


Digitalisierung und Nachhaltigkeit – kein Widerspruch

Energieeffiziente Rechner wie die von Volker Lindenstruth und seinem Team helfen, den wachsenden Datenhunger wirksamer zu stillen



Der Kaffee aus dem elektronischen Kaffeeautomaten, die Online-Ausgabe der Tageszeitung, das Navi zur Verkehrssituation: Unser Tag startet digital, und digital geht er weiter. Das alles braucht Energie, viel Energie. Aber wissen wir auch, wie viel?

Allein in Deutschland wird durch die Internetnutzung jedes Jahr so viel CO₂ freigesetzt wie durch den gesamten Flugverkehr. Doch wie kann es gelingen, dass die Möglichkeiten der IT genutzt und gleichzeitig die Ressourcen der Umwelt sparsam eingesetzt werden? Dazu hat der Frankfurter Physiker Prof. Volker Lindenstruth eine beeindruckende und richtungweisende Technologie entwickelt.

Seit 2009 arbeitet Lindenstruth als Professor für Hochleistungsrechnerarchitektur an der Goethe-Universität. Die Herausforderung, für das Forschungsnetz der Universität einen Hochleistungsrechner zu bauen, schnell und leistungsstark, gleichzeitig kostengünstig und energieeffizient, hat er mit ungewöhnlichen Ideen, Kreativität und Selbstbewusstsein gemeistert. 2010 wurde der von ihm entwickelte Superrechner Loewe-CSC, Standort Industriepark Höchst, als damals energieeffizientester Rechner Europas in Betrieb genommen, 2016 der Green IT Cube für die GSI in Darmstadt, 2017 der GOETHE-HR – als Nachfolger des Loewe-CSC. Zugrunde liegt ein innovatives Konstruktions-

prinzip, das hohe Energieeinsparungen mit starker Leistungsfähigkeit paart. Im Februar 2020 haben Lindenstruth und sein Team für das Gesamtkonzept einer energieeffizienten Kühlstruktur von Großrechenzentren ein europäisches Patent erhalten. Damit kann dieses Konzept nun weltweit ökonomisch verwertet werden.

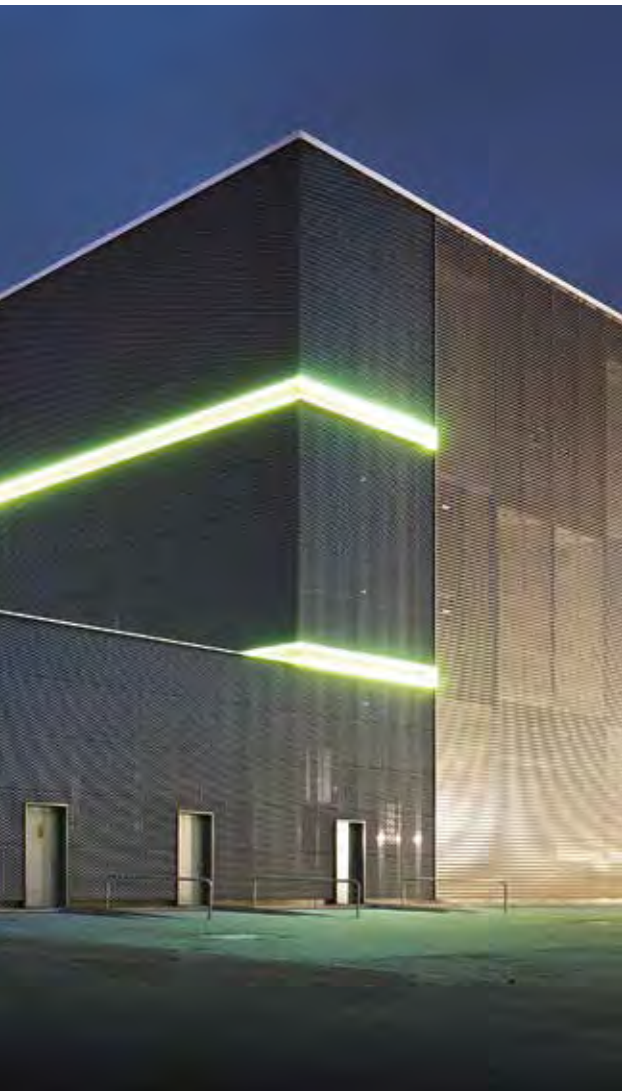
Riesige Zukunftschancen durch Digitalisierung

Die Entwicklung der vergangenen Jahre hat gezeigt: Die Digitalisierung bietet riesige Chancen für die Zukunft, global und für jeden Einzelnen. Wirtschaft, Gesellschaft und Umweltschutz können davon profitieren. Hochleistungsrechner (Supercomputer) liefern Berechnungen, Sicherheit und Voraussagen in unermesslich vielen Bereichen, wie z. B.

- in der Automobilindustrie für eine hoch entwickelte Technologie zur Wirtschaftlichkeit und Sicherheit des Fahrens,
- in der Medizin zur Voraussage von Krankheiten und Beurteilung ihres Verlaufs (siehe Forschung Frankfurt 2/2019 »Vorbeugen ist besser als heilen«),
- in der Meteorologie mit langfristigen Prognosen für Wirtschaft, Medizin und Politik zur ökonomischen Planung – für Landwirte bei der Bewirtschaftung von Ackerland, für Versicherungsgesellschaften bei der Anpassung von Prämien an die Wahrscheinlichkeit von außergewöhnlichen Wetterlagen, aber auch für Krankenhäuser in der Notfallplanung bei extremen Wettersituationen,
- für Nachhaltigkeit und Klimaschutz mit Computersimulationen zur Zukunft von Elektroautos und autonomem Fahren.

In Zukunft werden immer größere Datenmengen von Bodenstationen, Schiffen, Flugzeugen oder Satelliten mithilfe von Rechnern erfasst werden, immer mehr Daten werden gespeichert, durchsucht, verteilt und visualisiert. Das weltweite Datenvolumen wird weiter wachsen. Mit 40 Zettabytes liegt es 2020 schon 50-mal höher als 2017. (Siehe auch Infobox; zum Vergleich: Die maximale Speicherkapazität des menschlichen Gehirns beträgt in digitaler Einheit etwa 2,5 Petabytes, wobei ein Petabyte eine 1 mit 15 Nullen ist.). Es ergeben sich immer höhere Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Rechner und Prozessoren, die Geschwindigkeit beim Zugriff auf die Daten und ihre Verarbeitung im laufenden Prozess. Aber auch auf privaten Computern, Smartphones, Tablets, externen Festplatten und in der Cloud werden immer mehr Daten zu bewältigen sein.

Green IT Cube,
Rechenzentrum des
GSI Helmholtzzentrums für
Schwerionenforschung
in Darmstadt.



Was ist ...?

Hardware

der »Körper« des Computers, kann nur durch Umbau verändert werden. Zur Hardware gehören:

- **Prozessor oder CPU (Central Processing Unit), Herzstück:** Recheneinheit, die zugewiesene Aufgaben bzw. Rechenoperationen ausführt
- **Rechenkern:** kleinste Recheneinheit eines Prozessors
- **Grafikkarte, der »Dolmetscher«:** Umsetzung der Rechenoperationen in Bilder, Grafiken oder Zeichen
 - CPU-abhängig, setzt die vom Prozessor berechneten Daten um
 - GPU (Graphics Processing Unit)-abhängig, berechnet die Daten unabhängig von CPU, arbeitet schneller



Grafikkarte mit einem Ventilator zur Kühlung.

Software, Programm, »Gehirn« des Computers

verantwortlich für den Systembetrieb, die Informationsverarbeitung und alle damit erzeugte Daten, veränderbar z. B. durch Updates, Beispiel: Navigationssystem im Auto

Server, wörtlich übersetzt: Diener

ein großes Datacenter oder Netzwerk aus Daten, liefert dem »Kunden«/ dem Client, also dem Computer (Laptop, Notebook, Smartphone), angeforderte Daten

Rechenzentrum

zentralisierte Lagerstätte für die Speicherung, Verwaltung und Verarbeitung von Daten und Informationen in Servern rund um einen bestimmten Wissensbereich organisiert oder einem bestimmten Unternehmen zugehörig

Supercomputer – Giganten unter den Rechnern

höchstmögliche Rechenleistung, nur schwer vorstellbar »in einer anderen Liga« Leistungsfähigkeit wird in FLOP angegeben: Berechnungen pro Sekunde, Beispiel: Green IT Cube Darmstadt: nahe 100 PetaFLOPS bei voller Auslastung ein PetaFLOP bedeutet eine Billion (= 1 000 000 000 000 000 = 10 hoch 15!) Rechenoperationen pro Minute! 25 000 bis 50 000-mal schneller als ein »normaler« Computer

Internetknoten = Hauptbahnhof/Bahnhof des Internets

Zusammenschluss der unterschiedlichen Netzwerke oder Server an zentralen Knotenpunkten, Datenaustausch zwischen den verschiedenen Netzwerken

Zu diesem Zweck werden überall auf der Welt Rechenzentren entwickelt und gebaut. Darin plaziert ist die zentrale Rechentechnik sowie die dazu notwendige Infrastruktur eines oder mehrerer Unternehmen. Server empfangen oder versenden auf Anforderung Daten zur Bearbeitung. Nach einem organisierten Ablaufplan werden die zur Verfügung stehenden IT-Ressourcen zugeteilt und im Idealfall voll ausgelastet. So ist der gleichzeitige Zugriff auf mehrere Dateneinheiten dieser Server möglich. Zur Dimension: Das Rechenzentrum von Facebook besteht nach Schätzungen von Experten aus 30 000 Computern.

Corona-Krise: Hochzeit für Digitalisierung

Jüngstes Beispiel der Netzwerk-Nutzung ist die Corona-Krise: Hier werden Netzwerke genutzt, um den Infektionsverlauf weltweit zu verfolgen. Mit dem Supercomputer der Universität Mainz wurden Simulationen mit rund 42 000 in öffentlichen Datenbanken aufgeführten Substanzen durchgeführt, die das Eindringen des Virus in den menschlichen Körper oder dessen Vermehrung hemmen könnten. Als Folge der von den Regierungen verordneten Kontaktbeschränkungen nahmen die digitalen Formen des Austauschs und der Freizeitbeschäftigung vehement zu. So meldete der zentrale deutsche Internetknoten DE-CIX in Frankfurt, weltweit der größte Austauschpunkt für den Datenverkehr des Internets, einen Anstieg der Videokonferenzrate um 50 Prozent und des Online- und Cloud-Gamings um 25 Prozent.

Die TOP500 ist eine Liste der leistungsfähigsten Computer der Welt, zusammengestellt seit 1993 von vier Experten der Universitäten Tennessee und Mannheim. Auf Platz 1 findet sich darin der Hochleistungsrechner Summit des OAK Ridge National Laboratory in Tennessee, USA, mit einer Leistung von 148 PetaFlops. Sein Einsatzgebiet sind verschiedene Forschungsbereiche, wie die Entwicklung neuer Energiequellen, Technologien und Material. Der Energieverbrauch beträgt 10,096 Megawatt. Pro Minute werden mehr als 20 Kubikmeter Wasser zur Kühlung benötigt. Der Rechner Hawk der Universität Stuttgart rangiert auf Platz 5. Er führt Berechnungen für komplexe Simulationen in Industrie und Wissenschaft durch, z. B. zur Form von Windrad-Rotorblättern oder Tragflächen von Flugzeugen. Der Stromverbrauch beträgt 4 Megawatt, zur Kühlung werden etwa 8 Kubikmeter Wasser verwendet.

Wachsender Stromverbrauch durch Digitalisierung

Wissenschaftler gehen davon aus, dass im Jahr 2030 bereits 13 Prozent des weltweiten Stromverbrauchs durch Rechenzentren verursacht werden. Die Stadt Frankfurt, ein äußerst wich-



Weltumspannende Internetknoten, Zentren zur Organisation der Datenkommunikation.



Einblick in einen Teil der 768 Computerschränke der GSI, auf grünen Stahlträgern ruhend.



Zur Person

Volker Lindenstruth hat an der Technischen Universität Darmstadt Physik studiert. Von 1989 bis 1993 forschte er am Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt, an der Goethe-Universität Frankfurt wurde er promoviert. Im Rahmen eines Forschungsstipendiums ging er als Postdoc für Informatik für zwei Jahre an das Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory nach Berkeley in den USA. Von 1995 bis 1997 gehörte er dem UC Space Science Laboratory, USA, an, bevor er 1997 iCore Technologies gründete. Seit 1998 ist Prof. Lindenstruth wieder in Deutschland. Bis 2009 leitete er den Lehrstuhl für Technische Informatik der Universität Heidelberg und war Direktor für das Kirchhoff-Institut. Seit 2009 ist er Professor für Hochleistungsrechnerarchitektur der Goethe-Universität. Der Lehrstuhl konzentriert sich auf Architektur, Anwendung und Weiterentwicklung von Hochleistungsrechnern in den Natur- und Lebenswissenschaften. Am Europäischen Forschungszentrum CERN bei Genf hat er eine intelligente Auslesetechnik für die Daten des ALICE-Experiments entwickelt. Außerdem ist er Mitglied im Vorstand des Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS) an der Goethe-Universität.

voli@fias.uni-frankfurt.de

tiger Austauschpunkt (»Netzknotten«) für den Datenverkehr des Internets, verbraucht bereits jetzt 20 Prozent des gesamten lokalen Stroms für Rechenzentren.

Das Berliner Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit in der Zukunft hat zum CO₂-Ausstoß ermittelt: Beim Versenden von einer Milliarde E-Mails pro Tag in Deutschland werden 1 000 Tonnen Kohlenstoffdioxid gebildet, ein Gramm pro E-Mail. Eine Stunde Video-Streaming produziert so viel CO₂ wie ein Kilometer Autofahren. Die Suchmaschine Google bewältigt weltweit täglich etwa 5,6 Milliarden

Suchanfragen, nach Auskunft von Google pro Suchanfrage ein Strombedarf von 0,3 Wattstunden, besser vorstellbar: Mit 200 Suchanfragen könnte man ein Hemd bügeln.

Nach Ansicht von Prof. Lindenstruth sind dieser immense Energieverbrauch und auch die Kostenintensität der Geräte nicht allein auf die Nutzung zurückzuführen. Beides ließe sich seiner Ansicht nach bereits beim Bau dieser Geräte positiv beeinflussen. Lindenstruths innovatives Konzept für eine effektive Computerarchitektur und Architektur der Rechenzentren zusammen mit der Entwicklung eines leistungsstarken,

Eines der weltweit größten Rechenzentren des Google-Konzerns im Douglas County (US-Bundesstaat Georgia), nicht weit entfernt von Atlanta.



Mit welchen Einheiten arbeiten Hochleistungsrechner?

Bit: eine Binärziffer oder ein Maß für Informationsgehalt oder Datenmenge: alphanumerisches Zeichen (0, 1 ..., A, B ...)

Byte (B): Maßeinheit der Digitaltechnik und der Informatik
1 Byte = 8 Bit

1 Kilobyte (KB) = 10^3 B (ca. eine Viertel Druckseite)

1 Megabyte (MB) = 1 000 000 Byte (500 Textseiten, zum Vergleich: dauerhaft gespeicherte Informationseinheiten im Gehirn eines 60-jährigen Menschen: 150 bis 225 MB)

1 Gigabyte (GB) = 10^9 Byte (Speicherkapazität von USB-Sticks bis 64 GB)

1 Terabyte (TB) = 10^{12} B (aktuelle max. Speicherkapazität externer Festplatten 16 TB)

1 Petabyte (PB) = 10^{15} B (Gedächtnisinhalt aller heute lebenden 6 Milliarden Menschen etwa 1350 Petabytes, Stand 1990er Jahre)

1 Exabyte (EB) = 10^{18} B (Kunden im Mobilfunknetz von O₂ haben im Jahr 2019 erstmals mehr als ein Exabyte Traffic verursacht – das sind mehr als 1 Milliarde Gigabyte)

1 Zettabyte (ZB) = 10^{21} B (angeblich speichert die NSA Datenmengen von mehreren Zettabyte)

energieeffizienten und kostengünstigen Hochleistungsrechners setzt sich aus verschiedenen Ansätzen zusammen:

- Bestehende Rechenzentren beurteilt er kritisch hinsichtlich Energieeffizienz, Nutzungsgrad, Architektur und Anordnung der vielen Rechner. Die Software-basierten Server müssen nutzungsbedingt Tag und Nacht laufen, bei einer Kapazitätsauslastung von oft nur bis zu 25 Prozent. Allein die

Rechenzentren in Europa und USA weisen einen Energieverbrauch von 40 Gigawatt pro Jahr auf. »40 Gigawatt entsprechen etwa der Hälfte des gesamten deutschen Stromverbrauches, der bei ca. 70 GW liegt. Insgesamt könnten weltweit 10 GW gespart werden«, sagt Lindenstruth.

- Er führt weiter aus, dass aufgrund von schlecht geschriebener oder nicht mehr aktueller Software viele Computer im unteren Bereich der Leistungsfähigkeit arbeiteten, mit hohem Energieverbrauch und geringer Leistungsgeschwindigkeit, und vergleicht dies mit einem Auto, das nur im ersten Gang fahre. Die nicht genutzte Kapazität der Rechner gehe als Wärme verloren. Eine Steigerung der Leistungsfähigkeit der Software um den Faktor 100 bis 1 000 könne durch eine Überarbeitung der Algorithmen erreicht werden.
- Grafikkarten sind für die Arbeit des Computers notwendige Rechenwerke. Heute haben alle Grafikkarten ihren eigenen Speicher. Die normal installierten internen GPUs sind aber nicht superschnell. Außerdem ist die Bildauflösung nicht sehr hoch. Prof. Lindenstruth bevorzugt stattdessen für PC-Spiele entwickelte GPU-Grafikkarten, die vom Prozessor des Computers unabhängig arbeiten. Die Idee, sie als selbstständig arbeitende Grafikkarten in den Computer einzubauen, habe sich als wegweisend und hocheffizient erwiesen. Sie seien besonders leistungsfähig mit schneller Rechenleistung, weil die einzelnen Rechenleistungen nicht

mit anderen in Wechselwirkung treten und parallel laufende Algorithmen so den Rechenvorgang beschleunigen. Zudem wird die Rechenleistung im eigenen GPU-Prozessor erbracht. Die Kosten für diese Grafikkarten sind überschaubar, da sie durch die gestiegene Nachfrage in hoher Stückzahl kostengünstig hergestellt werden. Für den ersten Supercomputer Loewe-CSC wurden 800 solcher Grafikkarten verbaut. Am CERN, der Europäischen Organisation für Kernforschung, hat Lindenstruth durch den Einsatz von Grafikkarten im Wert von 500 Euro pro Stück die Rechenleistung des zwei Millionen teuren Computers verdreifacht.

- Den größten Handlungsbedarf sieht Prof. Lindenstruth bei der Kühlung der Rechner. Ob Desktop-PC oder Hochleistungsrechner, die Prozessoren geben bei der Arbeit Wärme ab. Die Kühlung erfolgt bisher durch das An- und Absaugen von Luft, die durch einen im Rechner eingebauten Lüfter wieder an die Außenluft abgegeben wird. Dadurch steigt die Raumtemperatur, bei Räumen mit Supercomputern teilweise auf mehr als 50 Grad Celsius. Außerdem benötigt der Lüfter selbst etwa 5 Prozent der Energie, die der Prozessor selbst braucht.

Das von Prof. Lindenstruth entwickelte, im Februar 2020 patentierte Kühlsystem beruht auf einem einfachen Trick: Eine Kaltwasserkühlung wird mithilfe eines Wärmetauschers in die Rücktür des Racks eingebaut, in der sich die Computer befinden. Die heiße Abluft des Systems wird auf das Wasser übertragen und somit abgekühlt. Das erwärmte Wasser wird nach dem Prinzip einer Kältemaschine abgekühlt. »Wenn man im Sommer schwitzt, das Wasser auf der Haut verdampft, beginnen wir zu frösteln«, beschreibt Prof. Lindenstruth sein Konzept. Die Raumtemperatur eines Rechenzentrums kann durch dieses Kühlsystem konstant gehalten werden. Die Server-Abwärme kann zum Beheizen anderer Räume genutzt oder über Fernwärmenetze nutzbringend verteilt werden.

»Green IT Cube« als Wegweiser zu mehr Energieeffizienz

Das ehrgeizige Ziel, einen Supercomputer mit diesen Vorgaben zu bauen, konnte Prof. Lindenstruth mit dem »Green IT Cube« realisieren. Dieses Rechenzentrum wurde im Januar 2016 in Darmstadt am GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung fertiggestellt. In dem »Kubus« mit den Abmessungen 27 m x 30 m x 22 m stehen Stapelregale, in denen 768 Rechner-schränke auf sechs Stockwerken angeordnet werden können. Der dreidimensionale Aufbau,

nebeneinander und übereinander, ist zehnmal kompakter als herkömmliche Bauweisen. Die Verbindungen, d.h. die Kabellängen zwischen den Schaltkreisen, sind also kürzer, die Signalweitergabe erfolgt schneller, was Experimente oder Simulationen in außergewöhnlicher Intensität und Qualität möglich macht, insgesamt eine umweltfreundliche Architektur.

300 000 Rechenkerne (1 Prozessor beinhaltet mehrere Recheneinheiten = Rechenkerne) sind geplant, ein Speicherplatz von insgesamt bis zu 100 Petabyte, das entspricht 1 Million Festplatten herkömmlicher Computer. Die Datenübertragungsrate der experimentellen Rechenvorgänge beträgt ein Terabyte pro Sekunde, das entspricht rund 500 000 privaten DSL-Anschlüssen. Die von Prof. Lindenstruth entwickelte Kaltwasserkühlung in den Rücktüren der Rechnerschränke benötigt 12 Megawatt der Gesamtleistung und weniger als 7 Prozent der gesamten benötigten Energie des Rechenzentrums, gegenüber 30 Prozent bei anderen Kühlsystemen. Somit ist der Green IT Cube ein wichtiger Schritt in Richtung nachhaltige Digitalisierung.

Ohne Zweifel: Unsere Zukunft ist digital

Sie eröffnet neue Möglichkeiten, den rasanten wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und – kein Widerspruch – klimatischen Wandel planbarer zu machen und erfolgreich zu gestalten.

Der nicht vermeidbare Mehrverbrauch an Energie darf dem Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen nicht entgegenstehen. Die Forschungsarbeiten von Lindenstruth und seinem Team und vielen anderen Forschergruppen auf dem Gebiet Green IT, der grünen Internettechnologie, sind vielversprechend. Nachhaltige Technologie trägt zum Schutz des Klimas und der natürlichen Ressourcen bei. Jeder Einzelne kann »digital nachhaltig« handeln. Digitalisierung und Nachhaltigkeit müssen somit kein Widerspruch sein. ●



Die Autorin

Regina Kremer, Jahrgang 1956, hat an der Justus-Liebig-Universität Gießen Biologie und Chemie für das Lehramt an Gymnasien studiert. Sie unterrichtet an einer Oberstufenschule in Rodgau im Landkreis Offenbach. Als Oberstudienrätin ist ihr der Kontakt zu den nahen Universitäten wichtig. So organisiert sie regelmäßig für ihre Schüler die Teilnahme an naturwissenschaftlichen Projekten der Universitäten in Frankfurt, Mainz und Darmstadt. Ihr Engagement gilt außerdem der Einbindung der IT in Schule und Unterricht, immer auch in Hinblick auf Umwelt und Nachhaltigkeit.

regikremer1@t-online.de