

QUANTENSPRUNG
Zu viel des Guten und sehr Guten

In den USA gibt es eine Radiosendung über das fiktive Städtchen Lake Wobegon in Minnesota, die stets mit dem Satz endet: „That's all the news from Lake Wobegon, where all the women are good looking, all the men are strong, and all the children are above average.“

Selbstverständlich ist nicht jedes Kind überdurchschnittlich. Auch wenn bei der Zulassung zum Biologiestudium beispielsweise schon ausgesiebt wird, gibt es immer wieder eine Gaußsche Normalverteilung des Fleißes, der Begabung und anderer Faktoren, die zu einer Normalverteilung über dem Durchschnitt beitragen. Der Durchschnitt bei Noten von Eins bis Sechs sollte Drei sein. Trotzdem erhalten in Deutschland fast zwei Drittel aller Biologiestudenten eine Eins. Durchschnitt: 1,3.

Eine Eins in meinem Fachbereich ist nicht nur die bestmögliche, sondern auch die erwartete Note. Damit wird Notengebung zur Farce, und die wirklich „Guten“ und „sehr Guten“ werden benachteiligt, weil man sie nicht mehr von den Mittelmäßigen (Dreierkandidaten) unterscheiden kann. Die Biolo-



AXEL MEYER
Professor für Evolutionsbiologie, Konstanz

gie steht nicht alleine: die Absolventen in Psychologie (1,4), Philosophie (1,5), Geschichte (1,6), Physik (1,4) und Chemie (1,5) scheinen alle „weit überdurchschnittlich“ zu sein. 95 Prozent der Abschlüsse in den Geisteswissenschaften werden mit „sehr gut“ und „gut“ bedient. Diese Entwicklung hat wohl maßgeblich damit zu tun, dass sich Professoren nicht trauen, schlechtere Noten als die Kollegen zu verteilen, weil sonst die Diplomanden wegbleiben.

Ganz anders die Rechtswissenschaften! Eine Eins ist da fast unbekannt (nur 0,1 Prozent der Kandidaten), die Durchschnittsnote republikweit ist 3,3, und 92 Prozent aller Noten sind „befriedigend“ oder „mangelhaft“. Etwa ein Drittel aller Staatsexamenskandidaten besteht nicht. Auch wenn es mir als Naturwissenschaftler schwer fällt, muss ich doch den Juristen (genauer: den Landesjustizprüfungsämtern) mal Recht geben: „Befriedigend“ sollte die Note eines durchschnittlichen Studenten und „sehr gut“ die für wirkliche Überflieger sein. Denn die Inflation der Noten weckt falsche Hoffnungen. Am Ende wird der durchschnittliche Biologe mit einer Eins im Diplom bestenfalls einen Job als Pharmareferent erhalten, während ein begabter Jurist mit Note „gut“ sich die Starkkanzlei mit einem Mehrfachen des Gehalts des Eins-Biologen aussuchen kann.

Wir müssen zurück zu ehrlichen Noten und aufhören, den Studenten etwas vorzumachen. Die meisten sind durchschnittlich, und Deutschland ist nicht Minnesota. I wissenschaft@handelsblatt.com

Theoretische Physik für die Praxis

Physiker erzeugen das erste Quantenbyte der Welt – Ein Meilenstein auf dem weiten Weg zum Quantencomputer

R. WENGENMAYR | DÜSSELDORF

„Es leuchtet wie ein grüner Stern am dunklen Nachthimmel“, schwärmt Rainer Blatt von dem Anblick eines Bariumatoms im Laserlicht. Der sonst eher nüchterne deutsch-österreichische Physiker ist Direktor am Institut für Quantenoptik und Quanteninformation (IQOQI) in Innsbruck. Wissenschaftlich genau genommen, sind die zarten Leuchtpunkte keine vollständigen Atome, sondern Ionen. Der Verlust eines Elektrons hat sie elektrisch aufgeladen. Deshalb lassen sie sich wunderbar mit einem elektromagnetischen Feld einfangen und in einer „Ionenfalle“ in der Schwebe halten.

Physiker können immer komplexere Quantensysteme künstlich im Labor herstellen. Als Bausteine ihrer Quantenkompositionen bevorzugen sie Lichtquanten (Photonen), Ionen oder ultrakalte Atome. Sie können in diesem Bereich nicht nur die bestmögliche, sondern auch die erwartete Note. Damit wird Notengebung zur Farce, und die wirklich „Guten“ und „sehr Guten“ werden benachteiligt, weil man sie nicht mehr von den Mittelmäßigen (Dreierkandidaten) unterscheiden kann. Die Biolo-

Das faszinierende Forschungsgebiet boomt wie kein anderes der Physik. Fähige Experimentatoren können mit kleinen, hochkomplexen Apparaturen auf physikalische Goldadern stoßen. Die dafür nötigen finanziellen Mittel sind winzig im Vergleich zu Großforschungsanlagen, etwa Teilchenbeschleunigern. Vor allem jedoch sorgt der Forschungsgegenstand selbst für Euphorie: Nie zuvor war die Quantenphysik dem Experiment so offen zugänglich wie heute. Viele Ideen, die als Gedankenexperimente jahrzehntlang ein rein theoretisches Dasein fristeten, sind jetzt im Labor realisierbar. Und siehe da: Die Natur auf Ebene der Atome, Elementarteilchen und ihrer Wechselwirkungen ist wirklich so „verrückelt“, wie sie Erwin Schrödinger 1935 in seinem Gedankenexperiment beschrieb (siehe Kasten).

Null und Eins – gleichzeitig

„Wir lernen jeden Tag etwas Neues“, sagt Blatt. Im November 2005 konnte seine Gruppe im Magazin „Nature“ einen Weltrekord melden: Blatts Mitarbeiter Hartmut Häffner formte mit seinem Team das erste „Quantenbyte“ der Welt aus acht Calcium-Ionen. Damit überholten sie amerikanische Konkurrenten vom National Institute of Standards and Technology (NIST). Die Physiker aus Colorado hatten es „nur“ mit sechs Beryllium-Ionen geschafft.

Wie das Byte klassischer Computer besteht auch ein Quantenbyte aus acht Bit. Bei diesen handelt es sich allerdings um Quantenbits, im Szenario Qubit genannt. Ein Qubit kann entweder die Information eins oder null repräsentieren. Darin unterscheidet es sich nicht von einem konventionellen Bit. Im Qubit werden beide Zahlen durch zwei geeignete Quantenzustände kodiert. Bei Ionen sind das unterschiedliche Energieniveaus, zwischen denen ein Elektron hin und her springen kann. Laserlichtpulse steuern diese Sprünge.

Der entscheidende Unterschied zur digitalen Welt geht auf die Gesetze der Quantenphysik zurück. Ein klassisches Bit kann nur entweder auf null oder auf eins stehen. Im Qubit dagegen können diese beiden Qu-

Das Quantenbyte in der Innsbrucker Ionen-Falle – Der erste Schritt zum Quantencomputer?

In einem Vakuum spannen vier rasierringartige Schneiden ein elektromagnetisches Wechselfeld (20 Megahertz) auf, das 20 Millionen mal in der Sekunde schwingt. Als Ionen-Falle hält es acht Calcium-Ionen – elektrisch geladene Atome – in der Schwebe (blaue Kugeln, stark vergrößert dargestellt). Die beiden elektrisch geladenen Spitzen links und rechts verhindern, dass die Ionen seitlich entkommen. Laserpulse (rote Pfeile) können diese Ionen entweder einzeln als Quantenbit schalten oder zu einem großen Quantenbyte verschränken. Ein Mikroskop mit einer empfindlichen Digitalkamera (links vorne) erfasst das Aufleuchten der Ionen.

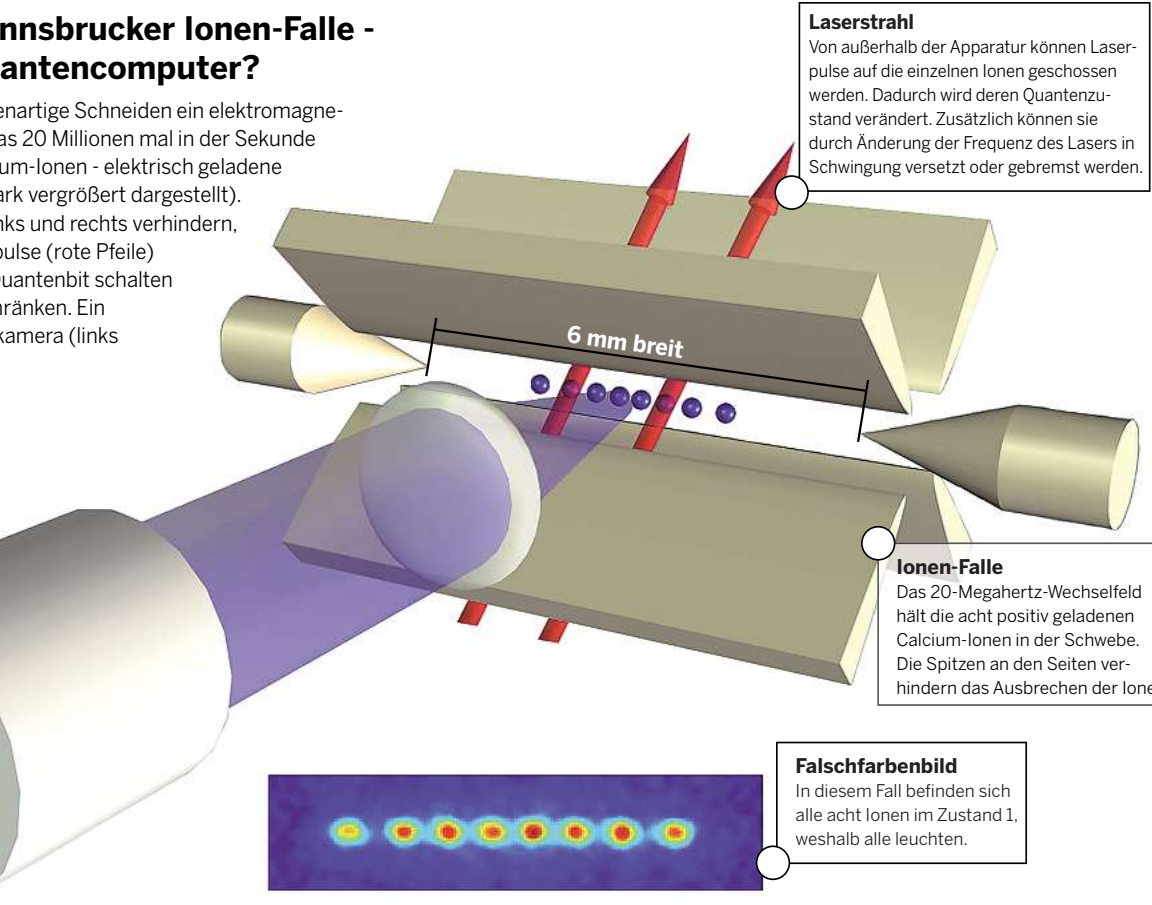
Charge-coupled-device-Kamera
Eine sehr lichtempfindliche Digital-Kamera kann den Quantenzustand der Ionen in der Falle registrieren. Denn nur in einem der beiden durch den Laser bedingten Zustände leuchtet ein Ion.

stände zugleich existieren. „Sie sind überlagert“, erklärt Blatt. Erst eine Messung zerstört diese Überlagerung und lässt das Qubit entweder auf eins oder auf null springen. Das passiert zum Beispiel, wenn ein Laserpuls am Ion rüttelt, um diese Information auszulesen.

Noch verhexter wird es, wenn die Physiker mehrere Qubits miteinander „verschränken“. Dabei entsteht ein ausgedehntes Quantenobjekt, zum Beispiel eben das Quantenbyte aus acht Ionen. Das verschränkte Quantenkollektiv ist hoch sensibel, schon die winzigste Manipulation an einem einzigen Qubit verändert es. Es erinnert an einen Ruder-Achter in voller Fahrt, bei dem ein Sportler gestört wird: Sofort gerät die gesamte Mannschaft aus dem Takt.

Besonders verrückt ist ein Phänomen, das unter Physikern immer wieder heiße Debatten auslöst: Die Qubits können beliebig weit voneinander entfernt sein, ohne ihre Verschränkung zu verlieren. Sie dürfen dabei nur nicht gestört werden. Diese „Delokalisierung“ ist Realität. Das konnte Blatts Kollege Anton Zeilinger in spektakulären Experimenten zeigen. Dabei trennten die Physiker über kilometerlange Glasfaserleitungen verschränkte Photonen, ohne dass diese ihre spukhafte Quantenverbindung verloren.

Die Delokalisierung sorgt auch für den fundamentalen Unterschied zwischen einem konventionellen und einem künftigen Quantencomputer. „In einem heutigen Rechner weiß das Bit Nummer eins nichts vom Bit Nummer zwei“, erklärt Blatt: „Bei einem Quantenbyte merkt dagegen sofort das gesamte System, wenn eine Rechenoperation ausgeführt wird.“ Dank der Überlagerung der Quantenzustände sollten Quantencomputer bestimmte Aufgaben viel schneller lösen können als heutige Rechner. Ein Quantenbyte kann zwar auch nur wie ein herkömmliches Byte 256 verschiedene Zahlen darstellen. „Nur liegen diese 256 Zahlen alle



Laserstrahl
Von außerhalb der Apparatur können Laserpulse auf die einzelnen Ionen geschossen werden. Dadurch wird deren Quantenzustand verändert. Zusätzlich können sie durch Änderung der Frequenz des Lasers in Schwingung versetzt oder gebremst werden.

Ionen-Falle
Das 20-Megahertz-Wechselfeld hält die acht positiv geladenen Calcium-Ionen in der Schwebe. Die Spitzen an den Seiten verhindern das Ausbrechen der Ionen.

Falschfarbendeckung
In diesem Fall befinden sich alle acht Ionen im Zustand 1, weshalb alle leuchten.

Handelsblatt | Quelle: Wolfgang Hänsel, Universität Innsbruck

gleichzeitig vor“, sagt Blatt. Während ein heutiger Computer die Rechenschritte nacheinander abarbeitet, sind sie im Quantencomputer gleichzeitig vorhanden.

Vorteile bringt das vor allem, wenn ein Computer zur Lösung ei-

ner Aufgabe sehr viele Möglichkeiten prüfen muss. Soll er zum Beispiel in einem Telefonbuch zu einer Nummer den richtigen Namen herausuchen, dann muss er im ungünstigsten Fall das komplette Buch durchsuchen. Bei vielen verschiedenen Such-

anfragen läuft das im Schnitt auf die Hälfte der Einträge hinaus, bis er fündig wird. „Für eine Stadt wie München sind das also eine halbe Millionen Einträge“, sagt Blatt. Ein Quantencomputer bräuchte dafür nur tausend Versuche.

Wann Quantencomputer auf den Markt kommen, steht in den Sternen. Dass es sie geben wird, ist für Blatt aber keine Frage. Und er prophezeit: „Es werden technische Anwendungen entstehen, an die wir heute nicht im Entferntesten denken!“

Immerhin gibt es schon erste kommerzielle Quantenprodukte. Die Genfer Firma id Quantique bietet zum Beispiel einen Generator für Zufallszahlen an. Den Zufall beherrschen nämlich nur Quantensysteme perfekt. So verrät uns die Quantenphysik, dass Gott entgegen Albert Einsteins berühmter Behauptung offensichtlich doch das Würfeln liebt.

TOT UND LEBENDIG: ERWIN SCHRÖDINGERS KATZE

Das Experiment
Schrödingers absurd geigerzähler den Zerfall des Atoms feststellt, wird Giftgas freigesetzt, das die Katze tötet.

Die Theorie

Nach der Quantentheorie befindet sich der Atomkern nach Ablauf der Zeitspanne im Zustand der „Überlagerung“ (noch nicht zerfallen und zerfallen). Wenn die Quantenphysik auch auf makroskopische Systeme anwendbar ist, müsste die Katze nach dem Experiment lebendig und tot sein. Erst beim Blick in den Raum (entspricht Messung) entscheidet sich, ob sie tot oder lebendig ist.

UNSERE THEMEN

MO ÖKONOMIE
DI ESSAY
MI GEISTESWISSENSCHAFTEN
DO NATURWISSENSCHAFTEN
FR LITERATUR

Depressive Kinder werden eher fettleibig

DÜSSELDORF. Depressionen in der Kindheit sind verbunden mit dem späteren Ausbruch von Asthma und Fettleibigkeit. Zu diesem Ergebnis kommen Gregor Hasler und Kollegen von der Universitätsklinik Zürich nach einer Studie, die in einer Fachzeitschrift für Fettleibigkeit, dem „International Journal of Obesity“, veröffentlicht wurde.

Hasler führte eine Langzeituntersuchung mit 4 547 Versuchspersonen zu sechs Zeitpunkten zwischen 1978 und 1999 durch. Vorhergegangene Studien belegten bereits einen Zusammenhang zwischen kindlicher Fettleibigkeit und späterer Asthmaerkrankung im Erwachsenenalter, aber nun zeigen die Autoren zum ersten Mal zusätzlich die Wirkung kindlicher Depressionen.

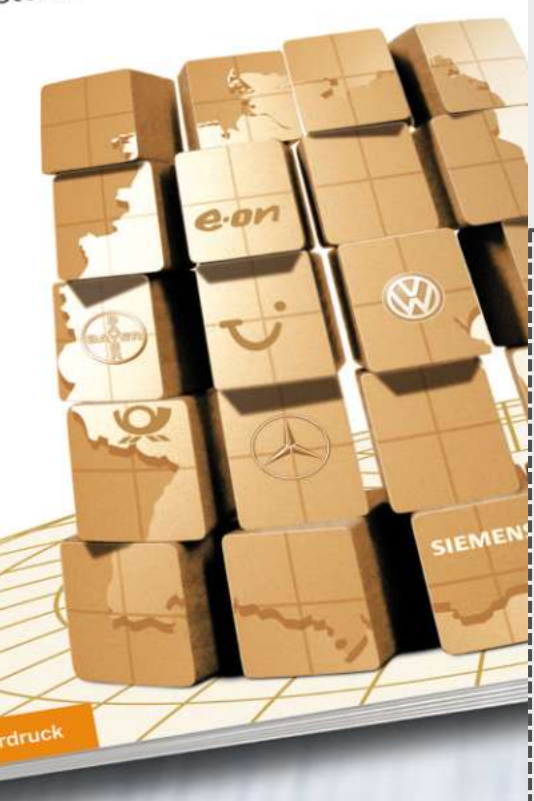
Die Forscher hatten in der ersten Interviewrunde erfragt, wie viele der damals 20- oder 21-jährigen Studienteilnehmer – rückblickend – unter Depressionen in der Kindheit litten. Diese Datenbasis verglichen sie später mit den Daten der Teilnehmer, die fettleibig geworden waren oder an Asthma litten. Auf Grund der Daten konnten sie die Rolle der depressiven Symptome für Asthma-Körpergewicht-Zusammenhänge erforschen.

Die eindeutige Beobachtung der Züricher Forscher, dass depressive Symptome in der Kindheit verbunden sind mit späterer Fettleibigkeit und Asthma, hilft nicht nur beim Verständnis einiger wichtiger Aspekte des Krankheitsbildes der Fettleibigkeit. Die Studienergebnisse lassen auch vermuten, dass die Neurobiologie der Depressionen in Kindheit, Jugend und Erwachsenenalter unterschiedlich ist.

Globalisierung – Strategien zum Erfolg ...

Handelsblatt
Deutschland baut um
Wie sieben deutsche Großkonzerne die Herausforderungen der Globalisierung meistern.

Jetzt neu!
Für nur 8,- €



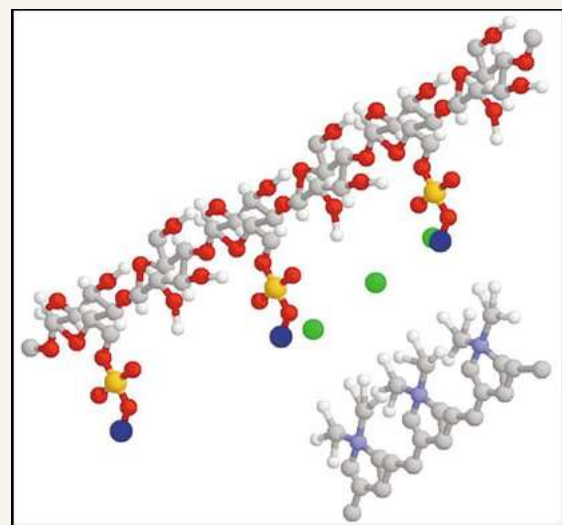
Bestell-Nr.: HB 2052

GRÜNDERSZENE

Polymerberatung

„Als Chemiker in unserer Gegend findet man nur wenige Firmen, die als Arbeitgeber in Frage kommen“, sagt Gerd Grasnack aus Potsdam. Sein eigener Chef zu sein und selbstständig Unternehmen bei der Herstellung von Polymeren (Plastwerkstoffe) zu beraten gefällt Grasnack besser als seine früheren Jobs als Projektleiter an der Universität Potsdam. Aber es erfordert Selbstdisziplin: „Ich muss an die Firmen herantreten. Mich ruft kein Kunde von sich aus an.“

Seine Beratung sei ein Nischenprodukt. Mögliche Kunden muss Grasnack also selbst ausfindig machen und davon überzeugen, dass sie von seiner Beratungsleistung profitieren können. Das sind meist mittelständische Polymer-Produzenten, die aktuelles Fachwissen von



außen brauchen, da alle Mitarbeiter voll in der Produktion beschäftigt sind. Wenn Firmen Interesse zeigen, besichtigt Grasnack die Produktionsanlagen vor Ort: „Ich kontrolliere, ob die Firmen die Herstellung wirklich so umsetzen, wie es auf dem Papier steht.“ Und er betreibt das, wozu Mittel-

ständlern meist die Ressourcen fehlen: Recherche zu neuen Materialien auf Basis aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse. Doch Grasnack ist kein reiner Theoretiker. An der Universität hat er bis 2000 ein Produkt für die Krebsbekämpfung entwickelt: Kapseln aus Cellulosesulfatmolekülen (Bild)

als Hülle für lebende Zellen. Die geplante Produktion dieses Stoffes durch eine Berliner Firma, in die Grasnack zu diesem Zweck als technischer Geschäftsführer eingestiegen war, scheiterte allerdings: „Die Finanzierung hat nicht geklappt.“ Seitdem ist Grasnack selbstständig. An die Produktion des eigenen Produktes war natürlich nicht mehr zu denken. Doch die Hoffnung, dass sein Fachwissen über Polymer-Chemie ein wertvolles und vermarktbare Gut ist, stellte sich als zutreffend heraus. Als er vor vier Jahren seinen Ein-Mann-Betrieb „Polymerberatung“ gründete, hatte er über Universitätskontakte bereits eine schwedische Firma zum Kunden und konnte daher von Anfang an schwarze Zahlen schreiben. | Ferdinand Knauß

Nächste Woche: nextnano

Handelsblatt Shop

Deutschland baut um
Die führenden Konzerne bereiten sich auf die Zukunft vor. Patentrezepte gibt es keine. Deshalb stellt das Handelsblatt sieben Dax-Konzerne mit ihrem Modell vor. Und Burkhard Schwenker, Chef der Unternehmensberatung Roland Berger, kommentiert die Strategie, die dahinter steht ...

Jetzt bestellen:
Telefon: 0800.0002056 (gebührenfrei)
Fax: 0800.0002057 (gebührenfrei)
E-Mail: handelsblatt-shop@vhb.de
Internet: www.handelsblatt-shop.com
Oder Coupon per Post senden an: Verlagsgruppe Handelsblatt GmbH, Kasernenstr. 67, 40213 Düsseldorf

Ja, senden Sie mir den Handelsblatt-Sonderdruck: „Deutschland baut um“

Exemplar (DIN A4) zum Preis von je 8,- €.
Die Preise verstehen sich inkl. MwSt. und zzgl. Versandkosten. Bestell-Nr.: HB 2052

Bitte informieren Sie mich auch in Zukunft über weitere Handelsblatt-Sonderdrucke.

Firmenanschrift Privatanschrift

Name _____

Vorname _____ Geburtsdatum _____

Firma (nur bei Angabe der Firmenanschrift) _____

Funktion / Abteilung / Beruf _____

Straße, Hausnummer _____

PLZ/Ort _____

Telefon _____

E-Mail _____

Datum _____ Unterschrift _____

Wenn Sie Ihre Bestellung widerrufen möchten, so können Sie dies innerhalb von zwei Wochen ohne Angabe von Gründen durch z. B. Brief, Fax, E-Mail dem Versender mitteilen. Die Frist beginnt frühestens mit Erhalt der Ware. Zur Wahrung der Widerrufsfrist genügt die rechtzeitige Absendung des Widerrufs. Form- und Datenerträge werden nur in ungeöffneter und unbeschädigter Originalverpackung zurückgenommen.

Ich bin damit einverstanden, zukünftig über interessante Produkte der Verlagsgruppe Handelsblatt und deren Partnerfirmen per E-Mail oder per Post informiert zu werden. Wenn Sie damit nicht einverstanden sind, streichen Sie bitte diesen Absatz.

Handelsblatt
Substanz entscheidet.