

➤ HINTERGRÜNDE

WIE EIN LAPTOP, NUR MAL 5000

DIE WELT DER SUPERCOMPUTER

Die Welt der Forschung ist komplex und voller Probleme. An der Linzer JKU versuchen Wissenschaftler Lösungen zu finden – mithilfe eines Supercomputers.

Es gibt Orte, die erst auf den zweiten Blick Charme versprühen. Die Kabine eines Fußballvereins im Unterhaus zählt dazu, der Warteraum beim Zahnarzt ebenso und vermutlich auch der Operationssaal in einem Krankenhaus.

Auch die Linzer Johannes Kepler Universität hat so einen Ort – allerdings kennen ihn die wenigsten. In unmittelbarer Nähe des Uniteichs gelegen befindet sich das Juridicum, eines der ältesten Universitätsgebäude am Campus. Es beherbergt Büros für Institute der Rechtswissenschaftlichen Fakultät, eine Fachbibliothek und das Informationsmanagement der Universität. Was kaum jemand weiß: Im hintersten Raum des Juridicums, den Gang entlang und hinter einer abgesperrten Tür verborgen, ist auch der teuerste Gegenstand der JKU untergebracht: der Supercomputer MACH-2.

Drei raumhohe, ohrenbetäubend laut brummende Kästen, aus denen grellgrüne Lichter blitzen, und dutzende Kabel, die graue Kästchen miteinander verbinden: So wirkt der Stolz der JKU auf Außenstehende. Viele hätten sich die erste Begegnung wohl anders vorgestellt. Im Raum ist es laut und heiß. Der MACH-2 hat Gesellschaft von mehreren anderen Rechnern, die arbeiten und dabei Wärme abgeben.

Wolfgang Schreiner und Johann Messner sind diesen Anblick gewohnt. Schreiner ist Professor am Institut für Symbolisches Rechnen (RISC) an der JKU, Messner ist Leiter der Abteilung für Wissenschaftliches Rechnen am Informationsmanagement, dem EDV-Dienstleister der Uni. Was beide verbindet, ist der Supercomputer. Schreiner arbeitet als Projektkoordinator, Messner kümmert sich mit seinem Team um den Betrieb des gesamten Pools an Hochleistungsrechnern.

„Praktisch keine Wissenschaft kommt heutzutage ohne solche Hochleistungsrechenkapazitäten aus“, sagt Schreiner. „Das ist auch der Grund, warum wir hier auf der JKU so einen Supercomputer haben.“ Der MACH-2 ist heuer seit Ende Februar in Betrieb. Im Oktober vergangenen Jahres wurde die Maschine geliefert, im November der Probetrieb gestartet.

Drei raumhohe, ohrenbetäubend brummende Kästen, aus denen grellgrüne Lichter blitzen, und dutzende Kabel, die graue Kästchen miteinander verbinden

Supercomputer werden gemeinhin als die schnellsten Computer bezeichnet. Dies deshalb, weil sie sehr viele Rechnungen in sehr kurzer Zeit schaffen. Der Rechner in Linz des US-amerikanischen Herstellers Hewlett Packard Enterprise kann bis zu 77 Billionen Rechenoperationen durchführen – pro Sekunde. Eine Zahl, die die menschliche Vorstellungskraft mühelos übersteigt. „Man könnte sagen, unser Rechner ist ungefähr so leistungsfähig wie 5000 handelsübliche PCs.“ Aber es geht noch mehr: Die weltbesten Rechner in den USA oder in Asien kommen auf rund 100 Billionen Rechnungen in der Sekunde.

Was Supercomputer abseits ihrer enormen Rechenleistung noch kennzeichnet, ist, dass sie nicht unbedingt billig sind. 1,6 Millionen Euro kostete es, dass der MACH-2 den Weg nach Linz fand. Allerdings musste die JKU das Geld nicht selbst in die Hand nehmen. Die Kosten steuerte das Wissenschaftsministerium aus Mitteln für den Bereich Forschung bei. Linz dient als Zentrale eines Kooperationsprojekts, dem sich auch die Universitäten Innsbruck und Salzburg, das Johann-Radon-Institut und die Technische Universität Wien angeschlossen haben. Erklärtes Ziel: eine gemeinsame Infrastruktur, um Berechnungen in den unterschiedlichsten Wissenschaftsdisziplinen durchführen zu können. Dazu zählen Mathematik, Informatik, Mechatronik, Physik, Chemie, Biologie, Pharmazie, aber auch Volkswirtschaftslehre.

Die Anwendungsbereiche sind dabei ebenso vielfältig wie praxisnah: Es geht um 3-D-Modellberechnungen in der Archäologie, um Klima- und Wettermodelle, Berechnungen zur Vorhersage der Wechselwirkung biologischer Wirkstoffe, Wirkstoffe für die Entwicklung neuer Medikamente, um Prognosen für die Entwicklung von Börsenkursen oder Analysen über das individuelle Anbieter- und Nachfrageverhalten im Onlinehandel. Was all diese Berechnungen eint: Sie erfordern besonders viel Speicher.

Im Prinzip befassen sich alle Modelle damit, Prozesse zu simulieren. Je mehr sich eine Simulation komplexer Zusammenhänge der Realität nähert, desto mehr Rechenleistung wird benötigt. Viele Supercomputer haben den Vorteil, durch ihre Kapazitäten mehrere Abhängigkeiten zu berücksichtigen und zu einem aussagekräft-

tigeren Gesamtergebnis zu kommen. Damit können Wissenschaftler etwa auch Vorhersagen zu Erdbeben oder Vulkanausbrüchen treffen oder die möglichen Auswirkungen neuer Medizinprodukte auf den Menschen abschätzen – der Supercomputer als Unterstützung für „Wissensvorsprung“.

An der JKU wollen die Forscherinnen und Forscher diesen Vorsprung auch in Zählbares ummünzen. Viele Projekte sind freilich noch in der Entwicklungsphase. Bis es konkrete Ergebnisse gibt, wird es noch dauern, sind sich Schreiner und Messner einig. Der Start stimmt die Verantwortlichen aber positiv. Zwischen 6000 und 7000 Personen sind berechtigt, mit dem Supercomputer zu arbeiten. Täglich seien zwischen 85 und 90 eingeloggt, sagt Messner. 680 Benutzer kommen aus dem Linzer Raum. Der Rest verteilt sich auf die übrigen Projektpartner. „Wir haben ein Fair-Use-Prinzip“, sagt Messner. Das bedeutet, dass die Rechenleistung der finanziellen Beteiligung an den Betriebskosten entspricht. 40 Prozent entfallen auf die JKU, weitere 40 auf die Universität Innsbruck, 20 auf das Johann-Radon-Institut, die Technische Universität Wien und die Universität Salzburg. Die Kostenfrage spielt eine entscheidende Rolle. „Einer allein kann sich das nicht leisten, keine Institution, keine Universität, auch Privateinrichtungen können das immer seltener.“

Dabei ist der Ort, an dem der Supercomputer steht, eigentlich nebensächlich. Da es sich bei dem Rechner physisch „nur“ um drei Kästen handelt, kann jeder Berechtigte „von außen“ darauf zugreifen. Ein normaler Laptop mit einem Zugangscode genügt, um den Supercomputer nutzen zu können. „Das ist kein 08/15-PC, auf dem man seine E-Mails checkt oder im Internet surft, sondern eine Sondermaschine, ein Großrechner“, sagt Messner. „Und darum sollte jeder Forscher darauf zugreifen können.“

Warum die Wahl des Standortes trotzdem auf Linz gefallen ist, erklärt ein Blick in die Geschichtsbücher. In den 1980er-Jahren steckten Supercomputer in Österreich noch in den Kinderschuhen. Initiativen wie das ACP (Austrian Center for Parallel Computing) begannen sich zu formieren. Schon damals war Linz federführend dabei, erinnert sich Schreiner. Es wurde probiert, geforscht und entwickelt. Zu Beginn gab es eine Maschine, bei der 20 Prozessoren zusammengeschaltet waren, heute ist es das Hundertfache. Im Lauf der Jahre etablierte sich die Linzer JKU als zentraler Punkt. Und das, obwohl es im Osten Österreichs starke Konkurrenz gab und nach wie vor gibt. In Wien steht Österreichs leistungsfähigster Supercomputer, der Vienna Scientific Cluster. Pro Sekunde gelangen ihm rund 600 Billionen Rechenoperationen, also etwa das Zehnfache der Linzer Installation.

Allerdings handelt es sich bei den beiden Geräten um unterschiedliche Arten von Supercomputern. Während der Wiener Rechner ein Clustercomputer ist, ist der Linzer Rechner vom Typ eines Shared-Memory-Supercomputers. Unter Clustercomputern verstehen Wissenschaftler Zusammenschlüsse vieler einzelner kleiner Computer. Jedes einzelne Modul besteht aus einem Prozessor und einem Speicher. „Die Schwierigkeit, diesen Rechner zu betreiben, ist, seine Aufgabe in so viele kleine Teile zerlegen zu müssen“, erklärt Schreiner. Das sei bei dem in Linz angewandten Prinzip nicht der Fall. Zwar gebe es ebenfalls eine große Anzahl an Prozessoren, aber nur einen gemeinsamen Speicher. „Damit kann man ganz andere Probleme lösen, und zwar auch viel einfacher“, sagt der Projektkoordinator. Viele Anwender würden nicht so

Es geht um 3-D-Modellberechnungen in der Archäologie, Klima- und um Wettermodelle, Berechnungen zur Vorhersage der Wechselwirkung biologischer Wirkstoffe für die Entwicklung neuer Medikamente, um Prognosen für die Entwicklung von Börsenkursen.

viele Prozessoren, aber sehr viel Speicher benötigen. „Und das ist das, was wir ihnen zur Verfügung stellen.“

Um seine Erklärung zu vereinfachen, bemüht Schreiner einen Vergleich mit dem Motorsport. Ein Clustercomputer sei vergleichbar mit einem Formel-1-Rennwagen: unschlagbar auf gerader Strecke. „Aber die Rallye Paris-Dakar werden Sie mit so einem Gerät nicht gewinnen. In Linz haben wir einen Offroad-Geländewagen, mit dem man auch schwierige Hindernisse umfahren kann.“ Das führe auch dazu, dass der Rechner leicht von fachfremden Wissenschaftlern verwendet werden könne. „Viele, die mit Supercomputern nichts am Hut haben, erkennen, dass sie mit dem Wissen, das sie schon haben, den Rechner bedienen können.“

Auch deshalb sei der Supercomputer in Linz besonders. Benannt ist der MACH-2 nach dem österreichischen Physiker Ernst Mach, der auch Namensgeber der Mach-Zahl ist, die die Geschwindigkeit im Verhältnis zu Schallgeschwindigkeit beschreibt. Die Ziffer 2 hinter dem Namen des neuen Linzer Rechners deutet darauf hin, dass es bereits einen Vorgänger gegeben hat. MACH-1 wurde Anfang der 2010er-Jahre um zwei Millionen Euro in Linz installiert, als Kooperationsinitiative zwischen der JKU und der Uni Innsbruck. Er befindet sich noch immer an der JKU, und zwar im Rechenzentrum gleich neben seinem Nachfolgemodell. „Seine Zeit neigt sich aber schon dem Ende zu“, sagt Messner. Grund sind die Erhaltungskosten. Stromversorgung und Klimatisierung gehen ins Geld. Rund 100.000 Euro musste die Uni pro Jahr aufwenden, um den MACH-1 zu betreiben. Die neue Maschine kommt auf weniger als die Hälfte Kosten. „Und sie ist drei- bis viermal so schnell“, sagt Messner.

Den internationalen Vergleich muss der MACH-2 nicht scheuen: „Wir haben hier eine Maschine, die es in Europa kaum vergleichbar gibt“, sagt Schreiner. Am Center for Theoretical Cosmology in Cambridge, das Stephen Hawking bis zu seinem Tod leitete, steht eine Installation ähnlicher Architektur. Das Linzer Modell ist ein Nachfolger einer Maschine, mit der die Forscher in Ostengland lange gearbeitet haben. Vor ein paar Monaten erhielten die Wissenschaftler einen neuen Supercomputer.

Auch in Japan gebe es einen Supercomputer dieses Typs mit noch etwas höherer Leistung, sagt Schreiner. „Aber sonst fällt mir schon nicht mehr viel ein. Wir sind mit unserer Architektur international sichtbar.“

Ein Ziel der Verantwortlichen in Linz ist es auch, den Supercomputer in die tägliche Universitätsarbeit einzugliedern. Lehrveranstaltungen behandeln das Thema „Parallel Computing“, bei dem Professoren das Programmieren lehren. Studierende erhalten Übungsaufgaben und haben eine gewisse Zeit, um Lösungen zu entwickeln und zu testen.

Allerdings wäre es verfrüht, die Studierenden sofort auf dem Supercomputer arbeiten zu lassen, sagt Schreiner: „Sie arbeiten auf anderen Geräten, sogenannten Vorfeldrechnern, die aber so ähnlich wie das Original aufgebaut sind.“ Das soll den Studierenden helfen, derartige Großrechner effektiv nutzen zu lernen. „Der Ausbildungsaspekt ist schon ein wesentlicher“, sagt Schreiner, „man hat nichts davon, so eine Maschine zu haben, wenn sie niemand bedienen kann.“ Wobei die Wissenschaftler im selben Atemzug den MACH-2 nicht als „heiligen Gral“ betrachten, zu dem nur Spitzenforscher Zugang hätten. „Das ist eine Laborausstattung für die Lehrenden und Studierenden. Wenn ich zu kleinkariert agiere, behindert das die Nutzung“, sagt Messner.

Bei den Studierenden wirke der Supercomputer wie ein „Aha-Erlebnis“. Den meisten sei das Prinzip der Shared Memory nicht so geläufig wie jenes des Clustercomputings, sagt Schreiner. „Sie sind dann überrascht, wenn sie ein Kommando eintippen und sehen, dass sie nicht vier Rechenkerne haben, sondern 1700.“

Um an den komplexen Themen im Uni-Alltag zu forschen, muss nicht nur der Supercomputer Anstrengungen vollbringen. Die Wartung einer solchen Maschine stelle alle Beteiligten vor große Herausforderungen, sagt Messner. „Die Maschine hat eine elektrische Leistungsaufnahme von gut 22 Kilowatt, sie ist damit im Betrieb wesentlich günstiger als das Vorgängermodell mit rund 50 Kilowatt.“ Dabei handelt es sich allerdings um Leistungsangaben an der unteren Schwelle. Beim Start der Maschine ist es die doppelte Menge.

Die JKU macht sich die Leistungsstärke des MACH-2 aber anderweitig zunutze. Weil die einzelnen Rechenwerke in den drei Schränken aufgrund elektrischer Schaltvorgänge Wärme abgeben, sind im gesamten Raum Lüftungen installiert. Diese Wärme nehmen Kühlregister auf und geben sie über die Klimaanlage an die Außenluft ab oder nutzen sie über Wärmewandler zur Gebäudeheizung.

Und was passiert, wenn es zu Schäden an der Maschine kommt? Das Risiko dafür sei minimal, sagen die Verantwortlichen. Da die Maschine aus 72 Modulen mit lokalem Speicher und zwei Prozessoren bestehe, ließen sich einzelne Teile herausnehmen, ohne dass die Leistungsfähigkeit des Supercomputers darunter wesentlich leide. Shared-Memory-Systeme seien zudem zuverlässiger als Clustercomputer, sagt Schreiner. Denn die Einzelteile seien sehr robust und wohl aufeinander abgestimmt. „Bei den Cluster-Anordnungen sind Standardcomputer einfach aneinandergeschaltet.“ Das senke die Zuverlässigkeit.

Problematisch – sowohl für Clustercomputer als auch für Shared-Memory-Systeme – wären Einflüsse der Natur. Blitze, Erdbeben, Feuer und Wasser könnten den Betrieb lahmlegen. Davon will in Linz niemand ausgehen. „Das wäre das Worst-Case-Szenario“, sagen Schreiner und Messner unisono. Die Maschine sei zum einen gegen alle möglichen Szenarien versichert und zum anderen unter Vollwartung. „Sie meldet sich, wenn es ihr schlecht geht“, sagt Messner. „Wenn ein Teil kaputtgeht, zieht man es schlimmstenfalls heraus und hat eine kleinere Maschine, die problemlos weiterläuft“, ergänzt Schreiner.

Neben dem Risiko eines physischen Schadens besteht bei Computern auch immer die Gefahr eines Hackerangriffs. Verschiedene Schutzmechanismen garantieren, dass jemand ohne berechtigten Zugriff es sehr schwer haben würde, den MACH-2 zu verwenden, sagt Schreiner. Auch in dieser Hinsicht habe sich im Vergleich zu den Anfängen im Supercomputing einiges getan. „Früher war man noch naiver und vertrauenssüchtiger“, sagt der Projektkoordinator. Messner schlägt in dieselbe Kerbe: „Es wurde viel mehr in Richtung Sicherheit unternommen – da kann man aber auch gar nicht aus.“

Schreiner nennt einen weiteren Aspekt, der es Hackern erschwert, auf den MACH-2 zuzugreifen: „Bevor man sich auf dem Supercomputer einloggen kann, muss man sich auf einer anderen Maschine einloggen. Das heißt, sie hängt nur indirekt am Netz.“ Dadurch sei ein gewisser Puffer vor Angriffen gegeben. Bleibt noch die Frage nach dem Vertrauen in jene, die berechtigterweise auf den Rechner Zugriff haben.

Weltweit gab es bereits Fälle, in denen das für widerrechtliche Zwecke genutzt wurde. Im Februar dieses Jahres wurden mehrere Ingenieure eines russischen Kernforschungszentrums festgenommen. Ihnen war vorgeworfen worden, mit den dortigen Supercomputern die Kryptowährung Bitcoin „schürfen“ zu wollen. Bitcoin wird durch komplexe Rechenoperationen geschaffen, „Mining“ genannt. Je leistungsstärker die Computer sind, umso schneller lässt sich die Kryptowährung schürfen. Das wusste wohl auch ein US-amerikanischer Wissenschaftler, der 2014 vorgab, wissenschaftliche Berechnungen durchzuführen, aber in Wirklichkeit Supercomputer zum Generieren von Bitcoins zweckentfremdete.

Je leistungsstärker die Computer sind, umso schneller lässt sich die Kryptowährung schürfen.

Der materielle Schaden halte sich in so einem Fall in Grenzen, bestätigen Schreiner und Messner. Schwerer wiege, dass der Rechner in dieser Zeit nicht für Forschungszwecke genutzt werden könne. „Sollte jemand so etwas bei uns versuchen, wäre das für alle Beteiligten ein Nachteil. Er hat nichts davon, und uns wird Strom verrechnet“, sagt Messner.

Für Hacker wären auch Betriebsgeheimnisse ein begehrtes Ziel. Was in Linz „eher eine untergeordnete Rolle“ spielt, so Schreiner, mache vor allem deutsche Automobilfirmen nervös. Diese hätten ebenfalls Supercomputer, und zwar im Unternehmen und gut abgesichert. „Anders wäre es günstiger, aber sie wollen ihre Daten verständlicherweise nicht hergeben“, sagt Schreiner. Supercomputer haben bei Autobauern aber auch einen anderen Effekt: Anhand der Rechenlast lässt sich erkennen, an welcher Stelle im Entwicklungszyklus sich ein bestimmtes Modell befindet.

Nicht nur bei VW & Co. spielt der Entwicklungszyklus eine entscheidende Rolle, sondern auch beim Supercomputing. Ein typisches Modell hat eine Lebensdauer von drei bis vier Jahren, ehe es an Leistung einbüßt und in der Erhaltung zu teuer wird. Auch deshalb blickt man bei der JKU bereits in die Zukunft. „Die Technologie schreitet voran“, sagt Schreiner. Momentaner Trend sei, dass Supercomputer möglichst viel Speicher bereitstellen, aber die Zahl der Prozessoren zurückgehe. Auch Hybridmodelle könnte es in Zukunft geben, vermutet der Projektkoordinator. Jedenfalls werde die Speicherfunktion an Bedeutung gewinnen. „Eine neue Idee wäre, dass der Speicher selbst Operationen durchführt – ohne einen Prozessor verwenden zu müssen“, sagt Messner. Das sei aber alles noch Zukunftsmusik, betonen die Wissenschaftler.

Ähnliches gelte für eine Technologie, die über jene der jetzigen Supercomputer hinausgeht: Quantencomputing. Diese Rechner arbeiten nicht auf Basis der Gesetze der klassischen Physik bzw. Informatik, sondern auf Basis quantenmechanischer Zustände. Die Schwierigkeit: Der Quantencomputer ist gegenwärtig ein überwiegend theoretisches Konzept. Grundlagenforscher tüfteln schon seit Längerem an der Entwicklung, auch Google, IBM, Microsoft, die EU, China und sogar Volkswagen investieren in die für viele mysteriöse Technologie. Es gibt mehrere Vorschläge, wie Quantencomputer realisiert werden sollen, und auch einige Konzepte wurden schon erprobt. Die Leistung klassischer Supercomputer konnte bisher allerdings noch nicht erreicht werden. „Ich denke, es wird in Zukunft etwas in diese Richtung geben, aber es wird sehr spezialisiert sein und nicht für den allgemeinen Gebrauch“, sagt Schreiner.

An der JKU gibt es ebenfalls bereits erste Versuche, dem Quantencomputer näher zu kommen. Forscher des Instituts für Integrale Schaltungen haben eine Simulation entwickelt, die es möglich machen soll, Einblicke in die Welt der Quantencomputer zu erhalten. Und so funktioniert es: Anstatt alle Beschreibungen einer Berechnung zu speichern, werden Informationen weggelassen, ohne dass der Sinn der Gesamtinformation verändert wird. Diese Methode ermöglicht es, Milliarden von Beschreibungen auf wenige Hundert Formeln zu reduzieren. Der Erfolg der Linzer Forscher hat Aufsehen erregt: Google zeichnete das Team mit einem Preis aus.

Während der Quantencomputer noch Zukunftsmusik ist, heißt die Gegenwart Supercomputer. Ein halbes Jahr hat er in Linz bereits absolviert. Geht es nach Wolfgang Schreiner, wartet aber noch viel Arbeit. „Wir müssen diese Expertise, die wir hier haben, in Zukunft weiterführen und einen Anziehungspunkt für Österreich darstellen.“ Johann Messner schließt die Tür zum Raum mit dem Supercomputer. Studierende gehen den Gang entlang mit Büchern unter den Armen und Kaffee in der Hand. Beinahe als wüssten sie nicht, dass der MACH-2, der Stolz der JKU, nur wenige Meter entfernt von ihnen steht – und einen Charme versprüht, dem man sich nur schwer entziehen kann.



MARTIN ROITHNER (24) aus Weis ist Redakteur der „ÖÖNachrichten“. Er arbeitet seit zwei Jahren bei der Zeitung, seit Oktober 2016 im Wirtschaftsressort. Zuvor hat er in Salzburg eine Ausbildung zum Sportjournalisten absolviert und bei verschiedenen Medien gearbeitet („Tips“, „Salzburger Nachrichten“, „Salzburger Kronen Zeitung“).