

KRITIK

Digitalkolumne

Supercomputer – an der Grenze der Berechenbarkeit

Von David Gugerli

Als Texas Instruments 1972 für die Universität Princeton einen neuen Rechner baute, kam die *New York Times* nicht mehr aus dem Staunen heraus. Dieser Computer werde zehnmal so stark sein wie der bis dahin stärkste Computer. Er brauche beim Rechnen eine Größenordnung weniger Zeit als jeder andere Computer. Umfangreiche Wetterprognosen ließen sich mit dieser Maschine fertig rechnen, bevor das Wetter eintraf. Und da man in Princeton so viel Wetter im Voraus berechnen wollte, dass sich gleich der langfristige Wandel des globalen Klimas prognostizieren ließ, brauchte man nichts weniger als eine Maschine, mit der die Grenze der Berechenbarkeit verschoben werden konnte.

Der für Princeton gebaute Computer galt als die bis dato teuerste Maschine. Es wurden Anschaffungs- und Betriebskosten zwischen 18 und 25 Millionen Dollar erwartet. Die Maschine der Superlative werde, so erklärte man der *New York Times*, »in ihren Schaltkreisen« eine »beschleunigte Version des Wetters« durchspielen, basierend auf einem »mathematischen Modell der verschiedenen Kräfte, die das globale Wetter simulieren«. Ein Weltwettertag lasse sich mit dem neuen Computer auf neun Minuten Rechenzeit

reduzieren. Wenn die Maschine rund zwei Monate lang arbeite, dann könne man damit ein ganzes globales Wetterjahr voraussagen.

Die Wissenschaftler in Princeton hatten Mühe, den völlig faszinierten Journalisten aus New York im Laufe des Treffens wieder zum freien Atmen zu bringen. Manche ihrer relativierenden Erklärungen scheint er zwar irgendwie mitgeschnitten zu haben. Zum Beispiel das Problem, dass sich die Fehler in den Ausgangsdaten mit zunehmender Laufzeit der Simulation verstärkten. Solche Einschränkungen wurden dann jedoch in den hintersten Teil des Artikels verschoben – für journalistische Zwecke und für das Vergnügen der Leserschaft waren die mathematischen Probleme der Meteorologie nebensächlich. Schließlich ging es hier nicht um sphärische Netzwerke, sondern um den schnellsten aller schnellen Rechner, also um einen »Supercomputer«. Es ging um riesige Datenmengen, komplexe Modelle, dramatisch beschleunigte Simulationen über den möglichen Verlauf der Welt, und eben um sehr viel Geld.

Die *New York Times* versammelte in ihrem Artikel einige der Merkmale eines technowissenschaftlichen Diskurses, der sich über mindestens vier Jahrzehnte stabil hielt. Er änderte sich auch nicht, als der Einsatz von Supercomputern ganz operativ als »high performance computing« bezeichnet wurde. Bis heute stehen die enorme Leistungsfähigkeit der Maschinen und die komplexitätsverrückten Fragestellungen ihrer Wissenschaftler im

Zentrum des Diskurses. Wenn es um die Grenze der Berechenbarkeit geht, müssen noch immer Superlative erhalten. Ein »Summit« genannter Supercomputer im Oak Ridge National Laboratory war im Juni 2018 »der schnellste Rechner der Welt«, der »seine präzedenzlose Kapazität« für die »größten Probleme der Wissenschaft« zur Verfügung stellt. 2021 soll er von einem »Frontier« genannten System abgelöst werden.

Mit der rhetorischen Verbindung von leistungsstarkem Computing und Ausweitungen der Berechenbarkeit ist nicht zu spaßen. Auf der Website eines Kollegen, dessen Simulationen die schnellsten Rechner der Welt zum Schwitzen bringen, heißt es etwa: Die Rechenleistung sei »essentiell für den Fortschritt der Menschheit«. Für die Grenzen der Berechenbarkeit aber ist entscheidend, was dieser Grundsatz ausblendet: die Frage, wie sich Spitzenleistung herstellen lässt, wie man sie betrieblich sichert und wofür sie sich politisch inszenieren lässt.¹

Die Exklusivität der Top 500

Je mehr Supercomputer weltweit betrieben wurden, desto »normaler« wurde High Performance Computing. Mitte der 1980er Jahre verzeichnete man einen Anschaffungsboom von Spitzenrechnern. Während High Performance Computing in den USA sukzessive in die Universitäten einzog (und man es nicht mehr bloß in den Rechenzentren der Energie-, Vertei-

¹ Ich danke Ricky Wichum für viele Stunden intensiver Diskussionen und gemeinsamer Lektüren über High Performance Computing.

digungs- und Raumfahrtbehörden fand), wurde in Deutschland gerade umgekehrt universitäres Hochleistungsrechnen in spezialisierte Einrichtungen ausgelagert. Die alten Rechenzentren wurden nun für einfachere Aufgaben, für die Lehre und für das administrative beziehungsweise kommunikative Rechnen an der Hochschule eingesetzt.

Inzwischen offerierten Vektor- oder Multiprozessorrechner ganz neue Erweiterungsmöglichkeiten der Rechenkapazität. Neben den großen Verschiebungsaktionen an den Campusgrenzen galt es darum auch die ersten Ersatzbeschaffungen vorzunehmen. Computer altern bekanntlich schnell und werden dabei nicht leistungsfähiger. Einstige Distinktionseffekte hielten nur wenige Jahre, und für neue brauchte es unter Umständen auch einen Herstellerwechsel. Das erhöhte den Beurteilungsdruck, erschwerte die Technikevaluation und machte den virtuosen Umgang mit Pfadabhängigkeiten notwendig. Selbst ein erfolgreicher Rennbolide wie der Cray 1 war nach wenigen Jahren kaum mehr als zukunftsfähiger Supercomputer anzupreisen. Kam jetzt einfach ein Cray 2? Und womit war dann diese Maschine in Stuttgart zu ersetzen, womit sollte demnächst in Jülich, München, Berlin oder Stuttgart gerechnet werden, und was würde für Bremen, Freiburg und Konstanz wahrscheinlich reichen?

Um Antworten auf solche Fragen zu geben, brauchte es zunächst einen Referenzrahmen über das aktuelle Leistungsniveau. Selbst wenn die Rechenzentren nicht müde wurden, ihre eigenen Maschinen zu testen, ergab sich daraus noch keine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Maschinen, sondern eher eine Verbesserung

der lokal eingesetzten Programme und Algorithmen. Wie schnitten japanische Maschinen im Vergleich zur französischen Konkurrenz ab? Wie hatten IBM und DEC auf die neuen Vektorrechner von Seymour Cray reagiert? Ein an der Universität Mannheim geführtes und etwas breitspurig »Statistik« genanntes Verzeichnis aller Supercomputer war ein Versuch, den Überblick zu behalten.

Das war unabdingbar, denn Supercomputing wurde vielerorts von Ministerialbeamten oder Universitätsleitungen angeschafft, die von der Sache nichts verstanden oder nicht wissen konnten, welche Experten die besten Argumente hatten. 1993 wurde die Mannheimer Tabelle zum ersten Mal nach einem einheitlichen Benchmark sortiert und ihr Umfang fixiert. Es gibt seither immer genau 500 HPC-Zentren weltweit, alle sauber auf die Plätze verwiesen. Wer aktuell zu diesem Klub der Top 500 gehört, wird zweimal jährlich ermittelt. Die Maschine, die gerade auf Platz eins steht, operiert ganz offensichtlich an der vordersten Front der Berechenbarkeit. Und das Feld bleibt ihr auf den Fersen.

Jeder Klub ist das Resultat einer erfolgreichen Exklusionspolitik. Mitglieder erfüllen die steigenden Anforderungen oder werden vor die Tür gestellt. Für die Selbstdarstellung der Rechenzentren ist diese Exklusivität durch permanent drohende Exklusion von eminenter Bedeutung. Besucher oder potentielle Nutzer eines Rechenzentrums erfahren sofort, wie das jüngste Ranking ausgefallen ist. Eine deutliche Aufwertung im Rang begegnet einem schon auf der Website, oder man vernimmt es bei der Führung durch die Installationen. »Sie haben gesehen ...?«

Nur wenn sich das Ranking gerade verschlechtert hat, wird das Thema beschwiegen. Alternativ kann (natürlich ohne Erwähnung des genauen Tabellenplatzes) auf die durchschnittliche Position in den vergangenen Jahren verwiesen werden. Manchmal erfinden die Kommunikationsbeauftragten des Rechenzentrums auch einfach Unterklassen des Top-500-Klubs. Das ergibt dann »die schnellste Maschine in Europa«, »das größte Rechenzentrum außerhalb Chinas«, »den schnellsten Klimarechner der Welt« oder »den ersten Rechner, der einen neuen Typ von Prozessoren verwendet hat«.

Rankings sollen nicht überbewertet werden, heißt es dazu immer, und im Übrigen sei man gerade in der Planung für den nächsten massiven Ausbau der Rechenkapazität begriffen, der alles Bisherige in den Schatten stellen werde. Hochleistungsrechenzentren der Top 500 haben keine Gegenwart. Ihr auf Exklusivität angewiesenes Handeln ist vielmehr an glänzenden Zukünften ausgerichtet und bestimmt die erwartbaren Grenzen der Berechenbarkeit.

Betriebliche Disziplinierung der Nutzer

Jenseits aller Klubregeln sind Hochleistungsrechenzentren höchst reale Betriebe mit harten Erfahrungen beim Rechnen an der Grenze der Berechenbarkeit. Man könnte auch sagen: Es ist der Betrieb, der die Supercomputer an diese Grenze führt und sie dabei vor dem Verlust der Exklusivität schützt. Der Betrieb hält Nutzer in Schach und pflegt vor Ort wiederum eigene, sehr harte Regeln der Inklusion und der Exklusion. Kurse, Beratungen, Supervisionen, Testläufe mit Nutzerprogram-

men und vieles andere sind die Instrumente dieser Sicherheitsmaßnahmen. Da das Teilen von Rechnern selbstbewusste User recht eigentlich beleidigt, sind Initiationsrituale für Anfänger an der Tagesordnung.

Aus betrieblicher Sicht läuft es am besten, wenn sich Forschungsgruppen melden, die bereits einschlägige Erfahrungen mit Rechnern haben, trotzdem lernfähig sind und ihre rechentechnischen Anforderungen leicht anpassen können. Nutzer aus der Kernphysik, der Meteorologie, der physikalischen Chemie und der Fluidodynamik waren in der Frühphase des Supercomputing besonders gefragt. Sie wussten, wie man den Rechenbedarf von Projekten in Grenzen halten und langsam steigern konnte. Die Betreiber von Rechenzentren mit neuen Maschinen, für deren Kapazität bislang noch keine wissenschaftlichen Projekte entwickelt worden waren, konnten aus diesen Kreisen pflegeleichte User rekrutieren. Denn Chemiker sind immer bereit, auch größere Moleküle zu berechnen, Meteorologen selten abgeneigt, ihr Netz zu verfeinern oder die Zahl der simulierten Parameter zu erhöhen, während die Fluidynamiker ihre Matrizen jederzeit vergrößern konnten, wenn man ihnen mehr Rechenpower anbot.

Von Angehörigen anderer Disziplinen ließ sich nicht immer mit Sicherheit sagen, ob sie unter Umständen Nutzer werden könnten. Ganz unerwünscht waren jene Nutzer, die völlig ergebnisoffen viel Rechenzeit verbrauchten (also andere am Rechnen hinderten) und nicht angeben konnten, womit dieser Rechnereinsatz zu legitimieren wäre. Gefürchtet waren diejenigen, die viel zu lange am eigenen Code rumtüfteln mussten oder nie guten Code

mitbrachten. Unattraktiv blieben Nutzer, deren Ergebnisse unpubliziert blieben, weil ihre Ergebnisse auch mit angestrengtem Nachdenken hätten gefunden werden können.

Ein Hochleistungsrechenzentrum zu betreiben hieß also Nutzer anzulocken, abzuweisen oder zu disziplinieren. Mit der Zeit haben HPC-Betreiber gelernt, Hochleistungsrechner und ihr Personal gleichzeitig vor dem Elend der Programmentwicklung und vor prozeduralen Zumutungen zu schützen. Beiräte und externe Gutachter halfen nach Kräften, indem sie die Projekte nach Machbarkeit und Aufwand sortierten, während der Betrieb danach trachtete, alle vorbereitenden Arbeiten an schwache periphere Maschinen (wie Workstations) oder billiges externes Personal (wie Doktoranden) außerhalb des HPC-Bereichs zu delegieren.

Damit eine heterogene, aus vielen Disziplinen stammende Nutzergemeinschaft an der Grenze der Berechenbarkeit arbeiten kann, müssen Aufträge geplant werden. Wie sind Daten zu strukturieren? Wie und wann werden sie auf welchen Medien bereitgehalten? Welche Programme kommen in welcher Reihenfolge zum Einsatz? Wie müssen der Rechner und die Peripheriegeräte eingestellt sein? Welcher Rechenzeitbedarf ist zu erwarten, und wie kann er verlässlich zugewiesen, die Nutzung protokolliert und verrechnet werden? Wie hoch ist der Betreuungsaufwand für das Projekt einzuschätzen? Was passiert, wenn der Job nicht abgeschlossen werden kann?

Der Betrieb hat also ein ausgeklügeltes Ressourcenmanagement zu entwickeln. Rechenzentren kennen eine eigene Zeitökonomie für Projekte, Nutzer, Dis-

ziplinen und Komponenten. Beim Parallel-Computing in Clustern, das Mitte der 1990er Jahre an Attraktivität gewann, müssen ganze Batterien von Prozessoren und Prozesse untereinander und in Abhängigkeit der Programmstruktur synchronisiert werden. Es nützt nichts, den schnellsten Computer der Welt am Start zu haben, wenn sein Betriebssystem diese Synchronisierung nicht schafft und die Hälfte seiner Prozessoren brachliegt, während die andere Hälfte noch immer mit dem letzten Programmabschnitt beschäftigt ist. Es nützt nichts, wenn die Maschine über einen großen Speicher verfügt, dieser Speicher aber ständig über mangelhafte Protokolle und Verbindungen mit den Prozessoren interagieren muss.

Ein HPC-Rechenzentrum zu betreiben heißt schließlich auch, das Angebot globaler Herstellermärkte, die Mittel der nationalen Wissenschaftspolitik und die disziplinären Dynamiken so aufeinander abzustimmen, dass die Nutzer an der Grenze der Berechenbarkeit arbeiten können. Rechenzentren müssen eine raffinierte Konfiguration ihrer Ressourcen planen und entwickeln, das lokal geltende Verhältnis von wissenschaftlicher Forschung und betrieblicher Dienstleistung festlegen, geeignete Nutzer und Projekte gewinnen und diese nach Maßgabe lokaler Regeln disziplinieren. Die Grenzen der Berechenbarkeit werden ganz offensichtlich nicht nur von der Anzahl der Fließkommaoperationen pro Sekunde (FLOPS) aller gleichzeitig arbeitenden Prozessoren bestimmt. Man kann mit Fug und Recht behaupten, dass der reale Betrieb die Grenzen der Berechenbarkeit festlegt.

Souveränitätseffekte des »conspicuous computing«

Von dem norwegisch-amerikanischen Soziologen und Ökonomen Thorstein Veblen stammt der Begriff der »conspicuous consumption«. Er bezeichnet das Phänomen, dass der Kauf von Luxusgütern ein Mittel sein kann, um den eigenen wirtschaftlichen und sozialen Status zu demonstrieren. Den Kauf und Betrieb einer Supercomputing-Anlage durch eine nationale Forschungsförderungsagentur, eine Behörde, ein Land oder eine Universität könnte man in Anlehnung an Veblen als »conspicuous computing« bezeichnen. Aus der Ermöglichung demonstrativen Rechnens an der Grenze der Berechenbarkeit ergeben sich positive Effekte auf den wirtschaftlich-politischen Status des staatlichen Auftraggebers. High Performance Computing wird zu einer Quelle für Souveränitätseffekte.

Berichte, die seit den 1980er Jahren von staatlichen Instanzen zum Thema HPC geschrieben wurden, rücken Supercomputing in die Nähe staatlicher Infrastrukturpolitik, betonen den grundlagenwissenschaftlichen Gewinn und die Nützlichkeit des Rechnens an seinen Grenzen, sehen HPC als einen Ausweis internationaler Wettbewerbsfähigkeit und als Instrument der Standortpolitik. Es geht ums Mithalten und darum, den Anschluss an die Entwicklung nicht zu verlieren, es geht um Wissensproduktion und um Fähigkeitenkapital, oder wie der Wissenschaftsrat in einem Bericht im Jahr 2000 festgehalten hat: »Höchstleistungsrechnen stellt ein unverzichtbares Werkzeug für die Spitzenforschung dar. Die Bereitstellung der dazu erforderlichen Infrastruktur ist eine zentrale

Aufgabe des Staates. Ihre Verfügbarkeit ist ein entscheidender Standortfaktor im internationalen wissenschaftlichen und industriellen Wettbewerb.«²

Kein Wunder, dass HPC-Zentren fast nicht genug kosten können und in der Regel in architektonisch aufwändig gestalteten Gebäuden installiert werden. Ein solches Zentrum wissenschaftspolitischer Manifestation dient immer auch als Ankerpunkt für regionale, nationale und internationale Allianzen und Kooperationen. Ein HPC-Zentrum muss vernetzt sein, Partnerschaften pflegen, den Austausch ermöglichen, offenstehen für alle anderen Subventionsempfänger, die kein eigenes High-Performance-Computer-Zentrum betreiben können.

HPC wird deshalb mit einem neuen *trade-off* belastet – die infrastrukturpolitische Behandlung des HPC-Problems führt zu einem stärkeren Öffentlichkeitsanspruch, der sich nur noch teilweise mit der Exklusivitätspolitik vereinbaren lässt. Schon Al Gore hatte in den späten 1980er Jahren vehement die Ansicht vertreten, HPC müsse durch einen massiven Ausbau der Netzwerke den Zugang zum High-Performance-Computing erreichen. In der Schweiz baute man ein solches Netzwerk noch bevor das dazugehörige nationale HPC-Zentrum gebaut worden war. Dass Infrastrukturpolitik mit dem Bau von Netzwerken einhergeht, ist in Deutschland seit den 1990er Jahren ein wirkmächtiger Topos. Vernetzung bedeutet Zugang, ist Chance, kompensiert strukturelle Nachteile, ist zukunftsgerich-

tet und selbst dort angesagt, wo es keine Nutzer gibt.

Allerdings muss dabei Ordnung herrschen. Budgetrelevante Nomenklaturen sortieren die bundesrepublikanischen Rechenzentren im Bild einer Pyramide, an deren Spitze drei großzügig alimentierte Höchstleistungsrechenzentren zu stehen kamen. Die drei Mitglieder des virtuellen »Gauß-Zentrums« betreiben Anlagen, die je mindestens 40 Millionen Euro kosten. Im Gegenzug durften jene Hochschulen und Forschungszentren, die in der zweiten Liga der »Gauß-Allianz« spielten, bei Bedarf auf eine der drei Spitzenanlagen in Stuttgart, Jülich und Garching zugreifen. In der Schweiz aber hält man bis heute daran fest, dass HPC ein extraterritoriales Unternehmen sein müsse und sich jenseits des Gotthard, also weitab von Fakultäten und Disziplinen, am besten entwickeln könne.

Die wissenschaftspolitische Behandlung des High-Performance-Computing-Problems hatte in allen Ländern interessante Folgen. Es fällt auf, dass die Top 500 seit einigen Jahren immer weniger Angaben machen, aus welchen Disziplinen ihre Kunden stammen. Hatte man in den 1980er und 1990er Jahren die disziplinäre Ausfächerung betont und damit ein breiteres, vielleicht sogar interdisziplinäres Angebot für gut vernetzte Teile des Wissenschaftsbetriebs suggeriert, sind HPC-Zentren in jüngerer Zeit als generalistische Plattformen aufgetreten, bei denen die Disziplinen der Nutzer offenbar keine Rolle mehr spielen sollen. Die antidisziplinäre Wirkung oder Wirkungsabsicht nationaler Agenturen der Wissenschaftspolitik lässt sich daran gut ablesen.

Meistens gibt es für ungerechte Verteilungsprozesse ein koordinierendes Gremium. In Deutschland war es der Wissenschaftsrat, in den USA die National Science Foundation (NSF) und in der Schweiz eine ad hoc einberufene Expertenkommission, die den politisch wünschbaren Grad an demonstrativem Rechnen, die Zugangsregeln und Kooperationsformen festlegte oder diese mit Empfehlungen versah. Da sich diese Politik nicht ohne Rücksicht auf Nutzer- und Betreibergemeinschaften und auch nicht ohne Kenntnis des aktuellen Hard-, Soft- und Wetware-Markts implementieren lässt, sind HPC-Strategien jedoch immer an aufwändige Aushandlungsprozesse geknüpft und mit vielen Überraschungen verbunden. Sie bringen zwar hohe Reibungsverluste, verlegen ihren Gegenstand aber auf eine steuerbare Ebene. In der Folge müssen HPC-Zentren zum Beispiel eine Bürokratisierung ihres Betriebs konzedieren, während Ministerien vor der wissenschaftlichen Expertise internationaler Gremien kapitulieren müssen.

Die Möglichkeit, sich an der Grenze der Berechenbarkeit zu bewegen, ergibt sich damit aus der Gemengelage völlig unterschiedlich motivierter und legitimer Souveränitätsansprüche. Disziplinäre Lufthoheit, bürokratische Verfahrenssicherheit, wissenschaftspolitischer Gestaltungswille und universitäre Exzellenzstrategien müssen für mehrere Jahre stabil zusammengeführt (oder wechselsei-

tig paralyisiert) werden. Dann kann man an der Grenze der Berechenbarkeit operieren, wohlwissend, dass sich an ihr schon bald wieder die Maschinen und Geister scheiden werden.

PS: *Digital Humanities*

Die Grenzen der Berechenbarkeit lassen sich selbstverständlich nicht nur politisch-operativ, sondern auch theoretisch-dogmatisch bestimmen.

Die »Computability«-Debatte der Mathematiker hat eine lange Tradition und unterscheidet theoretisch elaboriert zwischen Problemen, die grundsätzlich nicht oder möglicherweise noch nicht berechnet werden können, und solchen, die im Prinzip berechenbar sind, unabhängig davon, ob es dafür real existierende Maschinen gibt.

Dogmatisch, also durch radikale Ausblendung, erledigen die Geisteswissenschaftler das Problem, da sie Lesen und Verstehen für rechnerisch unberührbar halten. Es sind die Digital Humanities, die den Hermeneutikern beim Lesen Ärger bereiten wollen. Sie versuchen, dem Kalkül des Schreibens mithilfe einer rechnergestützten Empirie des Lesens auf die Schliche zu kommen. Allerdings ist dafür kein besonderer Bedarf an Rechenleistung notwendig. Der computertechnische Ersatz der Karteikarten findet nicht an der Grenze der Berechenbarkeit statt.

² Wissenschaftsrat, *Empfehlung zur künftigen Nutzung von Höchstleistungsrechnern*. Mainz 2000.

MERKUR

Gegründet 1947 als Deutsche Zeitschrift
für europäisches Denken

Der Merkur ist eine Kulturzeitschrift, wobei der Begriff der Kultur in denkbar weitem Sinne zu verstehen ist. Er erscheint monatlich und wendet sich an ein anspruchsvolles und neugieriges Publikum, das an der bloßen Bestätigung der eigenen Ansichten nicht interessiert ist. Mit kenntnisreichen und pointierten Essays, Kommentaren und Rezensionen hält der Merkur gleichermaßen Distanz zum Feuilleton wie zu Fachzeitschriften. Die Unterzeile »Deutsche Zeitschrift für europäisches Denken« formulierte bei der Gründung im Jahr 1947 das Bekenntnis zu einer weltanschaulich unabhängigen Form von Publizistik, die über kulturelle und nationale Grenzen hinweg alle intellektuell relevanten Debatten ihrer Zeit aufnehmen wollte. Auch wenn der Horizont für ein solches Unternehmen sich mittlerweile deutlich erweitert hat, trifft das noch immer den Kern des Selbstverständnisses der Zeitschrift.

Verlag und Copyright: © J. G. Cotta'sche Buchhandlung Nachfolger GmbH, Postfach 106 016, 70049 Stuttgart, Tel. (0711) 66 72-0, www.klett-cotta.de · Geschäftsführer: Dr. Andreas Falkinger, Philipp Haußmann, Tom Kraushaar.

Leiter Zeitschriften: Thomas Kleffner, th.kleffner@klett-cotta.de · Media-Daten: s. www.merkur-zeitschrift.de
Manuskripte: Für unverlangt und ohne Rückporto eingesandte Manuskripte kann keine Gewähr übernommen werden. · Redaktionsschluss dieser Ausgabe: 2. Oktober 2019 · Gestaltung: Erik Stein · Satz und E-Book-Umsetzung: Dörlemann-Satz GmbH & Co. KG, Lemförde · Druck und Einband: Friedrich Pustet AG, Regensburg · Ihre Zeitschrift wurde in eine umweltverträgliche Polyethylenfolie eingeschweißt.

Bezugsbedingungen: Der Merkur erscheint monatlich. Preis 14 €; im Abonnement jährlich 140 € / 162 sFr; für Studenten gegen Vorlage einer Bescheinigung 96 € / 114 sFr; alle Preise jeweils zzgl. Versandkosten. · Die elektronische Version dieser Zeitschrift mit der Möglichkeit zum Download von Artikeln und Heften finden Sie unter www.volltext.merkur-zeitschrift.de. Der Preis für das elektronische Abonnement (E-Only) beträgt 140 € / 162 sFr; für Studenten und Postdocs gegen Vorlage einer Bescheinigung 48 €; für Privatkunden, die gleichzeitig die gedruckte Version im Abonnement beziehen, 20 € / 28 sFr. Im jeweiligen Preis der elektronischen Abonnements ist der Zugriff auf sämtliche älteren digitalisierten Jahrgänge enthalten. Preise für Bibliotheken und Institutionen auf Anfrage. Alle genannten Preise enthalten die zum Zeitpunkt des Kaufs gültige Mehrwertsteuer. In Drittländern jenseits der Schweiz (und außerhalb der EU) gelten die angegebenen Preise netto. · Die Kündigung des Abonnements muss spätestens vier Wochen vor Ende des Bezugszeitraums in schriftlicher Form erfolgen. Ansonsten verlängert es sich automatisch um ein Jahr. Die Mindestbezugsdauer beträgt ein Jahr.

Abonnementverwaltung (falls vorhanden, bitte Kundennummer angeben): Verlag Klett-Cotta Aboservice, Heuriedweg 19, 88131 Lindau, Telefon (0 83 82) 2 77 57-923, Fax (0 83 82) 2 77 57-655, E-Mail: klett-cotta@guell.de; Downloads, Einzelheft- und auch Abobestellungen unter www.merkur-zeitschrift.de

Heft 846, November 2019, 73. Jahrgang

Herausgegeben von Christian Demand
und Ekkehard Knörer
Gegründet 1947 von Hans Paeschke
und Joachim Moras
Herausgeber 1979–1983 Hans Schwab-Felisch
1984–2011 Karl Heinz Bohrer
1991–2011 Kurt Scheel

Lektorat/Büro: Ina Andrae
Redaktionsanschrift: Mommsenstr. 27,
10629 Berlin
Telefon: (030) 32 70 94 14 Fax: (030) 32 70 94 15
Website: www.merkur-zeitschrift.de
E-Mail: redaktion@merkur-zeitschrift.de

Der Merkur wird unterstützt von der
Ernst H. Klett Stiftung Merkur.
Partner von Eurozine, www.eurozine.com

ESSAY

- Sonja Asal*
Landschaft mit Windrädern 5
- Danilo Scholz*
Ins Bild gerückt.
Zur Geschichte des
französischen Kolonialismus 18
- Jan Eckel*
Der Zweite Weltkrieg
in der globalen Geschichte des
20. Jahrhunderts 39

KRITIK

- David Gugerli*
Digitalkolumne.
Supercomputer – an der Grenze
der Berechenbarkeit 53
- Aleida Assmann*
Ruhm und Ehre.
Reibungen an den Grenzen
der Modernisierungstheorie 60
- Shany Mor*
Demokratie verstehen 67

■ MARGINALIEN

- Gerhard Henschel*
»etwas vorlaut widriges«.
Das Judenbild der Brüder Grimm 79
- Claus Leggewie*
Nostress.
Kapverdische Notizen 87
- Julian Schellong*
Die langweilige Seite des Mondes 92
- Günter Hack*
Gedächtnis des Kuckucks 97
- Robin Detje*
Einmal ragte Siegfried Unseld
turmhoch hinter mir auf 101