energieeffizienz der Rechenzentren in Deutschland geschaffen. Anhand des Bewertungssystems soll die Energieeffizienz jedes einzelnen Rechenzentrums transparent, nachvollziehbar und vergleichbar gemacht werden.

Basisdaten für lokale und regionale Energieverbünde

Ein Energieeffizienz-Register ist nicht nur eine Hilfe bei allen möglichen Optimierungsmaßnahmen am jeweiligen Rechenzentrum selbst, sondern auch die Voraussetzung für die Einbeziehung eines Rechenzentrums in lokale und regionale Energieverbünde.

Ein Beispiel dafür ist die Einspeisung von Rechenzentrums-Abwärme in ein städtisches Fernwärmenetz wie beispielsweise im Rechenzentrum des Dresdner Rechenzentrums-Spezialisten Heat & Cloud im ehemaligen Gebäude der Europäischen Zentralbank Frankfurt am Main, wo mit der Rechner-Abwärme ein Hotel ein paar Stockwerke darüber geheizt wird.

Derartige Kombinationen nutzen örtliche Gegebenheiten optimal aus, eine konsequente Klimapolitik wird allerdings dazu übergehen müssen – und zwar eher heute als morgen –, solche Verbund-Situationen in der ganzen Republik (in der EU?) systematisch zu planen.



Die <u>Materialpyramide des CINARK</u> – Centre for Industrialised Architecture, The Royal Danish Academy – Architecture, Design, Conservation (Bild: CINARK)

Nah-Wärme für Mehrfamilienhäuser, geliefert als "Abfallprodukt" eines lokalen Rechenzentrums oder auch gezielte Ansiedlung eines Rechenzentrums, um für eine bestimmte Industrie-Aktivität Prozess-Wärme preisgünstig und klimafreundlich bereitzustellen: Mit einer gezielt in diese Richtung entwickelten Bauleitplanung kann hier vieles in Sachen Energieeffizienz getan werden. Und ein Energieeffizienz-Register muss hierzu die Basis-Daten liefern.

Rechenzentren als Regelungs- oder Flexibilitätsreserve

Inwieweit man Rechenzentren und Energieerzeuger nicht nur lokal, sondern auch betriebstechnisch vernetzen kann und sollte, ist sicher eine komplizierte Frage, die in tiefster Konsequenz auch verfassungsrechtliche Fragen berührt, letztlich aber auch die ewige Frage der Vor- und Nachteile von wechselseitiger Abhängigkeit. Ein paar Aspekte werden im Artikel "Verbesserung der Klimabilanz beim Betrieb eines Rechenzentrums" diskutiert.

Ein interessanter Aspekt in puncto Energieverbund ist die Verwendung von Rechenzentren beziehungsweise von deren Backup-Systemen als Regelungsreserve für die energetischen Übertragungsnetze.

Aufgrund des mittlerweile hohen Anteils von erneuerbaren Energien in den Übertragungsnetzen, der in den nächsten Monaten und Jahren noch einmal exorbitant steigen wird, werden die Übertragungsnetze immer "kapazitiver". Die damit verbundenen Spannungsschwankungen – tatsächlich sind es meist

Spannungserhöhungen müssen durch Regelungsmechanismen ausgeglichen werden. Rechenzentren können dazu - natürlich nach technischer, organisatorischer und verwaltungsrechtlicher Vorbereitung - hier eine wichtige Aufgabe wahrnehmen (ebenso übrigens wie Elektro-Mobil-Fuhrparks). Wenn man noch innovativer bezüglich Energieeffizienz denken will, könnten Rechenzentren landesweit oder auch EU-weit nicht nur als Regelungs-Energielieferant, sondern auch als Flexibilitätsreserve, also als tatsächliche Energielieferanten fungieren, und zwar allein durch ihre Backup-Systeme oder auch zusätzlich durch Lastverschiebungen im Normalbetrieb.

Seriöse Untersuchungen gehen davon aus, dass sich eine potenzielle Flexibilitätsreserve landesweit durchaus im Gigawatt-Bereich bewegt, EU-weit kann man folglich von zweistelligen Gigawatt-Zahlen ausgehen. Wie gesagt: Das ist technisch hochkomplex und politisch und juristisch sowieso, aber die Energie-Diskussion im Zuge des Angriffskriegs Russlands gegen die Ukraine dürften auch solche Konstrukte aus dem Bereich des Glasperlenspiels herausheben. Nachhaltige Rechenzentren sind schon längst jenseits der Klimapolitik auch eine Frage unserer Sicherheit in Europa.

Der CO2-Fußabdruck von "Software-Obsoleszenz"

Dass auch etwas scheinbar Immaterielles wie Software mit Nachhaltigkeit zu tun hat, kommt erst langsam in den Blick



der Öffentlichkeit, auch der Fachöffentlichkeit. Dabei liegt die Beziehung zwischen Software und Energieverbrauch doch eigentlich auf der Hand.

Rechenzentrum mit integrierter Abwärmenutzung im Eurotheum-Turm in Frankfurt am Main (Bild: Cloud & Heat)

Letztlich sind Programmbefehle, abgesehen von ihren Inhalten, auch Schalter, die Stromverbrauch einleiten oder stoppen. Wie man mit einem grünen Codierstil die CO₂-Emissionen deutlich reduzieren kann, dazu gibt der Artikel "Klimabewusstes Codieren" einige Tipps.

In diesem Zusammenhang ist es eine besonders erfreuliche Nachricht, dass das Umweltbundesamt zum ersten Mal und weltweit einmalig einem Softwarepaket den "Blauen Engel" verliehen hat. Ausgezeichnet wurde das Dokumentenleseprogramm "Okular" innerhalb der Freien Softwareumgebung KDE auf

Basis von Linux.

Beurteilungsbasis für den Blauen Engel für Softwarepakete sind unter anderem Parameter wie Ressourcen-Optimierung und Programm-Transparenz. Letztere ist beispielsweise notwendig, um Programmstrukturen auf funktionslosen Code überprüfen zu können, sodass dieser entfernt werden kann. Außerdem wird bei der Prüfung darauf geachtet, dass Hardware nicht durch rein merkantil bedingte, künstlich verkürzte Softwarezyklen ("Software-Obsoleszenz") ohne Grund unbrauchbar wird.

Das Zusammenspiel von Software, Hardware und Obsoleszenz wird wohl in

nächster Zeit bei der rechtlichen Neuformulierung der europäischen Ökodesign-Richtlinie zur umweltfreundlichen Gestaltung von Produkten erhebliche Brisanz erhalten, unter anderem bei Initiativen zur nachhaltigeren Gestaltung von Mobiltelefonen und Tablets.

Nachhaltigkeit versus "Nachhaltigkeit"

"Nachhaltigkeit" ist ein Begriff, den mittlerweile jede und jeder im Munde führt und der droht, eine Münze ohne Wert

zu werden. Insofern sollte man eher misstrauisch reagieren, wenn einem dieser Begriff in Präsentation und Kommunikation als Balsam dargereicht wird. Der Verdacht drängt sich auf, dass dort am wenigsten Nachhaltigkeit drin ist, wo am meisten "Nachhaltigkeit" draufsteht. Im schlimmsten Fall bedeutet "Nachhaltigkeit" bei Rechenzentren womöglich nur ein paar preiswert erworbene "Ablassbriefe" in Formen von CO₂-Emissionszertifikaten.

Tatsächlich muss an vielen Stellschrauben innerhalb eines Rechenzentrums gedreht werden, um Wirkungsgradverbesserungen und um langlebigere Komponenten in allen Bereichen zu erhalten. Dabei muss es vor allem auch um Bereiche gehen, bei denen eine entsprechende Einflussnahme einen erheblichen organisatorischen und gedanklichen Aufwand erfordert (Scope3).

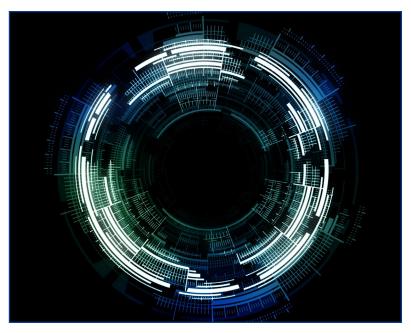
Und es geht nicht zuletzt um die Verzahnung der Rechenzentrums-Aktivitäten mit anderen Infrastrukturfeldern (Abwärmenutzung, E-Mobilität, Regelungsreserve von Energienetzen, Digitalisierung ganzer Lebensbereiche).

Das sind alles keine leichten Aufgaben, aber Nachhaltigkeit ist nicht zum Nulltarif zu haben. *Jürgen Höfling*



Von intelligenten Steckdosenleisten bis zu Suprastrom-Sammelschienen

Energieeffizienz im Rechenzentrum betrifft die verwendeten Materialien und Technologien ebenso wie deren genaue Dimensionierung. Um trotzdem immer auf der sicheren betrieblichen Seite zu sein, ist präzises Messen bis in die IT-Schränke hinein Pflicht.



Messen auf allen Ebenen, bis in die IT-Schränke hinein, ist die Voraussetzung, um alle verfügbaren Einsparpotenziale zu erkennen und Überdimensionierung zu vermeiden. (Bild: Reto Scheiwiller auf Pixabay)

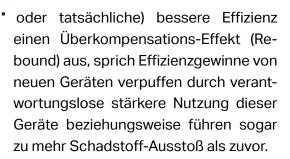
Am nachhaltigsten ist allemal die Energie, die für einen bestimmten Zweck nicht bereitgestellt werden muss, sondern in natürlichen oder künstlichen Speichern "potenziell" bleibt. Deshalb sind Rechenzentren an norwegischen Fjorden oder isländischen Geysiren gut und schön, aber Rechenzentren, die

energiearm betrieben werden und in eine Kreislaufwirtschaft integriert sind, deutlich besser.

Ebenso wie Strom, der gar nicht erst erzeugt werden muss, nachhaltiger ist als Strom, der aus erneuerbaren Quellen stammt (von fossilen Quellen gar nicht zu reden), sind Server, Speicher und Switche, die bei kleineren Defekten repariert werden (können) besser als solche, die überstürzt oder auch aus Bequemlichkeit neu angeschafft werden.

Das heißt aber auch, dass auf die bessere Reparierbarkeit der genannten Geräte im White Space eines Rechenzentrums durch regulatorische und gesetzliche Maßnahmen hingearbeitet muss. Zumindest hat die EU-Kommission mit dem dritten Arbeitsprogramm der Ökodesign-Richtlinie (ErP) das Thema Kreislaufwirtschaft und Materialeffizienz stärker in den Fokus der ordnungspolitischen Rahmensetzung gebracht. Neue Geräte haben oft den scheinbaren ökologischen Charme einer besseren Energieeffizienz, lösen aber auch und gerade durch diese (angenommene

Materialeffizienz, Mess-Präzision und Energiemanagement



Messen auf allen Ebenen

Bevor man neues Equipment, dessen Herstellung weitere Treibhausgase freigesetzt hat, in den Stoffkreislauf einbringt, ist es unter den Aspekten Kreislaufwirtschaft und Materialeffizienz zunächst sinnvoll, alle verfügbaren Einsparpotenziale zu erkennen und zu nutzen.

Dafür ist Messen auf allen Ebenen angesagt, das heißt bis in die IT-Schränke hinein. Nur so ist eine punktgenaue Kapazitätsplanung möglich und eine genaue Abstimmung des Stromverbrauchs der einzelnen Geräte untereinander möglich. Denn die Stromversorgung eines IT-Schranks beziehungsweise Schrankreihe muss bei der Aufnahme neuer Geräte, einem Gerätetausch oder einer Geräteerweiterung oder auch bei Umzügen von Abteilungen den neuen Gegebenheiten genau angepasst werden. Und diese Anpassungen sollten nicht auf Schätzwerten, sondern auf genauen Messungen beruhen.

Durch solch präzises Lastmanagement wird das Vorhalten von Reserven für Spitzenlasten weitgehend überflüssig, gleichzeitig wird verhindert, dass Leistungsschutzschalter wegen Überlastung auslösen und unnötige Ausfallzeiten entstehen. Beide Effekte reduzieren den Strombedarf erheblich. Außerdem

liegen bei einem Umstieg auf alternative Energiequellen schon belastbare Verbrauchsdaten für die einzelnen Komponenten des Rechenzentrums vor, auf deren Basis ein präzise abgestimmtes Energiekonzept entwickelt werden kann.

Energiemanagement im White Space eines Rechenzentrums

Um an beliebigen Stellen im Server-, Speicher- und Switch-Bereich des Rechenzentrums wichtige Messwerte abgreifen zu können, ist der Einsatz von Stromschienen wünschenswert. Im Idealfall wird der White Space des Rechenzentrums dann weitgehend kabelfrei.

Bei nicht wenigen Stromschienen am Markt sind die Abgangskästen mit Messtechnik und einer Remote-Verbindung ausgestattet, sodass der Strom, der einer Schiene zugeführt wird, in Echtzeit überwacht werden kann. Dadurch lässt sich die Energieeffizienz steigern, indem beispielsweise Phasenschieflasten erkannt und vermieden werden. Abgangskästen an den Stromschienen lassen sich praktisch an beliebigen Stellen montieren und demontieren und zur Verteilung nutzen.

Sind keine Stromschienen vorhanden, können auch intelligente oder überwachte Steckdosenleisten (Power Distribution Units, PDUs) im Unterflurboden oder auch Stromzähler der Niederspannungsschaltanlagen Messaufgaben übernehmen. Solche PDUs überwachen in der Regel in den IT-Schränken den Stromfluss. Sind diese Stromverteilungsleisten mit genügend digitaler Intelligenz ausgestattet, messen sie nicht nur Strom und Spannung, sondern

Materialeffizienz, Mess-Präzision und Energiemanagement

ermitteln unter anderem auch den Energieverbrauch.

Ist der Einsatz von PDUs nicht möglich, weil die Steckerleisten nicht digital ausgerüstet sind und/oder die Niederspannungsschaltanlagen keinen Stromzähler enthalten, muss auch dann noch nicht unbedingt das ganze Unterboden-Equipment ausgetauscht werden. Mit einer Zweigkreis-Überwachung (Branch Circuit Monitoring), die sich ohne Betriebsunterbrechung an beliebigen Stellen des Stromnetzes integrieren lässt, kann der Stromverbrauch sowie auch andere Größen wie Spannung, Blindleistungsfaktor, Wirk- und Scheinleistung in Echtzeit gemessen werden.

Intelligente Steckdosenleisten vs. überwachte Zweigstromkreise

Die Lösung mit intelligenten Steckdosenleisten kann sich allerdings als kompliziert und teuer herausstellen. Die intelligenten PDUs zeigen zwar in einem bestimmten Rack den Stromverbrauch gut sichtbar an, aber sie reichen nicht aus, um ein genaues Strommanagement und eine Risikominderung zu erreichen. Wenn die intelligenten Steckdosenleisten nicht bei der Herstellung des Racks oder zum Zeitpunkt der Bereitstellung installiert wurden, ist in der Regel der Zugang zu einem im Betrieb befindlichen Rack zur Nachrüstung nicht besonders praktikabel. Darüber hinaus stellen sie nur eine Seite des Stromverbrauchs eines Racks dar und nicht die typische 2N-Konfiguration.

Ohne zusätzliche Überwachungssoftware lässt sich der Gesamtstromverbrauch nicht genau berechnen und Überlastungszustände nicht erkennen. Und ohne Software lassen sich die kumulierten Ergebnisse und der historische Trend nicht aggregieren. Letzteres ist aber für das Energiemanagement im gesamten Rechenzentrum von großem Wert.

Und was die Kosten betrifft, so sind intelligente Steckdosenleisten oft mehr als doppelt so teuer wie eine Nachrüstung für die Überwachung von Zweigstromkreisen.

Letztendlich muss in das Energiemanagement auch die Kühlung der Schränke einbezogen werden. Eine um zwei Grad Celsius höhere Kühltemperatur (oft wird unnötig tief gekühlt) steigert noch einmal die Gesamtenergieeffizienz.

Suprastrom-Sammelschienen für das Rechenzentrum der Zukunft

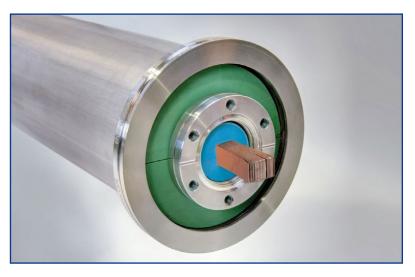
Stromsammelschienen der besonderen Art schlägt der rheinland-pfälzische Supraleitungs-Spezialist Vision Electric Superconductors (VESC) für ein klimaneutrales Rechenzentrum der Zukunft vor. In einer Machbarkeitsstudie, die letzten November auf der Open Compute Project-Konferenz in San Diego vorgestellt wurde, ist die ICE BAR-Superstromschiene neben den Baumaterialien und dem Kühlungskonzept das zentrale Element.

Mit dem Konzept will man die Suprastrom-Expertise, die man bereits im Industriebereich gesammelt hat, in die Datacenter-Branche überführen. Durch die Supraleitungs-Technologie gebe es keine Verluste durch Umrichtung und Transformation, wie sie bei den Systemen, die derzeit in den Rechenzentren

Materialeffizienz, Mess-Präzision und Energiemanagement

eingesetzt werden, anfielen, heißt es bei Vision Electric Superconductors.

Und weiter: "Supraleiter übertragen Gleichstrom ohne Verluste. In der Summe muss also für dieselbe Leistung weniger Strom erzeugt und eingespeist werden."



Supraleiter übertragen Gleichstrom ohne Verluste und sind viel kleiner und leichter als die heute benutzten Übertragungsschienen. Energie- und Materialeffizienz bringen in Summe eine große Minderung der CO2-Emissionen. (Bild: Vision Electric Superconductors)

Ein zweiter wichtiger Aspekt sei die Materialeffizienz. Supraleiter sind viel kleiner und leichter als die heute benutzten Übertragungsschienen. Es seien weniger Rohstoffe (bei hohen Strömen sind das bei herkömmlichen Stromschienen sehr viel Kupfer und Aluminium) notwendig, das spare Kosten, nicht zuletzt durch wegfallende Transporte. Außerdem würden auch weniger Halteund Stabilitätsaufbauten notwendig. Insgesamt ergebe sich durch alle diese Faktoren eine große Minderung an CO_2 -Emissionen.

Für Anwender in der Industrie haben die rheinland-pfälzischen Innovatoren nach eigenen Angaben schon mehrere Anlagen mit Hochtemperatur-Supraleiter-Sammelschienen ausgestattet, momentan ist man bei Technologiereifegrad 7 (TRL 7), was heißt, dass es einen Prototyp gibt, der an die jeweiligen Anwendungen angepasst werden muss. Für Vision Electric ist die vorgestellte Technologie prädestiniert für Hyperscale-Rechenzentren, wie sie beispielsweise von Google, Microsoft, Amazon oder Facebook "am laufenden Band" gebaut werden. Das auf dem OCP Global Summit vorgestellte Architekturkonzept bezieht sich jedenfalls auf ein 100-Megawatt-Rechenzentrum.

Kleine und große Innovationen

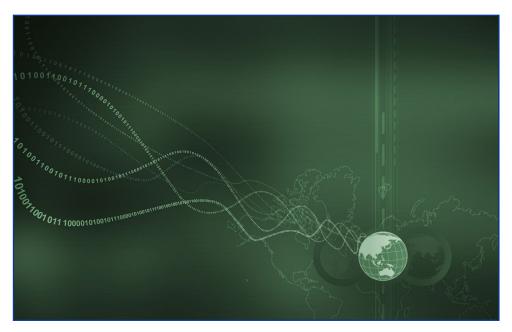
Die in diesem Artikel vorgestellten Vorschläge für mehr energieeffiziente Konzepte im zentralen Raum eines Rechenzentrums sind in ihrer Granularität sicher sehr verschieden. Da ist zum einen die Frage der Kreislaufwirtschaft und Materialeffizienz, dann Detailfragen eines effizienten Energiemanagements bei der Stromzufuhr für Server, Speicher und Switche und zum dritten ein ganzheitliches Zukunftskonzept mit der Kerninnovation Suprastrom-Schiene, bei der aber auch das Thema Materialeffizienz an oberster Stelle steht.

Diese drei Betrachtungsweisen mit ihrem durchaus unterschiedlichen Zeithorizont, was die Realisierung betrifft, müssen zusammengeführt werden, wenn es mit dem klimaneutralen Rechenzentrum bis zum Jahr 2030 klappen soll, wie es die EU-Kommission in ihrem Green Deal vorsieht.

Jürgen Höfling

Klimabewusstes Codieren

Gute Computerprogramme sollten die Lösung auf dem kürzesten Weg und mit möglichst wenig Mitteleinsatz erreichen. Dieser Minimalismus spart nicht nur Zeit und Kosten, sondern reduziert auch die Treibhausgas-Emissionen.



Grüner Code ist wichtig für den Planeten. (Bild: Garik Barseghyan auf Pixabay)

Computer sind High-Tech-Maschinen, auch wenn sie mittlerweile von vielen Menschen eher als humanoide Spielkameraden gesehen werden, zumindest in ihren handlichen Varianten. Diese Lifestyle-Sichtweise hat zur Folge, dass viele Zeitgenossen anders als beispielsweise bei Kraftwerken oder Stahlschmieden die Klimarelevanz von Computern nicht sehen oder sie verdrängen.

Das Unternehmen Enerdata mit Hauptsitz in Grenoble, das sich auf Energieanalysen und Energieberatung spezialisiert hat, schätzt den Anteil elektrischer Energie, der von der ITK-Industrie konsumiert wird, auf derzeit rund 10 Prozent des Gesamtverbrauchs und rechnet ihn für 2030 auf rund 21 Prozent hoch.

Auch wenn bei CO₂-Emissionen, die durch Rechnerleistung entstehen wie etwa bei einer Suchmaschinen-Anfrage, oft nicht stringent entschie-

den werden kann, welcher Anteil auf die Hardware und welcher auf die Software entfällt, trägt die "weiche Ware" doch in hohem Maße zu den weltweiten CO₂-Emissionen bei.

Mittlerweile wird die politische und fachliche Diskussion darüber breiter. In Deutschland beteiligen sich an der Diskussion unter anderem die aus dem eco – Verband der Internetwirtschaft e.V. heraus gegründete Allianz zur Stärkung Digitaler Infrastrukturen in Deutschland, das Hasso-Plattner-Institut in Potsdam und bei Privatunternehmen ganz besonders die weltweit aktive

Treibhausgas in Computerprogrammen

Software-Schmiede GFT Technologies.

Nicht vergessen werden dürfen auch die Aktivitäten des Umweltbundesamtes, das gerade den von der Freien Software Gemeinschaft innerhalb der Entwicklungsumgebung KDE entwickelten universalen Dokumentenbetrachter Okular als weltweit erstes Softwareprodukt überhaupt mit dem Umweltzeichen "Blauer Engel" ausgezeichnet hat. Als Gründe der Auszeichnung werden Energieeffizienz und Ressourcen schonende Programmierung sowie transparente Schnittstellen genannt.

"Wirkungsgrad" von Computerprogrammen

Kann etwas, das eher als immateriell wahrgenommen wird, Einfluss auf

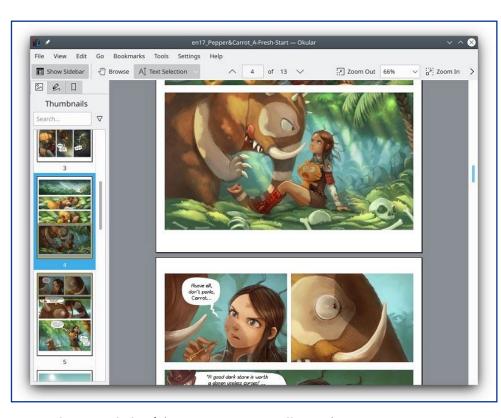
schmelzende Gletscher und tauende Permafrostböden haben? Und kann man ähnlich wie "grünen Strom" auch so etwas wie "grüne Daten" beziehungsweise "grünen Code" anstreben? Die einfache Antwort ist: Man kann! Und man muss!

So einfach die Antwort ist, die Maßnahmen, die sich aus der Antwort ergeben, sind es eher nicht. Denn schon lange schöpfen wir bei der Softwerkerei ohne Sinn und Verstand aus dem Vollen. Speicherknappheit oder Prozessor-Power scheinen keine Rolle zu spielen, wir codieren in der Regel auf eine Art und Weise, als gebe es nach uns nur noch die Sintflut (was durchaus stimmen mag).

Der Wirkungsgrad eines Computerprogramms, also der energetische Aufwand, der getrieben werden muss,

> um es zu einer halbwegs nützlichen Anwendung zu machen, war lange kein Thema in der (Fach-) Öffentlichkeit. Und dass miserable Lade- oder Übertragungszeiten nicht nur ärgerlich für die Nutzerinnen und Nutzer sind, sondern auch schlecht für das Klima, weil sie unnötig viel Strom ziehen und durch diese Fahrlässigkeit vermeidbare CO₂-Emissionen erzeugen, wird erst seit Kurzem überhaupt diskutiert, so beispielsweise sehr detailliert in dem White Paper von GFT Technologies, dem dieser Arti-

kel viele Detailinformationen verdankt.



Screenshot von Okular (Lizenz CC-BY-SA 4.0 Illustration von David Revoy)

Kleine Maßnahmen – große Wirkungen

Die Maximen für ein klimabewusstes Programmieren und Codieren klingen ebenso wie diejenigen für einen nachhaltigen Rechenzentrumsbetrieb (siehe den nachfolgenden Artikel) einerseits selbstverständlich bis banal, werden aber nichtsdestotrotz oft sträflich vernachlässigt.

Warum sollte man den Bildschirm konsequent verdunkeln, also letztlich abschalten, wenn man nicht arbeitet? Oder warum sollte man eine HTML-Seite auf ein Zehntel (von 200 kB auf 20 kB) schrumpfen, bevor man sie überträgt? Und was bringt es schon, eine App so zu optimieren, damit sie eine Sekunde schneller lädt. Ist das alles nicht Pillepalle, Betulichkeiten angesichts der CO₂-Emissionen von Kohlekraftwerken, Großchemieanlagen oder Zement- und Aluminiumwerken?

Abgesehen davon, dass das mit dem "Finger-auf-andere-zeigen" angesichts der Dimension der Klimaproblematik niemandem nützt, sind es die enormen Skaleneffekte, die scheinbar vernachlässigbaren Maßnahmen beim Codieren ihr Gewicht geben und einen substanziellen Beitrag in Richtung Klimaneutralität leisten. Mit einer Beschleunigung einer App um eine Sekunde – indem man Bildschirmbilder weglässt oder durch solche mit geringerer Auflösung ersetzt - spart man 132 kg CO₂-Emissionen pro Jahr, wenn man davon ausgeht, dass die App 1 Million Mal pro Tag aufgrufen wird. Und bei einer Million Aufrufen pro Jahr der oben erwähnten "geschrumpften" Website ergibt sich eine Reduktion von 10 kg CO₂ im Jahr.

Wenn man bedenkt, dass man vermutlich Millionen von Apps auf die Sprünge helfen kann, und Millionen von Websites etc., dann lässt sich erahnen, wie eine Verbesserung des Wirkungsgrads an einer einzigen Stelle eine riesige Wirkungsgrad-Verbesserung insgesamt ergibt. Das gilt umso mehr dann, wenn solche Optimierungen bei großen Cloud-Providern vorgenommen werden, wo der Multiplikator-Effekt besonders hoch ist.

Klimaschädlicher Code-Müll

Code, der für ein bestimmtes Problem maßgeschneidert ist, sollte – zumindest wenn er von fähigen Programmiererinnen kommt, nicht nur zielgeau, sondern auch emissionsarm sein. Doch derart individuell geschneidert wird Code mittlerweile eher selten. 90 Prozent heutiger Software-Pakete enthalten Teile von Open-Source-Software. Das ist nicht per se schlecht, aber kann unangenehme Nebeneffekte haben.

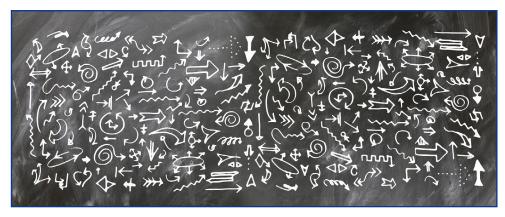
So können im Extremfall nicht nur Bugs eingeschleppt werden – trotz der massenhaften Nutzung und Begutachtung –, sondern vor allem größere Codesegmente eindringen, die zwar nichts Böses anrichten, die aber schlicht funktionslos sind. Die einzige Funktion dieses toten Codes besteht darin, Treibhausgas in die Atmosphäre zu blasen.

Aber solcher Code-Müll destabilisiert auch die Anwendungen, in die er zusammen mit funktionsnotwendigen Teilen eingefügt ist. Besonders bei Website-Anwendungen, die für ihren Download

Treibhausgas in Computerprogrammen

Software benötigen, welche bei jedem Site-Besuch installiert werden muss, ist das von der Energiebilanz her ein echtes Problem. Darüber hinaus kann toter Code Netzwerk-Kapazitäten verschwenden oder unnötige CPU-Parsing-Prozesse in Gang setzen.

Im Übrigen muss funktionsloser Code nicht händisch aufgespürt werden, es gibt dafür leistungsfähige Tools, sogenannte Tree-Shaking-Programme.



Toter Code verschwendet Netzwerk-Kapaziäten und kann unnötige CPU-Parsing-Prozesse in Gang setzen. (Bild: Gerd Altmann auf Pixabay)

Nicht alles muss in Echtzeit betrieben werden

Sparpotenziale können auch dadurch aktiviert werden, dass eine strikte Aufgabenpriorisierung durchgeführt wird. Ebenso wie im Rechenzentrum nicht alle Server so betrieben werden müssen, als seien alle Workloads zeitkritisch, gilt diese Feststellung auch für Code. Routinemäßige Aufräumarbeiten wie das Löschen temporärer Dateien oder das Ordnen der Speicherbereiche benötigenin aller Regel keine Soforterledigung, Gleiches gilt für die Video-Transkodierung oder Datensicherung. Derartige Aufgaben (hier nur als Beispiele genannt) können auf Zeiten verschoben

werden, in der genügend grüne Energie verhanden ist. Gleichzeitg wird mit einer solchen Priorisierungsstrategie die Hardware besser ausgenutzt, was noch einmal die CO₂-Emissionen reduziert.

Viele klimeschädliche Emissionen lassen sich überdies vermeiden, wenn die Codeentwicklung flexibler und intelligenter organisiert wird und zum Beispiel in möglichst kleine Schritte aufgeteilt wird. Das reduziert die notwendigen

Rückkopplungsschleifen. Darüber hinaus werden idealerweise nur die jeweils modifzierten Codeabschnitte, das heißt ein bestimmtes Modul oder ein eingebundener Microservice, neu kompiliert und nicht das ganze Projekt.

Das reduziert im Übrigen nicht nur klimaschädliche

Treibhausgase, sondern bringt auch das Projekt schneller voran.

Algorithmus-Änderung reduziert CO₂-Emission um 99,9 Prozent

Eine eigene Geschichte in Sachen emissionsarmer Code ist das Gebiet der "Künstlichen Intelligenz" im Allgemeinen und des "Maschinellen Lernens" im Besonderen. Schon die Spezifikationsdaten der dabei benutzten Prozessoren deuten darauf hin, dass in diesem Bereich hochgradig gepowert wird. Und wo Power ist, da sind auch die großen Treibhausgas-Emissionen nicht weit.

Ein Beispiel für ein grünes Codewunder ist das Sprachproduktionssystem Generative Pre-trained Transformer 3 (GPT-3). GPT-3 ist ein Algorithmus zur

Treibhausgas in Computerprogrammen

Erzeugung natürlich sprachlicher Strukturen (Sätze, Paragrafen, ganze Artikel oder womöglich auch ganze Romane), der auf 175 Milliarden syntaktisch-semantischen Funktionselementen (Parametern) sowie einem gigantischen textuellen und grafischen Corpus aufsetzt, das aus Internet-Quellen stammt.

Die Fähigkeiten von GPT-3 beruhen auf Deep-Learning-Prozessen, in denen die Textmengen vollständig automatisch nach stochastischen Kriterien etikettiert und klassifiziert werden. Danach werden in langen Lernprozessen künstliche neuronale Netze mit dem Material trainiert. Dazu ist eine gigantische Menge an Rechenoperationen mit vielen Rückkopplungsschleifen notwendig.

Man ahnt schon, das kann nicht besonders klimafreundlich ablaufen. Tatsächlich erzeugte das Sprachproduktionssystem vor einigen Jahren bei einem solch ausführlichen Training eine $\rm CO_2$ -Emission von 85 Tonnen. Um es etwas plastischer zu machen: Das ist in etwa die Emissionsmenge, die ein Verbrenner-Pkw bei einer imaginären Fahrt zum Mond und zurück produziert.

Mittlerweile – so wird jedenfalls aus dem Hause Google berichtet – ist man mit Hilfe binärer neuronaler Netze (statt eines 32-Bit-Algortihmus wie bisher nutzt man einen 1-Bit-Algorithmus als Basis) in der Lage, den Treibhausgas-Ausstoß um 99,9 Prozent zu reduzieren.

Warten auf Green-Code-Metriken

Nachhaltiges Programmieren alias Green Coding steht noch ganz am Anfang. Das ist nicht zuletzt an den hier eher feuilletonistisch aufgeführten Nachhaltigkeitsprinzipien erkennbar. Im Idealfall wünscht man sich einen Satz von Metriken, die klar aufzeigen, welche Maßnahmen wie viele Treibhausgas-Emissionen einsparen oder noch besser: eine Metrik, die jeder geschriebenen Codezeile einen Emissionswert zuordnet.

So exakte Vorschriften gibt es (derzeit noch) nicht, stattdessen eher qualitative Anweisungen derart, dass der Code so wenig Prozessorbefehle wie irgendmöglich enthalten und so wenig Speicherplatz wie möglich benötigen solle. Als der Schreiber dieser Zeilen vor gut 40 Jahren seine erste Programmierpraxis absolvierte, standen genau diese beiden Prinzipien ebenfalls an oberster Stelle. Freilich nicht wegen der Treibhausgas-Emission, sondern als pure programmiertechnische Überlebensstrategie angesichts knapper IT-Ressourcen. Heute sind nicht mehr die IT-Ressourcen knapp, aber eine Überlebensstrategie beschreibt die obige Maxime mehr denn je. Jürgen Höfling



Verbesserung der Klimabilanz beim Betrieb eines Rechenzentrums

Der nachhaltige(re) Betrieb von Rechenzentren hat viele sehr unterschiedliche Aspekte. Nicht alle sind zeitnah und überall umzusetzen, einige aber durchaus. Sie können die Grundlage bilden für eine umfassende Nachhaltigkeitsinitiative.



Präzision ist nicht nur beim Billard, sondern auch bei der Rechenzentrumsplanung das A und O, wenn es um nachhaltigen Betrieb geht. (Bild: Daniel Kirsch auf Pixabay)

Der Terminus vom "carbon-aware-Computing", der wohl von Google stammt und einen nachhaltigen Betrieb von Rechenzentren jeder Größe adressiert, klingt zu gut, um wahr zu sein. Der Terminus suggeriert eine komplexe, aber letztlich doch zielgenau lösbare Aufgabe. Tatsächlich handelt es aber wohl um eine Aufgabe, die immer nur näherungsweise lösbar ist.

Letztlich muss die Vielzahl möglicher Einflussgrößen in der Praxis auf das in der jeweiligen Situation und Lokation Machbare reduziert werden. So kann in vielen Fällen der Weiterbetrieb eines Rechenzentrums, das betriebstechnisch von den CO₂-Emissionen her alles andere als optimal ist, in der Gesamtbetrachtung weniger klimaschädlich sein als der Aufbau einer neuen Anlage mit weit besserem Dekarbonisierungspotenzial. Die zeitliche Verlängerung von existierenden Stoffkreisläufen ergibt oft eine bessere Energiebilanz als das Einbringen neuer Stoffe in den Kreislauf, mögen diese auch noch so energieeffizient sein.

Auch benötigen viele an sich wünschenswerte dekarbonisierende Maßnahmen einen langen Planungsvorlauf und/oder hohe finanzielle Investitionen, die erst einmal politisch durchgesetzt und budgetiert werden müssen.

Das Rechenzentrum als Energielieferant

Ein Beispiel dafür ist die Einspeisung von Rechenzentrumsabwärme in ein städtisches Fernwärmenetz. Ein exzellenter Gedanke, der sich allerdings oft in der Wirklichkeit in Luft auflöst. Sei es deshalb, weil die Temperatur des wiederzuverwendenden Kühlwassers zu niedrig ist und Wärmepumpen, die dazwischengeschaltet werden könnten, die Klimabilanz "verhageln" würden, sei es, dass ein

Nicht alles, was möglich ist, lässt sich zeitnah umsetzen

Fernwärmenetz der nächsten Generation, das mit niedrigeren Temperaturen arbeiten könnte, in weiter Ferne liegt, sei es, dass in der näheren Umgebung des Rechenzentrums überhaupt keine oder zu wenig Fernwärme benötigt wird.



Rechenzentrum mit freier Kühlung in einem norwegischen Bergwerk (Bild: Rittal)

Noch komplizierter – wenn auch keineswegs unsinnig – sind Konzepte, mit der Abwärme von Rechenzentren, speziell Edge-Rechenzentren, andere Wärmekonsumenten anzusiedeln, wie beispielsweise Treibhäuser oder Aquakulturen.

Und es ist sicher ein sehr guter Gedanke, Rechenzentren und Energieerzeuger lokal eng zu vernetzen, ja nicht nur lokal zu vernetzen, sondern auch betriebstechnisch. Nicht alle Workloads sind zeitkritisch und könnten durchaus auf Zeiten verschoben werden, wo Sonnenoder Windenergie besonders preisgünstig und umweltfreundlich für den Serverbetrieb genutzt werden kann.

Im Zusammenspiel von Rechenzentren und Energieerzeuger können im Übri-

gen auch die Rollen getauscht werden, das heißt, das Rechenzentrum kann für bestimmte Zeitabschnitte nicht nur als Energiekonsument, sondern auch als Lieferant von (elektrischer) Energie fungieren, indem es aus seinen Speichern

Regelungsenergie für das benachbarte Kraftwerk liefert. Gerade in Netzen, in die viel erneuerbare Energie eingespeist wird und die deshalb zusätzliche Regelungsleistung benötigen, ist das ein wichtiger Aspekt, der die Nachhaltigkeit der Energiebilanzen umfassend steigert.

Das Gestalten derart verschränkter Prozesse ist nicht einfach, aber warum dafür nicht KI-Algorithmen

"dressieren", was im Erfolgsfall ein gutes Beispiel für oft beschworene Synergieeffekte von Digitalisierung und Klimaschutz wäre.

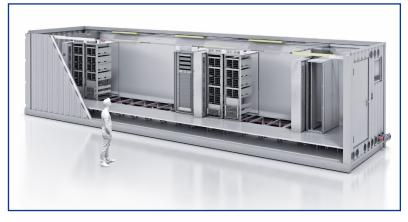
Nachhaltigkeit als zentrales oder dezentrales Projekt

Die enge lokale und (eventuell auch) betriebstechnische Verzahnung von Energieerzeuger und Energieverbraucher ist als großtechnische "zentralistische" Lösung im Hyperscaler- bzw. Cloud-Provider-Umfeld tatsächlich schon längst gängige Praxis, wenn man an den Boom der Megawatt-Rechenzentren in den nordischen Ländern denkt, wo genügend grüne Energie in Gestalt von "Vulkanenergie", sprich Geothermie, und Wasserkraft zur Verfügung stehen und im Prinzip auch genügend Wasser

Nicht alles, was möglich ist, lässt sich zeitnah umsetzen

für die freie Kühlung, beispielsweise an Fjorden.

Was derzeit fehlt, aber grundsätzlich auch an Orten verfügbar gemacht werden könnte, die energetisch nicht so begünstigt sind wie viele nordische Lokationen, sind kleine dezentrale Kombis von Windrad, Fotovoltaik-Panel oder Blockheizkraftwerk mit einem Rechenzentrum. Freilich muss man bezüglich der Energiebilanz solch dezentraler Konstellationen genau nachrechnen, ob hier nicht negative Skaleneffekte die positiven Synergieeffekte weitgehend zunichtemachen.



Modularisierte Rechenzentren helfen dabei, Überdimensionierung zu vermeiden. (Bild: Rittal)

Doch genug mit dem, was alles nicht geht! Tatsächlich gibt es auch dann, wenn man die politische und technische Realität nicht aus den Augen lässt, viele Stellschrauben, um den Betrieb von Rechenzentren nachhaltiger zu gestalten.

Viele kleine Schritte in Richtung Nachhaltigkeit

Wie wäre es, wenn wir nicht nur großformatig in die Zukunft planen, sondern zusätzlich viele kleine Schritte in der Gegenwart machen, die sofortige Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit von Rechenzentren hätten. Hören wir einfach auf mit der Ressourcenverschwendung im bestehenden Rechenzentrumsbetrieb.

Es ist sicher sehr viel bequemer, die Server-, Netzwerk- und Speicherkapazitäten eines Rechenzentrums "Pi mal Daumen" sehr großzügig zu dimensionieren als penibel nachzurechnen, was wirklich benötigt wird. Ähnliche Überdimensionierungen finden regelmäßig auch bei den Kühlkonzepten statt, obwohl beispielsweise moderne Prozessoren und Server viel größere Temperaturtoleranzen haben als ältere und obwohl man ein paar wenige lokale Hot Spots auch mit lokal begrenzten Maßnahmen in den Griff bekommen könnte und nicht "global" klotzen müsste.

Vor einigen Jahren schätzte eine Studie von Oracle, dass weltweit rund vier Prozent der Server in den Rechenzentren keinerlei Funktion haben und sinnlos Energie verbrauchen. Und das Uptime-Institut stellt in einer Nachhaltigkeitsstudie von 2022 fest, dass der Leerlaufstrom in den Rechenzentren seit Jahren wieder deutlich zunimmt, nachdem der Wert um das Jahr 2014 ein lokales Minimum erreicht hatte.

Wohlgemerkt, wir reden hier von Leerlauf beziehungsweise Energieverschwendung, die durch ungünstig geplante und betriebene IT-Infrastruktur entsteht, nicht davon, dass in physikalischen Komponenten grundsätzlich auch im Leerlauf ein kleiner Strom fließt. Es gibt nun einmal keinen idealen Trafo,

aber natürlich lassen sich energieeffiziente Netzteile einsetzen, sodass auch an dieser Stellschraube im Rechenzentrum gedreht werden kann.

Nicht aus (Denk-) Faulheit überdimensionieren

Im Mittelpunkt des nachhaltigen Betriebs eines Rechenzentrums steht die Entwicklung einer nachhaltigen IT-Infrastruktur. Wenn dort bei den benötigten Stromkapazitäten zu großzügig verfahren wird, ist der Wirkungsgrad entsprechend mau.

Beispielsweise arbeiten bei Weitem nicht alle Server in einem Rechenzentrum betriebskritische Lasten ab. benötigen also keine hundertprozentige Fehlertoleranz, auch ist es weder nötig noch nachhaltig, die Strombereitstellung grundsätzlich am Strombedarf zu bemessen, der bei einer Spitzenauslastung jeder der eingesetzten CPUs anfällt. Fazit: Man sollte viel Gehirnschmalz aufwenden, um die Aufgabenstellung und den damit einhergehenden Energiebedarf der RZ-Komponenten genauer (oder besser: sehr genau!) zu beschreiben; und für das Abfangen der Spitzenauslastung der einzelnen Prozessoren sollte ohnehin Batteriespeicherung genutzt werden.

Beitrag moderner Prozessor- und Servertechnik für nachhaltigen Betrieb

Intelligentes Lastmanagement ist das A und O bei der Beseitigung einer Armada schlecht ausgelasteter oder gar sinnlos, aber energieintensiv vor sich "hindaddelnder" Server, Switche und Speicherelemente in Rechenzentren. Durch Erneuerung der Komponenten und zusätzliche Einführung intelligenter Stromschaltleisten wird die Energiebilanz deutlich besser. Ein gutes Beispiel, wie Ökonomie und Ökologie Hand in Hand gehen (können).

Im Übrigen senken moderne Server die Taktfrequenz und Spannung eines Prozessors ab, wenn die darauf laufenden Programme nicht die volle Rechenleistung abrufen. Oder sie versorgen nur diejenigen Prozessorkerne mit Strom, die gerade benötigt werden. Durch solche Maßnahmen ziehen solche Komponenten teilweise weniger als die Hälfte des Stroms, den sie bei Maximallast verbrauchen würden.

Grundlage weiterer Nachhaltigkeitsinitiativen

Abschalten im Sinn von "Stecker raus" ist sicher in aller Regel keine Option, um den Betrieb eines Rechenzentrums nachhaltig(er) zu machen, aber neueste Technik ermöglicht ein intelligentes Abschalten in Stufen und auf Raten.

Zusammen mit einem nachhaltigen Programmierstil beziehungsweise zugekaufter Software, die für nachhaltigen Betrieb ausgelegt ist, hat man damit den Grundstein eines nachhaltigen Rechenzentrums gelegt. Das ist eine Grundlage für alle weiteren Nachhaltigkeitsinitiativen, die größerer und umfassenderer planerischer Anstrengungen bedürfen und die weit in politische Gestaltungsprozesse hineinreichen und entsprechend länger dauern.

Jürgen Höfling

"Der PUE hat keinen Wert für die Klimaneutralität"

Klimaneutrale Rechenzentren stehen zumindest in Europa auf der politischen Agenda. Der Koalitionsvertrag der aktuellen deutschen Regierung gibt 2027 als Datum vor. Bis dahin sollen neu zu errichtende Rechenzentren zumindest rein rechnerisch keine Treibhausgase mehr abgeben.



Rechenzentrumsplaner Karl Rabe: "Rechenzentren sollten aus nachwachsenden Rohstoffen gebaut, mit erneuerbarer Energie betrieben und mit recycelten Servern bestückt und mit Wärmerückgewinnung kombiniert werden." (Bild: privat)

Herr Rabe, was ist Ihre Definition von "klimaneutral" bei einem Rechenzentrum und welche Schritte müssen wir gehen, um dieses Ziel zu erreichen?

Klimaneutral heißt für mich, dass die Summe der Treibhausgase über den gesamten Lebenszyklus eines Rechenzentrums nicht größer als Null ist. Das bedeutet, dass Produkte, Organisation oder Menschen kein CO_2 emittieren dürfen, ob als Emissionen aus direktem oder indirektem Energieverbrauch oder als Emissionen aus Energieverbrauch, der in der Wertschöpfungskette dem Rechenzentrumsbetrieb vor- oder nachgelagert ist.

Nur damit unsere Leser es besser einordnen können: Die direkten Emissionen sind das, was das weltweit akzeptierte Treibhausgas-Protokoll als Scope1-Emissionen bezeichnet; der indirekte Energieverbrauch steht für die Scope2-Emissionen und Scope3 steht für den eben genannten großen Rest der Wertschöpfungskette.

Ganz genau. Im Fall von Rechenzentren bedeutet die Einteilung, dass man keine fossilen Energien direkt verbrennt, beispielsweise mit Backup-Generatoren auf Dieselbasis und möglichst nur noch erneuerbare Energien für Server, Kühlung etc. einsetzt, sodass auch die indirekten Emissionen aus dem Verbrauch von Energie in Richtung Null gehen.

Die große Masse der Emissionen fallen indes unter Scope3, also diejenigen, die

aus Prozessen kommen, die dem Rechenzentrumsbetrieb vor- und nachgelagert sind. Die hatte man

lange überhaupt nicht auf dem Schirm, auch weil diesbezügliche Messungen nicht einfach sind. Im Moment kommt da aber vieles in Bewegung. Und sobald wir damit anfangen, die Emissionen in allen drei Scopes zu messen, können wir das Problem endlich ganzheitlich angehen. Bei Rechenzentren sind das in erster Linie die Gebäude selbst und die Server-Infrastruktur, die ja meist noch alle drei bis fünf Jahre ausgetauscht wird.

66

"Die Scope3-Emissionen sind das eigentliche Problem auf dem Weg zu Klimaneutralität von Rechenzentren, weil sie am schwierigsten zu erkennen und noch schwieriger zu beeinflussen und damit zu reduzieren sind."

Die Gebäude sind dabei ein besonders heikler Punkt, denn dort sind bisher gängige Baumaterialien wie Stahl und Beton besonders kritisch. Sie machen weltweit 14% der CO₂-Emissionen aus. Wenn wir anders bauten und wenn dann noch konsequent die Rechenzentrumswärme genutzt würde, wären wir einen großen Schritt weiter in Richtung Emissions-Neutralität.

Aber auch im Scope2-Bereich gibt es noch großes Effizienz-Potenzial. So sollten Rechenzentrumsbetreiber klar festlegen, welche Betriebstemperaturen in welchen Monaten tatsächlich nötig sind.

Wenn ich es richtig sehe, sind aber gerade die Scope3-Emissionen Ihr großes Thema. Wie kam das?

Das ergab sich einfach aus der Praxis. Bei der Planung eines Rechenzentrumsstandorts, mit der ich beauftragt war, standen große Kapazitäten Windstrom und eine nachhaltige OCP-Serverhardware aus dem Kreislaufprogramm von Facebook zur Verfügung, das Gebäude des Rechenzentrums selbst stach aber negativ heraus. Die angebotenen modularen Rechenzentren waren teuer und nicht auf die Möglichkeiten der Hardware angepasst. Daher konstruierte ich mein Rechenzentrum sozusagen Verbraucher-orientiert.

Wenn Sie sich den Nachhaltigkeitsreport 2020 von Meta, ehemals Facebook, anschauen haben die Scope3-Emissionen im Jahr 2019 einen Anteil von 94% an den Gesamtemissionen des Unternehmens, im Jahr 2020 sind es sogar 99%. Die Scope3-Emissionen sind das eigentliche Problem auf dem Weg zu Klimaneutralität, weil sie am schwierigsten zu erkennen und noch schwieriger zu beeinflussen und damit zu reduzieren sind. Mit emissionsarmen Baustoffen wie Brettschichtholz beim Bau von Rechenzentren sind hier große Einsparungen zu erzielen, ich arbeite in dieser Sache derzeit mit großen Unternehmen zusammen.

Aber es gibt auch bei der Verbesserung der Scope1- und Scope2-Emissionen noch viel zu tun. Oft sind es ganz praktische Herausforderungen.

Welche?

Es gibt eine deutliche Lücke zwischen den Spezifikationen der Server und dem Modus, wie sie in sogenannten modernen Rechenzentren betrieben werden. Nur sehr große Unternehmen wie Facebook, Google, Amazon oder die Deutsche Telekom haben die Skalierungsmöglichkeiten, um gängige Praktiken zu hinterfragen und um einen besser abgestimmten Rechenzentrumsbetrieb zu realisieren, sprich zum Beispiel die Betriebstemperaturen an die Jahreszeit anzupassen. Der deutsche Mittelstand bekommt häufig standardisierte RZ-Lösungen vorgesetzt. Oder er nutzt ein Colocation-Angebot. Letztere sind häufig sehr konservativ, damit sie für alle Kunden passend sind.

66

"Auf dem Weg vom Transformator bis zum Server sind viele Umrichtungs- und Gleichrichtungsschritte notwendig. Die Verluste können sich dabei bis auf 45% summieren. Die Probleme kann man dadurch umgehen, dass man von Anfang an auf Gleichstrom im Rechenzentrum setzt."

> Die von mir konzipierten WoodenData-Center sind dagegen auf höchste Effizienz ausgerichtet, angefangen von der Flüssigkühlung, sehr niedrigen Emissionen durch Holzbau und optimales Design im Bereich der Server-Architektur.

> Sie haben zusammen mit dem rheinland-pfälzischen Supraleitungs-Spezialisten Vision Electric Superconductors

das Open Compute Project "ECO Open Superconducting" (EOS) initiiert, das mit einem Konzept aus Supraleitungs-Gleichstrom, Holz statt Beton und Stahl sowie einem Verdampfungs-Kühlkonzept einen umfassenden Paradigmenwechsel in der Datacenter-Architektur erreichen will. Die emissionsarme Bautechnik haben Sie gerade erläutert. Können Sie auch den Einfluss der anderen beiden Komponenten auf ein klimaneutrales Rechenzentrum beschreiben? Zusammen mit Wolfgang Reiser von Vision Electric Superconductor haben wir dort das EOS-Rechenzentrum in deren "Future Technology"-Initiative eingebracht. Wir haben sehr viel positives Feedback für das Konzept bekommen und das erste Projekt ist gerade in der Planung.

Ich will das Konzept der supraleitenden Gleichstrom-Schiene kurz erläutern. Im Serverbereich ist es ja so, dass alle Komponenten mit Gleichstrom betrieben werden – CPU, Arbeitsspeicher und Festplattenspeicher. Der Strom kommt aus einem Netzteil mit 230 V. Die Transformation von Wechselstrom auf Gleichstrom runter bis zu einer Spannung von 1.5 V ist nicht besonders effizient, besonders im Teillastbereich. Zusätzlich sind auf dem Weg vom Transformator bis zum Server weitere Umrichtungsund Gleichrichtungsschritte notwendig. Die Verluste können sich bis auf 45% summieren.

Nur nebenbei: Im gängigen Messwert "Power Usage Effectivness", abgekürzt PUE, der die Energieeffizienz von Rechenzentren angeben soll, werden diese Verluste häufig überhaupt nicht erfasst.

Die Probleme kann man umgehen, wenn man von Anfang an auf Gleichstrom im Rechenzentrum setzt. Dies wird häufig als nicht praktikabel angesehen, weil in Gleichstromleitungen die Verluste zu hoch sind. Hier kommen die supraleitenden Stromschienen ins Spiel. Damit können große Ströme bei niedrigen Spannungen verlustfrei durch das Rechenzentrum bis sehr nah an den Server herangeführt werden. Dadurch werden Komponenten, Material und Energie eingespart.

66

"Das Spannende ist, dass wir mit den Gleichstrom-Komponenten aus der Marine-Welt Stromversorgungen bauen können, die sicherer und verfügbarer sind als mit Wechselstrom-Komponenten."

> Wie sehen Sie die Chancen für den umfassenden Einsatz von Gleichstrom in Rechenzentren? Derzeit fehlt es ja vor allem noch an standardisierten, halbwegs preisgünstigen Bauteilen?

> Wir arbeiten konkret an mehreren Projekten, die supraleitende Gleichstromversorgung im Rechenzentrum umsetzen wollen beziehungsweise müssen, um sowohl ihre Effizienz als auch ihre sonstigen Emissionen zu verbessern. Interessanterweise können wir bei der Beschaffung von geeigneten Gleichstrom-Komponenten auf Einsatzgebiete aus der Seefahrt im weiteren Sinn, also große Schiffe, aber auch Ölbohrplattformen, zurückgreifen, die ebenfalls

eine 2N-Versorgung, analog wie im Rechenzentrum, umsetzen. Auch dort sind Effizienz-Fragen der primäre Treiber. Das Spannende ist, dass wir mit den Gleichstrom-Komponenten aus der Marine-Welt Stromversorgungen bauen können, die sicherer und verfügbarer sind als mit Wechselstrom-Komponenten. Sie werden sehen: Sobald das erste supraleitende Rechenzentrum steht, ist es so wie mit dem ersten Tesla. Niemand kann dann mehr verstehen, warum man glauben konnte, dass E-Autos beziehungsweise Rechenzentren mit Gleichstrom-Suprastrom-Schienen nicht flächendeckend eingesetzt werden können.

Wenn ich richtig recherchiert habe, spielt im Zusammenhang mit der Suprastrom-Schiene auch ein neues Medium im Kühlbereich eine wichtige Rolle...

Das ist richtig. Wir haben uns bei der Kühlung für die Cloudcooler-Systeme von EcoCooling entschieden, dort liegen internationale Patente vor, um mit flüssigem Stickstoff bei -200 °C im Bedarfsfall die IT zu kühlen. Dies ist besonders interessant an Standorten, die nur wenige Tage im Jahr stundenweise hohe Temperaturen aufweisen. Außerdem können die Systeme von EcoCooling mit dem Flüssig-Stickstoff im Brandfall auch den Sauerstofflevel absenken und so Brände in einem frühen Stadium verhindern.

Abgesehen von diesem neuen Medium. Es gibt Zahlen, dass 90 Prozent der IT heute noch luftgekühlt ist? Wieso nutzt man ein solches Medium, obwohl zum Beispiel Wasser eine 4000mal höhere Wärmekapazität hat?

Und wieso kühlt man in Deutschland nicht mit Flusswasser statt mit mechanisch erzeugter Kälteenergie, die dann die Wärme an die Umgebungsluft abgibt. Welches CO₂-Einsparpotenzial sehen Sie, wenn man hier Änderungen durchsetzen könnte?

Zum ersten Teil Ihrer Frage: Ich glaube Wasser hat historisch einen schlechten Ruf aus der Zeit der Mainframes. Mittlerweile hat sich die Kühltechnik als Infrastruktur weiterentwickelt, und Flüssigkühlung ist angesichts der steigenden Wärmeabfuhr-Kapazität der Chipsets für CPU und GPU alternativlos, da die Wärme sonst nicht mehr ideal abgeführt werden kann. Gerade im High-Performance-Computing findet daher ein Umdenken statt, das auch bald an anderer Stelle spürbar sein wird.

66

"Wenn man für sein Rechenzentrum ein Kältemittel benötigt, hat man schon falsch geplant."

Zum zweiten Teil Ihrer Frage: Das kann ich mir nicht erklären. Kälte künstlich zu erzeugen, ist immer aufwendig. Wenn man dies durch eine Grundwasser- oder Flusskühlung vermeiden kann, halte ich das für eine kluge Strategie. Allerdings kann man gerade im Sommer nicht beliebig Wärme in fließende oder stehende Gewässer pumpen, dies stört deren Ökosysteme. Das Einsparpoten-

zial durch Flüssigkühlungslösungen ist jedenfalls enorm. Dazu tragen besonders drei Punkte bei:

Mit Flüssigkühlungen kann ich sehr hohe Temperaturen im Medium Wasser erreichen, zwischen 50 und 70 Grad sind hier möglich. Diese hohen Temperaturen kann ich an jedem beliebigen Standort auf der Welt ohne künstliche Kälte mit einfachen Trockenrückkühlern in die Umgebungsluft herunter kühlen. Durch einfachere Trockenrückkühler erhält man als Betreiber zwei Vorteile. Diese sind deutlich günstiger als Klimageräte, bis zu 10mal kostengünstiger. Außerdem benötigt man weniger Komponenten, spart also Scope3-Emissionen ein, benötigt keine klimaschädlichen Kältemittel und deutlich weniger Wartung. Dies führt zu bestmöglicher Effizienz und das bei sehr guten Anschaffungs- und Betriebskosten.

Flüssigkühlungen machen Wärmerückgewinnung attraktiv. Durch das hohe Temperaturniveau im Wasser kann man die Wärme des Rechenzentrums besser transportieren, transferieren und nutzen.

Kann man ein halbwegs emissionsarmes Rechenzentrum nicht von vornherein vergessen, wenn man Treibhausgas-intensive Kältemittel einsetzt? So hat das durchaus gängige Kältemittel R134a einen um 1430mal so großen Treibhauseffekt wir CO₂.

Wenn man für sein Rechenzentrum ein Kältemittel benötigt, hat man schon falsch geplant. Für kleine Leistungen gibt es Lösungen, die mit Wasser als Kältemittel funktionieren, wir haben das

vor ein paar Jahren bei Windcloud gemacht. Und große Leistungen werden
nicht in Deutschland stehen, solange wir
so hohe Stromkosten in Deutschland
haben. Wenn man aber für Deutschland
große Rechenzentren plant, sollte man
entweder direkt mit Flüssigkühlungen
planen oder je nach Standort auf hohe
Betriebstemperaturen im Sommer setzen. Diese Vorgaben kollidieren aber
natürlich mit der Geschäftspraxis großer Colocation-Anbieter.

Sollten beziehungsweise können auch die Zwecke eines bestimmten Rechenzentrums in die Klimarechnung eingehen? Wenn dieses beispielsweise Geschäftsreisen in großem Maßstab einspart, weil es digitale Konferenzen ermöglicht. Oder wie beurteilt man ein Rechenzentrum, das Strom aus erneuerbaren Energien benutzt und an einem norwegischen Fjord gekühlt wird, aber mit riesigem Energiebedarf Kryptowährungen "schürft"?

Kann man für solche teils gegenläufigen Parameter überhaupt eine standardisierte Messlatte finden?

Der Zweck heiligt in diesem Fall nicht unbedingt die Mittel, gerade bei digitalen Features wie beispielsweise Videokonferenzen oder Streaming schlägt der Rebound-Effekt gnadenlos zu. Krypto-Mining beispielsweise kann bei proofof-work niemals grün sein. Man muss sich daher die Lebenszyklusanalyse für seine Produkte ansehen. Nur dann, wenn man die Gesamtheit der Umweltwirkungen seines Produkts über Produktion, Nutzung und Entsorgung kennt, kann man anfangen, vernünftige Entschei-

dungen und Einsparungen vorzunehmen.

Sie haben schon den häufig benutzten Parameter "Power Usage Effectiveness" alias PUE erwähnt. Ganz generell gefragt: Hat ein Parameter wie PUE überhaupt einen Wert für die Klimaneutralität? Oder besser: Wird PUE nicht nach Belieben verfälscht? Letztlich ist doch nur ein Jahres-Durchschnitt-PUE des Wirkstroms überhaupt aussagekräftig?

Der PUE hat keinen Wert für die Klimaneutralität. Abgesehen davon, dass er zu viel Unschärfe durch Komponenten wie Lüfter und Netzteile enthält, wie ich vorhin schon angedeutet habe, optimiert er nur einen kleinen Teil der Scope2-Emissionen und liefert damit nur einen Beitrag höchstens im einstelligen Prozentbereich in Richtung Klimaneutralität. Die wirklichen Hebel lassen sich bei der Gebäude- und IT-Infrastruktur lokalisieren.

Wie steht es mit der Nutzung der Abwärme für Heizung, Stromerzeugung etc.? Wie umgeht man das Problem, dass die Abwärme nicht genügend hohe Vorlauftemperatur erzeugt: Wärmepumpe? Umstellung auf Flächenintegrierte Heizsysteme (statt Hochtemperatur-Konvektionsheizung), die auch mit einer Vorlauftemperatur zwischen 18 °C und max. 35 °C auskommen?

Ein wichtiger Schritt ist da die Flüssigkühlung, wie ich schon angedeutet habe. Hocheffiziente Wärmepumpen sind eine Alternative, idealerweise lässt man

höhere Temperaturen im Rechenzentrum zu und senkt sie in den Wärmenetzen. In Deutschland laufen Wärmenetze häufig noch mit 125 °C, in deutlich kälteren Ländern wie Schweden laufen sie häufig mit 80 °C oder weniger, um mehr Prozesswärme einbinden zu können.

Die von Ihnen angesprochenen Flächenintegrierten Heizsysteme können auch eine wichtige Stütze sein. Herr Rabe, können Sie das klimaneutrale Rechenzentrum in einem Satz zusammenfassen?

Rechenzentren sollten aus nachwachsenden Rohstoffen gebaut, mit erneuerbarer Energie betrieben und mit recycelten Servern bestückt und mit Wärmerückgewinnung kombiniert werden. Auch dann ist man nicht hundertprozentig klimaneutral, aber man ist ein ganzes Stück auf dem Weg dorthin weiter.



"Mittlerweile sehe ich Verschmutzungs-Zertifikate sehr kritisch, da der Kunde eigentlich nie weiß, ob er abgeschriebene skandinavische Wasserkraft bekommt oder wirklich dafür errichtete erneuerbare Energien."

> Noch eine ganz andere Frage: Sollte eine Energiebilanz für ein Rechenzentrum, die mit gekauften Verschmutzungsrechten hantiert, überhaupt zulässig sein? Ist das besser als nichts oder nur grüne Augenwischerei?

> Mittlerweile sehe ich Zertifikate sehr kritisch, da der Kunde eigentlich nie weiß, ob er abgeschriebene skandinavische Wasserkraft bekommt oder wirklich dafür errichtete erneuerbare Energien. Der Gesetzgeber unterscheidet hier nicht. Faktisch wird durch den Zertifikate-Handel nicht eine einzige fossile Kilowattstunde eingespart. Oder anders: Der Preis für die Zertifikate deckt noch nicht die wirklichen Kosten und ist damit nicht genug Anreiz. Ich befürchte, dass nur eine CO₂-Steuer die gewünschten Effekte erzeugen wird.

