



57

Vater der Revolution
Warum die Ideen von Karl Marx bis heute wirksam sind. Seite 60

Software für zu Hause
Zehn Gratisprogramme, die jeder auf dem PC haben sollte. Seite 62

Immer diese Geigen
Forscher missbrauchen den Geigenbau zu PR-Zwecken. Seite 59

«All diese Fragen schwirren mir gleichzeitig im Kopf herum»

Der britische Physiker Roger Penrose ist einer der angesehensten Wissenschaftler unserer Zeit. Er ist überzeugt davon, dass das Bewusstsein ein quantenmechanischer Vorgang ist und dass das Universum weder einen Anfang noch ein Ende hat. Und er erklärt, warum Computer nie denken werden

NZZ am Sonntag: Sie haben sich auf vielen Gebieten einen Namen gemacht und selbst die Frage nach dem Fundament des Bewusstseins nicht gescheut. War diese wissenschaftliche Breite Ihnen in die Wiege gelegt?

Roger Penrose: Ich glaube ja. Mein Vater war Genetiker, er hat aber, anders als die meisten seiner Kollegen, mathematische Methoden angewandt. Meine Mutter war Ärztin, und von meinen Geschwistern haben fast alle eine akademische Laufbahn an Universitäten gemacht. Mein Bruder Jonathan war Psychologe und zehnmal britischer Schachmeister – ein Rekord.

Glauben Sie, dass Intelligenz erblich ist?

Gerade das war das Forschungsthema meines Vaters. Er wollte wissen, ob Intelligenz genetisch oder durch die Umwelt bestimmt wird. Er fand damals heraus, was wir heute auch wissen – nämlich, dass beides, Gene und Umwelt, den ungefähr gleichen Einfluss haben.

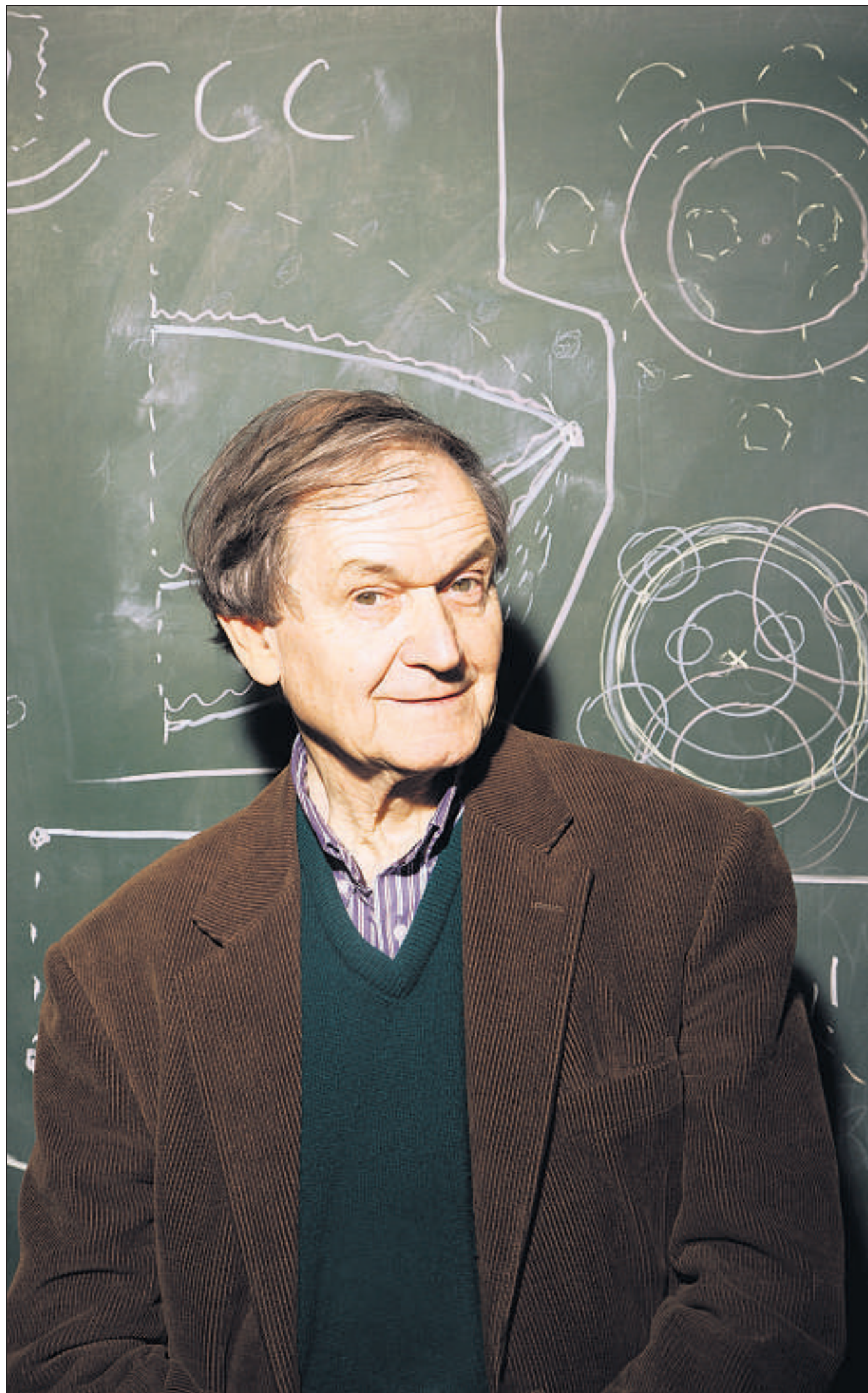
Im Jahr 2012 jährt sich die Geburt des britischen Mathematikers Alan Turing zum 100. Mal. Turing, der vor allem durch seine Arbeiten in Kryptologie und durch seinen Beitrag zum Sieg der Alliierten über Nazi-Deutschland bekannt ist, war auch einer der Begründer der künstlichen Intelligenz. Bis heute ist es aber niemandem gelungen, eine denkende Maschine zu bauen. Sie glauben, dass es nie gelingen wird. Warum?

Das Problem ist sehr fundamental. Es geht darum, ob Denken, oder vielmehr Bewusstsein, ein Berechnungsvorgang ist. Ich bin überzeugt, dass Computer grundsätzlich nie ein Bewusstsein haben werden, weil das, was sie können – nämlich bloss Berechnungen ausführen –, nicht ausreicht. Dabei liegt die Grenze nicht in der Rechenleistung der Computer. Auch Quantencomputer, die eine immens höhere Rechenleistung haben werden als unsere heutigen Rechner, werden nicht denkfähig sein. Turing selbst hat das Problem erkannt.

Also liegt dem Denken ein unberechenbarer Prozess zugrunde. Trotzdem glauben Sie, dass man es physikalisch erklären kann.

Ja, ich habe in meinem Buch «The Emperor's New Mind» die Idee entwickelt, dass Bewusstsein ein quantenmechanischer Vorgang sein muss. Das war mein erstes populärwissenschaftliches Buch, und ich begann es in der Hoffnung zu schreiben, am Schluss selber zu wissen, was genau beim Denken abläuft. Das gelang mir damals leider nicht. Aber dann wurde das Buch von Stuart Hammeroff, einem amerikanischen Anästhesiologen, gelesen. Er wusste durch seine Arbeit, dass es Strukturen in den Nervenzellen gibt, die eine wichtige Rolle bei der Wirkung von Betäubungsmitteln spielen, also beim Abschalten des Bewusstseins. Hammeroff hatte die Idee, dass die von mir vorgeschlagenen Quantenvorgänge in diesen Strukturen stattfinden könnten.

Welche Strukturen sind das?



BOHDAN CUP

Sir Roger Penrose

Roger Penrose, geboren 1931, ist emeritierter Professor an der Universität Oxford und Mitglied der Royal Society. Für seine Arbeiten zur Kosmologie erhielt er viele Auszeichnungen sowie 2000 den Adelstitel der britischen Krone. Am 31. 3. und 1. 4. hält Penrose an der 9. Schweizer Biennale zu Wissenschaft, Technik und Ästhetik im Verkehrshaus Luzern zwei Vorträge (www.neugalu.ch), einen weiteren am 2. 4. um 17 Uhr im D4 Business Center Luzern (Vorverkauf für alle Vorträge: 041 362 20 77). Am 4. 4. um 16 Uhr spricht Penrose im Audimax der ETH Zürich, wo ihm die Richard-Ernst-Medaille verliehen wird. (zsz.)

Sie werden Mikrotubuli genannt und kommen im Skelett aller Zellen, also auch von Nervenzellen, vor. Sie bestehen aus erdnussförmigen Proteinen, die man Tubulin nennt. Diese Proteine schwingen dauernd, so dass sich ihre Form verändert. Jede Form entspricht einem bestimmten Quantenzustand. Wir glauben, dass die koordinierten Schwingungen in den Mikrotubuli das hervorbringen, was wir Gedanken, Gefühle oder Wahrnehmungen nennen.

Manche Physiker glauben, dass solche Quantenzustände in einem Gehirn nicht lange genug überdauern würden.

Dieser Einwand ist berechtigt. Ich glaube aber, dass sich in diesen speziellen Strukturen Quantenzustände einstellen könnten, die sich lange genug über das gesamte Hirn erstrecken würden. Das Hauptproblem besteht darin, dass wir die Quantenvorgänge, die hier eine Rolle spielen könnten, noch nicht gut genug verstehen.

Was meinen Sie damit?

Es geht um ein altes Paradox der Quantenmechanik, das sogenannte Messproblem. Es besteht darin, dass wir das Ergebnis von Messungen in der Quantenmechanik nicht exakt vorhersagen können. Wir können nur Wahrscheinlichkeiten angeben, dass sich etwa ein Atom zum Zeitpunkt einer Messung in diesem oder jenem Zustand befand. Dies, obwohl der Zustand des Atoms zu jedem Zeitpunkt durch seine Wellenfunktion eindeutig bestimmt ist. Man hat sich bisher mit diesem Paradox abgefunden, weil es «für alle praktischen Zwecke» genügt. Aber ich glaube, hier ist die Quantenmechanik unvollständig.

Das Problem liegt also an der Grenze zwischen der mikroskopischen Welt der Quantenmechanik und unserer makroskopischen Welt, in der die Messungen gemacht werden?

Genau. Ich glaube, dass die Quantenmechanik um ein neues Prinzip ergänzt werden muss, das erklärt, wie dieser Übergang zustande kommt. Es könnte auch erklären, wie makroskopische Quantenzustände im Gehirn entstehen, die langlebig genug sind.

«Ich wurde einmal um eine Klasse zurückversetzt, weil ich zu langsam rechnete», erzählt Roger Penrose. (21. März 2012)

► Fortsetzung Seite 58

«All diese ...»

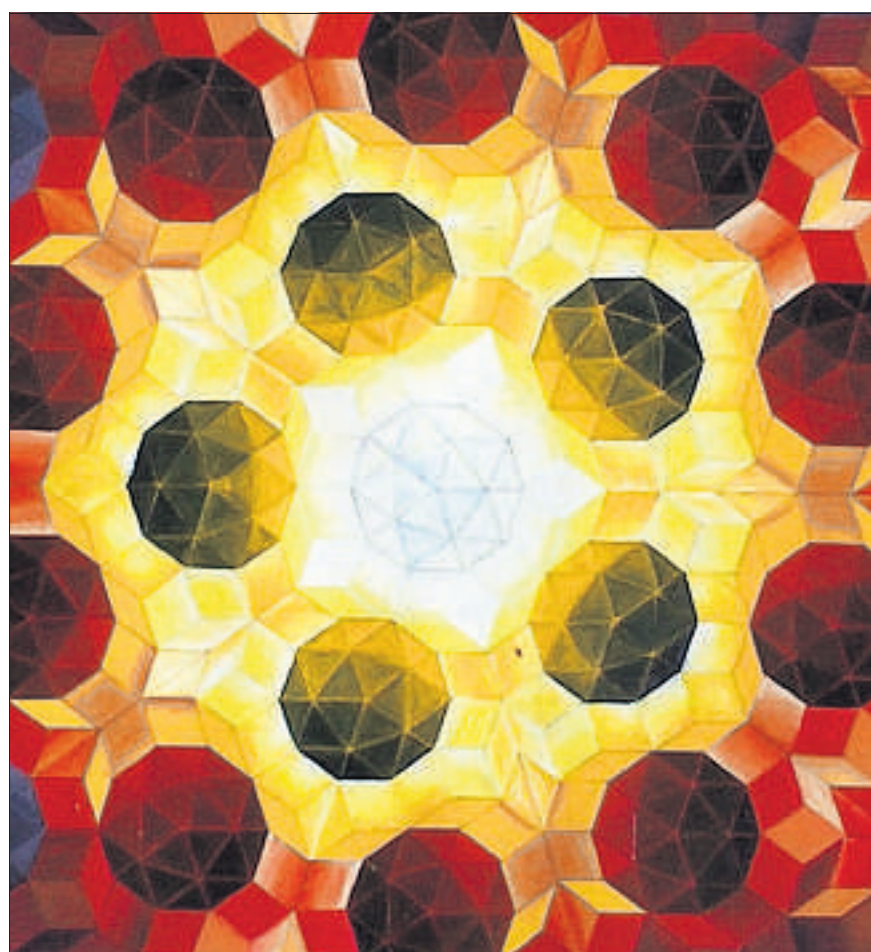
◀ Fortsetzung von Seite 17

Lassen Sie uns vom Grossen, dem Universum, reden. Sie haben kürzlich in Ihrem Buch «Cycles of Time» eine Theorie des Universums vorgelegt, die besagt, dass das Universum weder Anfang noch Ende hat. Vielmehr verlaufe die Geschichte des Alls zyklisch, so dass das Ende eines Zeitalters des Universums gleich der Beginn des nächsten Zeitalters wäre.

Ich habe diese Theorie aufgestellt, um eine Antwort auf die bis anhin ungelöste Frage zu finden, wie das Universum in einen so besonderen, so äusserst unwahrscheinlichen Zustand gelangen konnte wie jenen, der beim Urknall geherrscht haben musste. Ich habe gemerkt, dass man das Problem durch die Vorstellung lösen kann, wonach das Ende unseres Universums zum Urknall eines neuen Zeitalters des Universums führt, ohne dass ein Kollaps passiert, also ohne «Big Crunch». Auch der letzte Urknall vor etwa 13 Milliarden Jahre kam so zustande. Die Theorie erklärt die beschleunigte Ausdehnung des Universums, für deren Entdeckung der Physiknobelpreis im Jahr 2011 verliehen wurde, ohne Rückgriff auf eine mysteriöse dunkle Energie.

Ihre Theorie setzt aber auch voraus, dass in der Endphase eines jeden Zeitalters nur noch masselose Teilchen übrig bleiben. Das würde bedeuten, dass Teilchen wie das Elektron und das Proton, die als stabil gelten, in masselose Teilchen zerfallen müssten.

Das ist tatsächlich der spekulativste Aspekt der Theorie. Aber es gibt eine andere Möglichkeit als den Zerfall der Elektronen und Protonen. Es ist möglich, dass die Masse dieser Teilchen über die Jahrmilliarden sehr langsam abnimmt. Nach dem heutigen Stand der Physik ist nämlich nicht klar, ob die Masse von Teilchen über sehr lange Zeiten immer gleich bleibt. Wir wissen einfach noch nicht, warum etwa das Elektron genau die Masse



Künstlerische Darstellung der von Penrose entdeckten nichtperiodischen Parkettierung.

«Physikalische Theorien müssen mathematisch nicht schön sein. Das Mysterium aber ist, dass sie es tatsächlich sind!»

hat, die wir heute messen. Das werden wir auch nicht erfahren, wenn das Higgs am Cern gefunden wird. Das Higgs würde erklären, warum Teilchen eine Masse haben, aber nicht, ob sich die uns bekannte Masse im Laufe der Zeit verändern kann. Dafür wird weitere Forschung nötig sein.

Wenn die Geschichte des Universums zyklisch verläuft, dann hat dieses Interview bereits in einem früheren Zeitalter des Universums stattgefunden.

Vielleicht, aber nicht zwischen uns, sondern zwischen zwei dreiaugigen Menschen mit blauen Haaren. Im Ernst: Die Wiederholung geht nicht so weit ins Detail, aber ich glaube, die

Das Werk von Penrose

Grosse Rätsel

Schon als Doktorand erfand Roger Penrose eine Technik für die Matrizenrechnung. In den 1960er Jahren leistete er mit Stephen Hawking wichtige Beiträge zur Kosmologie, besonders zum Verständnis der Entstehung Schwarzer Löcher. Er formulierte die nach ihm benannte Hypothese der kosmischen Zensur, wonach das Innere von Schwarzen Löchern vom Rest des Universums durch einen «Ereignishorizont» abgeschnitten sein muss. Penrose ist Autor vieler Bücher, in denen er sich mit mathematischen, physikalischen und philosophischen Problemen befasst. Sein jüngstes Buch «Cycles of Time» (2010) enthält seine kontroverse Theorie eines zyklischen Universums. Leonid Leiva

fundamentalen Gesetze der Physik bleiben in jedem Zeitalter gleich.

Ihre Theorie sagt uns aber auch nicht, ob diese Zyklen jemals ein Ende haben werden.

Das ist auch nicht gerade wenig verlangt von einer Theorie. Ehrlich gesagt, wusste ich anfänglich darauf keine Antwort. Heute neige ich dazu, zu glauben, dass der Prozess nie zum Stillstand kommen wird.

Ihre Theorie gibt dem Universum eine schöne geometrische Form. Das dürfte Sie sehr zufriedenstellen, plädieren Sie doch stets für mathematische Schönheit in der Physik.

Ich denke nicht, dass physikalische Theorien mathematisch schön sein müssen. Das Mysterium aber ist, dass sie es tatsächlich sind! Diese Schönheit ist umso verblüffender, wenn sie unerwartet kommt.

Wie bei der von Ihnen entdeckten nicht-periodischen Parkettierung der Ebene.

Ja, mit diesem Muster kann man die Ebene lückenlos ausfüllen, ohne dass sich das Muster wiederholt, deshalb nichtperiodisch. Das schien nichts als eine mathematische Spielerei. Aber dann fand man, dass solche Muster in der Natur tatsächlich vorkommen, bei sogenannten Quasikristallen. Das hätte ich nie erwartet!

Heute gibt es sogar Puzzles für Kinder, die auf diesen Mustern basieren und die Sie selbst entwerfen. Spielt Ihr elfjähriger Sohn damit?

Ja, und sogar ziemlich schnell. Dafür ist er langsam im Rechnen.

Das waren Sie ja auch als Kind.

Ich wurde sogar einmal um eine Klasse zurückversetzt, weil ich zu langsam rechnete.

Jemand hat einmal eine Klassifizierung von Forschern gemacht, die einem Aufsatz des berühmten Oxford-Historikers Isaiah Berlin entliehen ist. Demnach gibt es die Füchse, die viele Tricks kennen und oft das Forschungsgebiet wechseln können, und die Maulwürfe, die nur eine, dafür aber eine tiefe Wahrheit kennen. Sind Sie ein Fuchs oder ein Maulwurf?

Es ist schwer, sich selbst einzuordnen. Das sollten andere tun. Aber es gibt viele sehr erfolgreiche Wissenschaftler, die lange konzentriert an einer Frage arbeiten können und dann zur nächsten Frage wechseln und dann wieder zur nächsten. Bei mir ist das anders. Irgendwie schwirren mir all diese Fragen nach dem Schicksal des Universums, nach den Mysterien der Quantenmechanik oder nach dem Wesen unseres Bewusstseins immer gleichzeitig im Kopf herum. Ich kann sie einfach nicht voneinander trennen. Interview: Leonid Leiva

Leistung oder Effizienz? Warum sich entscheiden?

Der IBM System x3650 M3 Express Server mit den neusten Intel® Xeon® Prozessoren der 5600er Serie hilft Ihnen, die Produktivität zu steigern und die Kosten zu senken. Mit bis zu 55% mehr Rechenleistung gegenüber anderen Modellen sorgt der IBM System x3650 M3 Express Server schneller für bessere Resultate – und für einen ROI in nur drei Monaten. Gemeinsam mit Ihrem IBM Business Partner gestalten Sie eine IT-Umgebung, die mit dem Wachstum Ihres Unternehmens Schritt halten kann. Entscheiden Sie sich für die Nr. 1 bei der Kundenzufriedenheit im Bereich Server.*



NEU: IBM System x3100 M4

CHF 769.-**

oder 36 monatliche Zahlungen à CHF 23.-***

Best.-Nr. 2582E3G

Prozessor: Intel® Xeon® E3-1230 Quad-Core 3.2 GHz

Speicher: 4 GB (max. 32 GB)

Festplatte: 250 GB (max. 4 x SATA 3.5" HDD)

Controller: ServeRAID C100 (Raid 0, 1 und 5)

Stromversorgung: 1 x 350 W (max. 1)

Garantie: 1 Jahr, 5 x 9 (vor Ort), next Business Day

Garantieverweiterung mit ServicePac: 1 Jahr (vor Ort), 7x24, 24h Committed Support, Bestell-Nr. 46D4172, CHF 266.-***

IBM System Storage DS3512

CHF 4615.-**

oder 42 monatliche Zahlungen à CHF 138.-***

Single Controller Best.-Nr. 1746A2S

4 x oder 8 x 6 Gbps SAS Ports oder 8 x 8 Gbps FC Ports und 4 x 6 Gbps SAS Ports oder 8 x 1 Gbps iSCSI Ports und 4 x 6 Gbps SAS Ports

Bis zu 192 Laufwerke, erweiterbar mittels EXP3512 (12 x 3,5" drives) und EXP3524 (24 x 2,5" drives)

Raid-Levels 0, 1, 3, 5, 6, 10

Garantie: 3 Jahre, 5 x 9 (vor Ort), next Business Day

Garantieverweiterung mit ServicePac: 3 Jahre (vor Ort), 7x24, same Business Day, Bestell-Nr. 91Y3865, CHF 1700.-***

IBM System x3650 M3

CHF 2430.-**

oder 36 monatliche Zahlungen à CHF 73.-***

Best.-Nr. 7945KFG

Prozessor: Intel® Xeon® E5645 Six-Core 2.40 GHz

Speicher: 4 GB (max. 288 GB)

Festplatte: 2 x 146 GB (max. 16 x 10k SATA/SAS 2.5" HDD)

Controller: ServeRAID M5014 (Raid 0, 1, 5 und optional 6)

Stromversorgung: 2 x 460 W Hot Swap

Garantie: 3 Jahre, 5 x 9 (vor Ort), next Business Day

Garantieverweiterung mit ServicePac: 3 Jahre (vor Ort), 7x24, 4h Reaktionszeit, Bestell-Nr. 65Y5221, CHF 927.-***



Jetzt verfügbar bei Ihrem IBM Business Partner!
ibm.com/ch/kmu/bundle

*TBR-Studie, 1. Q. 2011: Retrospektive Analyse zur Kundenzufriedenheit bei IBM x86 Servern, Mai 2011. ** Unverbindliche Preisempfehlung inkl. 8,0% MWST. Finanzierungsmöglichkeiten sind verfügbar. Andere Namen von Firmen, Produkten und Dienstleistungen können Marken oder eingetragene Marken ihrer jeweiligen Inhaber sein. IBM behält sich das Recht vor, dieses Angebot ohne Vorankündigung zurückzuziehen oder zu modifizieren. Abbildungen können vom Angebot abweichen. *** Diese Finanzierungsbedingungen (Darlehen) gelten nur für Geschäftskunden und vorbehaltlich positiver Bonitätsprüfung sowie verbindlicher Finanzierungsangebote durch IBM Global Financing. Die minimale Finanzierungssumme beträgt CHF 10 000.- exkl. MWST. Änderungen und Rückzug bleiben vorbehalten. Intel, das Intel Logo, Xeon und Xeon Inside sind eingetragene Marken der Intel Corporation in den USA und/oder anderen Ländern. Marken-, Produkt- und Servicebezeichnungen anderer Unternehmen/Hersteller werden anerkannt. IBM, das IBM Logo, IBM Express Advantage Logo und ibm.com sind Marken der International Business Machines Corporation und in vielen Ländern registriert. Eine aktuelle Liste der IBM Marken ist auf der Internetseite www.ibm.com/legal/copytrade.shtml abrufbar. © 2012 IBM Corporation. Alle Rechte vorbehalten.