

Mindshift

Impulse für den Wandel – TUM Campus Heilbronn

Chips and Change

Europas Aufholjagd in die
digitale Unabhängigkeit | [Seite 4](#)



Zentren der Zukunft

Wie Europa seine Chip-
Kompetenz stärkt | [Seite 8](#)

Zusammenarbeit zahlt sich aus

Internationale Stimmen zur
Chip-Welt von morgen | [Seite 24](#)

Zwischen Zahlen und Zäsuren

Forschung zu Webtracking und
Scheidungen in Firmen | [Seite 30](#)

Inhalt

Ausgabe Nr. 11

4 Im Fokus | Chips für Europa

Hochleistungs-Chips sind das Rückgrat der digitalen Revolution – bislang jedoch weitgehend ohne europäische Beteiligung. Die TUM-Professoren Andreas Herkersdorf und Carsten Trinitis diskutieren, wie Europa technologisch aufholen kann.

8 Designkompetenz aufbauen

Europa zieht nach: Am Campus Garching entsteht ein High-Tech-Zentrum für KI-Chips der TUM. Imec aus Belgien bringt die Automotive-relevante Chiplet-Technologie nach Heilbronn.

14 Forschung vorantreiben

Revolution mit Herausforderungen: Prof. Freddy Gabbay von der Hebräischen Universität Jerusalem ordnet die Lage ein. Die TUM ist Teil der Forschung an einer unabhängigen europäischen Infrastruktur für Hochleistungsrechner.



22 Auf Bildung setzen

Die TUM engagiert sich für exzellenten Nachwuchs in der Halbleiterbranche – unter anderem mit dem neuen Masterstudiengang „Microelectronics and Chip Design“.

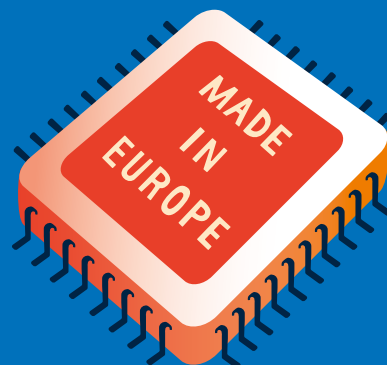
24 Internationale Vorreiter

Wie der globale Spitzenplatz zu halten ist, schildern Prof. Subhasish Mitra von der Stanford University und Wouter Visser vom niederländischen Weltmarktführer für Lithographiesysteme ASML.

28 News vom TUM Campus

Wie wirken sich Ehescheidungen an der Unternehmensspitze aus? Webtracking: ja oder nein? Einblick in aktuelle Forschung und starke Formate wie 1000+ und TUM Talk.

35 Impressum





Liebe Leserinnen und Leser,

die vierte industrielle Revolution ist noch nicht ganz abgeschlossen, da befinden wir uns schon mitten in der Revolution 5.0. Die Basis dieser fünften Welle bilden Hochleistungs-Chips – winzige Bausteine, die komplexe Berechnungen ermöglichen und als unsichtbare Motoren nahezu aller digitalen Anwendungen fungieren: von Smartphones über autonome Fahrzeuge bis hin zur Steuerung kritischer Infrastrukturen. Die Entwicklung und Produktion dieser essenziellen Komponenten sind eine Herausforderung, die Europa mit vereinten Kräften meistern will.

Für uns am TUM Campus Heilbronn ist es eine zentrale Chance, an dieser technologischen Aufholjagd mitzuwirken und Europa im globalen Wettbewerb stärker zu positionieren. Chips sind mehr als technische Bauteile. Sie stehen für Innovation, strategische Weitsicht und die Fähigkeit, Forschung, Wirtschaft und Ausbildung eng miteinander zu verzahnen sowie Akteure global zu vernetzen. Europa befindet sich an einem Wendepunkt. Es gilt, Kompetenzen in Chip-Design und -Produktion zu stärken, unabhängige Forschungsinfrastrukturen aufzubauen und junge Talente gezielt zu fördern.

Diese Ausgabe von Mindshift beleuchtet, wie Europa die Grundlagen für eine starke und unabhängige Chip-Industrie legt. Wir werfen einen Blick auf neue Forschungsprojekte und innovative Bildungsangebote, die am Campus Heilbronn und an anderen Standorten der TUM entstehen. Gleichzeitig zeigen wir auf, wie internationale Kooperationen und Partnerschaften zur Stärkung des europäischen Innovationsstandorts beitragen und innovative Chip-Technologien zur Marktreife gelangen.

Doch es geht nicht nur um Technologie allein: Wir betrachten auch die gesellschaftlichen Herausforderungen, die mit der digitalen Transformation einhergehen. Wie gelingt es, technologische Souveränität zu erreichen, ohne den Blick für ökologische Nachhaltigkeit und soziale Verantwortung zu verlieren? Wie fördern wir exzellenten Nachwuchs, der nicht nur Expertenwissen mitbringt, sondern auch kreative, interdisziplinäre Denkansätze?

Ich lade Sie herzlich ein, auf den folgenden Seiten tiefer in diese Themen einzutauchen und sich von den unterschiedlichen Perspektiven inspirieren zu lassen. Europa steht am Beginn einer neuen Phase technologischer Eigenständigkeit, getragen von vielen Händen, Ideen und Institutionen, die gemeinsam an einem Strang ziehen.

Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre.

Prof. Dr. Ali Sunyaev

Vizepräsident der Technischen Universität München
TUM Campus Heilbronn



POLITICIANS FOR PROGRESS

ACADEMIC INDEPENDENCE

CHIP, CHIP HOORAY!

INVESTITIONSSTAU

FACHKRAEFTEMANGEL

BUEROKRATIE

Hürdenläufer für das Team Europa

Seit Jahrzehnten prägt ein hohes Innovationstempo die IT-Branche, mit der Künstlichen Intelligenz (KI) passiert nun alles in Lichtgeschwindigkeit. Doch nicht in Europa: Bei der Produktion von Hochleistungs-Chips als Grundlage der technologischen Revolution hinkt der Kontinent den Taktgebern in Asien und Nordamerika hinterher. Wie kann Europa aufholen? Die Informatikprofessoren Andreas Herkersdorf (Lehrstuhl für Integrierte Systeme an der TUM) und Carsten Trinitis (Lehrstuhl für Computer Architecture & Operating Systems am TUM Campus Heilbronn) liefern Ideen.

Sie verfolgen technologische Entwicklungen seit vielen Jahren. Welche Meilensteine waren für Sie entscheidend auf dem Weg in die digitale Gesellschaft?

Prof. Trinitis: Ein Meilenstein war das World Wide Web mit dem Prinzip des Hypertextes, der Informationen über Verknüpfungen miteinander verbindet. Tim Berners-Lee hat am CERN den Grundstein für das gelegt, was wir heute als Internet kennen. Mein Doktorvater sagte damals: Das wird die Menschheit verändern, so wie die Erfindung des Rads. Er hat recht behalten. Mit der Zeit wurden die Prozessoren immer schneller, die elektronischen Schaltungen zunehmend kleiner, sodass wir heute riesige Datenmengen verarbeiten können – sei es für wissenschaftliches Rechnen, numerische Simulationen oder immer öfter für KI-Anwendungen und maschinelles Lernen.

Prof. Herkersdorf: Für mich war die Formulierung des Mooreschen Gesetzes im Jahr 1965 ein Schlüsselmoment. Es besagt, dass sich etwa alle eineinhalb bis zwei Jahre die Anzahl der Transistoren auf gleicher Chip-Fläche verdoppelt. Damit begann die eigentliche Dynamik der Digitalisierung, und diese Entwicklung hat sich bestätigt: Heute finden sich mehrere Prozessorkerne, bei Grafikprozessoren gar mehrere Hundert Kerne, auf einem einzigen Chip. Parallel dazu entwickelte sich die digitale Kommunikationstechnik: von Ethernet über TCP/IP

bis hin zum Internet. Das nächste große Kapitel, das unsere Gesellschaft verändert, ist maschinelles Lernen und die daraus hervorgehende Künstliche Intelligenz.

Hat KI einen ähnlich hohen Stellenwert wie die weltweite Vernetzung durch das Internet?

Prof. Herkersdorf: Ja, mindestens. Wir stehen jedoch erst am Anfang: Die Modelle wachsen und transformieren sich stetig. Heutige Large Language Models enthalten Milliarden von Parametern, und diese enorme Datenmenge stellt hohe Anforderungen an die Verarbeitung dieser Daten. Betrachte ich allein unsere Hochschule, stelle ich fest, dass wir zwar Vorstellungen davon haben, wie wir KI in Lehre und Forschung einsetzen wollen, sich das Ganze aber erst noch etablieren muss.

Prof. Trinitis: Ich sehe das etwas anders. Durch die moderne Technologie kann der Rechner immer größere Datenmengen immer schneller verarbeiten, um Informationen zu gewinnen. Allerdings ist das nichts Neues, sondern nur eine Konsequenz der allgemeinen technologischen Entwicklung. Neuronale Netze gab es bereits in den 1980er- und 90er-Jahren. Was wir aktuell miterleben, ist eine fortschreitende Automatisierung aller möglichen Lebensbereiche. In gesellschaftlicher Hinsicht ist dies sicherlich eine Revolution, technologisch betrachtet aber nicht. >

Viele Innovationen, wie etwa der erste Computer von Konrad Zuse, werden in Deutschland angestoßen, die Produktion beziehungsweise Weiterentwicklung findet hingegen häufig im asiatischen und nordamerikanischen Raum statt. Woran liegt das?

Prof. Herkersdorf: Das beobachte ich auch, würde aber nicht sagen, dass es sich dabei um ein deutsches oder europäisches Phänomen handelt. Innovation allein reicht nicht, es braucht auch den richtigen Zeitpunkt, das passende Umfeld und die technologische Reife. Nehmen wir zum Beispiel die bereits genannten TCP/IP-Protokolle. Diese wurden in den 1970er-Jahren in den USA eingeführt, fanden zunächst allerdings nur sehr eingeschränkte Anwendung, bis das World Wide Web ihnen fast 20 Jahre später zum Durchbruch verhalf. Konrad Zuse ist ein anderes gutes Beispiel: Seine Entwicklungen waren visionär, aber zur Massenvermarktung fehlten die Miniaturisierung und Kostensenkung der Halbleitertechnologie, die zum „PC für jedermann“ führte.

Prof. Trinitis: In Deutschland haben wir einen Hang zu Bürokratismus und einer gewissen Trägheit. Wenn es immer so lange dauert, bis man die Dinge anstößt oder weitertreibt, ist das ein echtes Hemmnis. Zudem halte ich nationalistisches Denken für äußerst kontraproduktiv. In meinen Augen kann Europa nur bestehen, wenn es gemeinsam handelt – sowohl wirtschaftlich als auch politisch. Wenn jedes Land nicht nur an seine eigenen Vorteile denkt und die Bürokratie vereinfacht wird, ist schon viel getan.

Für immer komplexere Rechenaufgaben werden immer kleinere KI-Chips entwickelt. Wie schneiden Europa und Deutschland bei der Entwicklung ab? Welchen Standortvorteil hat insbesondere Taiwan im internationalen Vergleich?

Prof. Trinitis: In Europa und Deutschland stehen schon einige Chip-Fabriken, viele davon gehören aber nicht europäischen Unternehmen. Intel wollte eine Fabrik in Magdeburg bauen, aber das Projekt kommt nun doch nicht zustande. In Dresden betreibt GlobalFoundries eine Produktionsstätte. Es gibt einige europäische Hersteller, die aber technologisch noch nicht zur Weltspitze gehören. Europa ist jedoch nicht völlig abgeschlagen. ASML in den Niederlanden ist der weltweit führende Hersteller von Lithographiesystemen (mehr dazu auf Seite 26). Ohne diese könnte man keine Chips produzieren. Das ist bloß vielen Leuten nicht klar.

Prof. Herkersdorf: Es wird oft übersehen, dass Europa und insbesondere Deutschland in Bereichen wie Leistungselektronik oder Automobilelektronik Markt- oder sogar Weltmarktführer sind. ST Microelectronics und Infineon gehören zu den führenden europäischen Herstellern von Mikrocontrollern für den Automotive-Sektor. Taiwans

Erfolg im Halbleiterbereich beruht auf staatlicher Förderung, gut ausgebildeten Talenten und der Auftragsfertigung. Die Regierung hat früh die strategische Bedeutung der Halbleiterindustrie erkannt. Viele heutige Mitarbeitende von Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) haben ihre Ausbildung im Ausland erhalten und sind anschließend als hochqualifizierte Fachkräfte an die nationalen Forschungseinrichtungen und Universitäten zurückgekehrt. TSMC entwickelt keine eigenen Chips und ist somit kein Konkurrent für seine Kunden.

Stellen die geplanten KI-Gigafactories in Deutschland einen wichtigen Schritt in Richtung Unabhängigkeit von internationalen Lieferketten dar?

Prof. Herkersdorf: Es ist etwas im Gange. TSMC, Infineon und Bosch bauen ein Werk in Dresden. Dennoch wird sich die Gesamtsituation zunächst kaum ändern. Dort entstehen keine Chips mit den modernsten Strukturen von zwei oder drei Nanometern, sondern vor allem 22-Nanometer-Technologien, die für den Automotive-Bereich ausreichen. Bei fünf bis sieben Nanometern liegen allein die Maskenkosten schnell bei einigen 10 bis 100 Millionen Euro, die Investitionskosten für derartige Fabriken gar bei mehreren Milliarden Euro. Diese Investitionskosten lohnen sich nur bei extrem hohen Stückzahlen, wie sie etwa mit Prozessoren in Smartphones oder in KI-Hochleistungsrechenzentren erzielt werden.

Wie gelingt es, Kompetenzen im Chip-Design aufzubauen und Talente in Deutschland zu halten oder zu gewinnen? Welche Rolle können Universitäten wie die TUM dabei spielen?

Prof. Herkersdorf: Die Infrastruktur, die führende Unternehmen zusammen mit Top-Universitäten bieten, um Kompetenzen im Bereich Chip-Design auf höchstem internationalen Niveau auszubauen, ist in Deutschland grundsätzlich sehr gut. Die TUM hat schon früh Zeichen gesetzt, etwa vor über 25 Jahren mit dem ersten internationalen englischsprachigen Masterprogramm für Communications and Electronics Engineering (MSCE) in Deutschland. Fast zeitgleich entstanden TUM Asia in Singapur und der dortige Integrated Circuit Design (ICD)-Masterstudiengang, wo unsere Ausbildung mit Pflichtphasen in der Industrie kombiniert wird. So können wir die Qualität der Lehre nicht nur in München oder Heilbronn, sondern auch in Südostasien und direkt in Unternehmen anbieten. Viele der dort ausgebildeten Talente wollen ihre berufliche Laufbahn in Deutschland fortsetzen.

Prof. Trinitis: Entscheidend ist es, diese Kompetenzen an Universitäten zu vermitteln. Deswegen biete ich Kurse in Hardwareentwicklung an. Universitäten sollten verstärkt auf Talententwicklung setzen. Wir können uns



Prof. Herkersdorf attestiert Deutschland eine gute Infrastruktur.

nicht darauf verlassen, dass die Chips auf immer und ewig aus anderen Ländern kommen werden. Um Talente zu halten oder zu gewinnen, bedarf es attraktiver Angebote. Man muss die Vorteile Europas gegenüber vielen anderen Weltregionen verdeutlichen – Sicherheit, Arbeitnehmerrechte, Freiheit der Forschung und große individuelle Entfaltungsmöglichkeiten. Das Munich Advanced Technology Center für High-Tech Chips der TUM (mehr dazu auf den Seiten 8–10) ist ein Schritt in die richtige Richtung. Der Fokus sollte aber nicht nur auf KI-Chips liegen – Chip- und Prozessor-Entwicklung ist generell wichtig.

Wo sehen Sie die größten Stolpersteine?

Prof. Trinitis: Ganz klar in der Bürokratie. Einer unserer japanischen Studenten hat beispielsweise neun Monate auf die Verlängerung seiner Aufenthaltsgenehmigung gewartet. Wenn wir Talente halten wollen, sollten wir sie nicht auf diese Weise verprellen. Ich habe mal scherzhaft gesagt: Wenn das bei Doktoranden genauso lange dauert, ist ihre Doktorarbeit fertig, bevor sie die Aufenthaltsgenehmigung bekommen. Der Fachkräftemangel hängt auch damit zusammen, dass die Bürokratie viele Talente abschreckt. So etwas spricht sich herum und ist nicht gerade ein Standortvorteil.

Prof. Herkersdorf: Wir müssen alle mitnehmen. Das betrifft nicht nur die Technik, sondern auch gesellschaftliche Fragen. KI schafft neue, hochqualifizierte Arbeitsplätze; aber sie wird auch einige bestehende Jobs in ihrer jetzigen Form überflüssig machen oder zumindest massiv verändern. Deshalb müssen wir Zukunftspers-



Prof. Trinitis plädiert für eine Vereinfachung der Bürokratie.

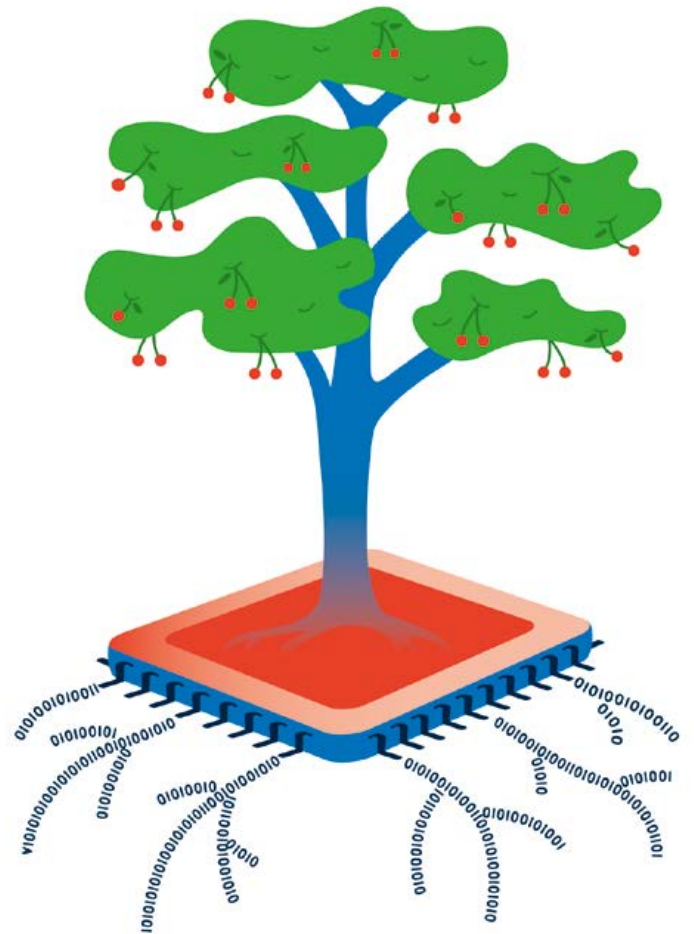
pektiven aufzeigen. Für ganze Branchen und selbst Weltmarktführer, die über Jahrzehnte in einer Welt ohne KI und Digitalisierung erfolgreich waren, ist es eine enorme Herausforderung, sich neu aufzustellen und zu sagen: „Jetzt machen wir es anders.“

Was stimmt Sie optimistisch?

Prof. Herkersdorf: Ich bin sehr optimistisch. Ähnlich wie in den USA gibt es inzwischen auch hierzulande private Mäzene, denen die akademische Ausbildung am Herzen liegt. Investitionen etwa durch die Dieter Schwarz Stiftung, ergänzt durch Forschungseinrichtungen wie die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), fallen auf fruchtbaren Boden. Wenn der Zeitgeist mitspielt, können wir vorhandene Ideen und Potenziale voll ausschöpfen, vorausgesetzt wir denken auch in alternative Richtungen. Am Beispiel KI: nicht immer Modelle mit noch mehr Parametern, sondern mit weniger Parametern und neuen Algorithmen genauso viel erreichen.

Prof. Trinitis: Wenn ich sehe, welchen Enthusiasmus manche Studentinnen und Studenten zeigen, wie schnell sie lernen und wie leicht sie zu begeistern sind, freut es mich, dass ich so viel bewirken kann, wenn auch nur in einem kleinen Rahmen. Doch auch jenseits der akademischen Welt wachen immer mehr Akteure auf und sehen ein, dass wir unabhängiger von internationalen Lieferketten werden sollten. Dazu müssen wir den bequemen Weg verlassen und neue Ideen entwickeln. Für uns als Universität ist das ein Vorteil: Wir bilden Talente aus und werden weiterhin gebraucht. Insofern bin ich optimistisch, dass wir auch in Zukunft genug zu tun haben werden. ●

Den Keim für eine blühende Chip- Industrie legen



Das Ziel klingt ambitioniert: Nicht weniger als Europas größtes und fortschrittlichstes Ausbildungs-, Trainings- und Forschungszentrum für KI-Chip-Design soll am Campus Garching der Technischen Universität München (TUM) entstehen. Am Munich Advanced Technology Center für High-Tech Chips, kurz MACHT-AI, werden schon bald die Chip-Experten von morgen ausgebildet. Die Bayerische Staatsregierung unterstützt das Vorhaben mit insgesamt fast viereinhalb Millionen Euro.

Im Frühjahr soll dort der erste der jährlich zwei bis drei geplanten Workshops für jeweils 25 Teilnehmende starten. Diese machen sich mit der sogenannten FinFET-Technologie des taiwanischen Kooperationspartners und Marktführers in der Halbleiterbranche TSMC vertraut und lernen, wie sie selbst hocheffiziente KI-Chips entwickeln können.

Zunächst stehen die Workshops am MACHT-AI nur Studierenden und Forschenden der TUM offen, doch mit der Zeit sollen weitere Universitäten einbezogen werden. Die Fachrichtung der Teilnehmenden spielt keine Rolle: „Solange sie interessiert und motiviert sind, über die notwendigen Vorkenntnisse verfügen und offen für Herausforderungen sind, unterstützen wir sie bestmöglich“, sagt

FinFET-Technologie

Bei der FinFET-Technologie werden Transistoren mit einer finnenförmigen Struktur in den Chip integriert. Der Kanal des Transistors, durch den der Strom fließt, wird an drei Seiten von der Stromsteuerung, dem sogenannten Gate, umhüllt. Dadurch kann der Stromfluss viel besser kontrolliert werden als bei flachen Transistoren.

Hussam Amrouch, Leiter des Centers und Professor für KI-Prozessor-Design an der TUM. Für die Zukunft schließt der Forscher auch Workshops für Berufstätige, Gründerinnen und Gründer nicht aus: „Wir wollen möglichst viele Menschen in Deutschland befähigen, ihre großartigen Ideen in die Praxis umzusetzen.“

Brücken zu ostasiatischer Halbleiterhochburg bauen

Bis Ende vergangenen Jahres arbeiteten Amrouch und sein bisher zehnköpfiges Team auf Hochtouren, um die Vorbereitungen für den Start im Frühjahr 2026 abzuschließen zu können: „Wir erweiterten stetig unser Wissen und unsere Fähigkeiten, sammelten praktische Erfahrung und entwickelten unser erstes Pilotprojekt. Wir wollten die Technologie grundlegend verstehen, ihre Grundlagen beherrschen und nachweisen, dass unsere Chips funktionieren. Wir tragen eine große Verantwortung, denn wie könnten wir andere fachgerecht zu einem so komplexen Thema schulen, wenn wir selbst nicht bestens vorbereitet sind?“

Stolz ist Amrouch auf die hochkarätige Zusammensetzung seines Teams: „Wir haben Postdoktoranden und Promovierende sowie weitere Spitzenkräfte aus Taiwan und Südkorea im Team. Es ist fantastisch, dass Menschen aus Ländern, in denen es international führende Universitäten und eine Spitzenindustrie gibt, bei uns promovieren und Karriere machen wollen. Gerade in Taiwan ist die Halbleiterindustrie sehr stark.“

Wichtiger Beitrag gegen den Fachkräftemangel

Mit TSMC wurde einer der taiwanischen Branchenriesen für MACHT-AI gewonnen. Die Zusammenarbeit schildert Amrouch so: „Sie werden uns ihre Technologie zur Verfügung stellen und uns beibringen, wie man Chips

entwickelt, und sie werden diese Chips herstellen. Wir entwickeln damit komplexe, hochmoderne KI-Chips und sorgen dafür, dass Studierende und Forschende anhand praxisnaher Beispiele geschult werden.“

Im besten Fall erwächst daraus eine Win-win-Situation, denn TSMC baut derzeit gemeinsam mit Bosch, Infineon und NXP eine zehn Milliarden Euro teure Chip-Fabrik in Dresden auf. Von 2028 an sollen dort vor allem Chips für mehrere wichtige Branchen wie die Automobilindustrie gefertigt werden. Eine großartige Chance für die in MACHT-AI ausgebildeten Spezialisten und umgekehrt: „Wenn in Deutschland zehn Milliarden Euro in den Bau einer Fabrik für die TSMC-FinFET-Technologie investiert werden, müssen wir sicherstellen, dass wir Ingenieure und Absolventen haben, die diese Technologie nutzen und Designs erstellen können. Ansonsten werden wir immer auf Expertise aus dem Ausland angewiesen sein.“

Schnelligkeit als Grundvoraussetzung

Was könnte dem Erfolg von MACHT-AI noch im Weg stehen? „Die größte Hürde wäre eine zu langsame Entwicklung“, sagt Amrouch. Zu viel Bürokratie, eine falsche Scheu vor der komplexen Technologie sowie schwerfällige Förderschemata könnten den Elan der beteiligten Akteure ausbremsen. „Wir brauchen sehr schnelle Entscheidungen. Wir sprechen hier über Monate, nicht über Jahre“, betont Amrouch. Zudem brauche es den Mut, neue Wege zu gehen, sowie die Entschlossenheit, an einem Strang zu ziehen.

Wenn diese Bedingungen erfüllt seien, könne MACHT-AI viel bewegen: „Wir werden dazu beitragen, das notwendige Wissen zu generieren, das derzeit weitgehend fehlt. Ich bin fest davon überzeugt, dass MACHT-AI die notwendigen Talente hervorbringen wird.“ Diese könnten dann den Keim für eine blühende Chip-Industrie in Europa legen. „Unsere Aufgabe als Universität ist es, diesen Keim in die Gesellschaft zu tragen und dafür zu sorgen, dass er bewässert wird und wächst.“ ●

Revolution durch Hyperdimensional Computing



Prof. Hussam Amrouch

Der AI-Pro-Chip, den Hussam Amrouch entwickelt hat, ermöglicht Datenverarbeitung direkt im Speicher und in dessen unmittelbarer Nähe. Über Vorteile, mögliche Anwendungen, das Vorbild in der Natur und weitere Trends im KI-Chip-Design spricht der Professor für KI-Prozessor-Design an der TUM im Interview.

Prof. Amrouch, warum braucht es spezielle Chips für KI?

Prof. Amrouch: Seit einigen Jahren wird immer deutlicher, dass KI eine Revolution in vielen Lebensbereichen auslöst. Ohne die zugrunde liegende Technologie – die Hardware, die Chips – wären weder die Algorithmen möglich noch all das, was wir heute im Bereich KI nutzen. Allerdings sind die Algorithmen extrem ressourcenhungrig und benötigen Millionen und Abermillionen von Parametern. Die verfügbare Hardware war für solche Anwendungen nicht ausgelegt.

Welche Lösung haben Sie hier entwickelt?

Prof. Amrouch: Seit Langem beschäftige ich mich mit der Frage, wie wir über klassisches Computing hinausgehen können, hin zu einer Architektur, die Recheneinheit und Speicher miteinander verschmilzt. Das sogenannte In-Memory-Computing, also die Datenverarbeitung direkt im Speicher, spart nicht nur Energie, sondern hat einen weiteren Vorteil: Es macht die Daten sicherer. Genau dieses Ziel verfolgt der AI-Pro-Chip, den mein Team und ich in diesem Jahr entwickelt haben. Da die vorhandene Hardware nicht dafür ausgelegt war, um Rechen- und Speichereinheit zusammenzulegen, suchten wir nach Alternativen und fanden sie in der Natur: AI-Pro arbeitet wie das menschliche Gehirn. Nach dem Prinzip des sogenannten Hyperdimensional Computing erkennt der Chip Ähnlichkeiten und Muster aus der Kombination verschiedener Informationen und muss dafür nicht mit Millionen von Datensätzen trainiert werden.

In welchen Bereichen könnte AI-Pro künftig zur Anwendung kommen?

Prof. Amrouch: AI-Pro soll vor allem dort eingesetzt werden, wo Datensicherheit und Privatsphäre essenziell sind – etwa im Gesundheitswesen. Wenn KI direkt beim Nutzer laufen soll und nicht in der Cloud, wenn Datenschutz und nicht Genauigkeit an erster Stelle steht, könnte Hyperdimensional Computing für eine Revolution sorgen. Denken Sie etwa an Gesundheits-Apps, bei der Daten möglichst lokal verarbeitet werden sollten: Klassische KI- und Deep-Learning-Algorithmen sind dafür oft zu rechenintensiv. Sie könnten dazu führen, dass eine Smartwatch zu heiß wird und die Haut verbrennen könnte. Genau hier stellen ressourcenschonende Verfahren wie Hyperdimensional Computing eine gute Alternative dar.

Welche weiteren Trends gibt es im KI-Chip-Design?

Prof. Amrouch: Vor allem das Advanced Packaging. Darunter wird die Kombination mehrerer Technologien verstanden, von denen jede in einem bestimmten Aspekt besonders gut ist. Man kann es sich wie Lego vorstellen: Mit Lego-Steinen lassen sich sehr schöne, komplexe Designs bauen, indem man verschiedene Teile zusammensetzt. In der Technologievielfalt liegt ein großer Vorteil für Deutschland: Wir haben GlobalFoundries mit FD-SOI, einer besonders stromsparenden Technologie für die Herstellung von Prozessoren und Chips. Es gibt TSMC mit ihrer hochleistungsfähigen FinFET-Technologie. Hinzu kommen weitere Technologieanbieter wie Infineon oder Bosch – und KI wird sie vereinen. Denn für KI-Chips benötigen wir alles gleichzeitig: geringen Energieverbrauch, hohe Leistung und fortschrittliche Sensoren. Advanced Packaging kann diese Stärken bündeln. ●



Stärker als die Summe seiner Teile

Die Chiplet-Technologie könnte der Wendepunkt für die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Automobilindustrie sein. Ben Stoffelen, Chief of Staff Automotive bei Imec, erklärt, wie das belgische Forschungs- und Innovationszentrum an seinem neuen Standort in Heilbronn regionale und internationale Akteure vernetzt, um Designkompetenz in der Entwicklung aufzubauen und Produkte zur Marktreife zu führen.

Stoffelens Karriere begann in der Automobilindustrie, konkret bei BMW. Der Wunsch, Forschung aus einer übergeordneten Perspektive für die gesamte Branche zu betreiben, ihre gesellschaftlichen Auswirkungen mitzugestalten und disruptive technologische Innovationen voranzutreiben, bewog ihn zum Wechsel ans Imec.

Die Chiplet-Technologie ist für ihn ein Paradebeispiel einer solchen Disruption. „Früher war es Kunden wichtig, dass ihr Auto einen starken Motor und viele PS hat, möglichst in unter drei Sekunden von null auf 100 Kilometer pro Stunde beschleunigt. Von A nach B zu kommen, ist nach wie vor relevant, aber inzwischen haben moderne Kommunikationstechnologien, KI-Funktionen oder autonomes Fahren einen höheren Stellenwert. Dafür braucht es enorme Rechenleistung im Fahrzeug“, führt Stoffelen aus.

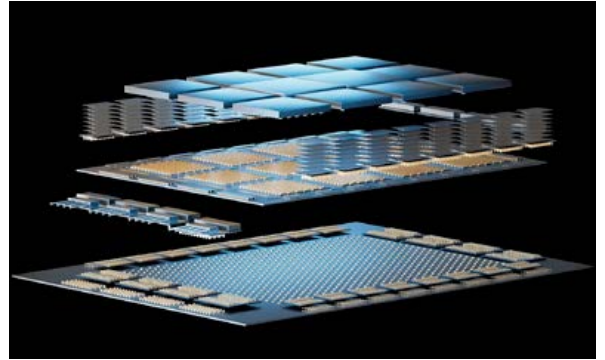
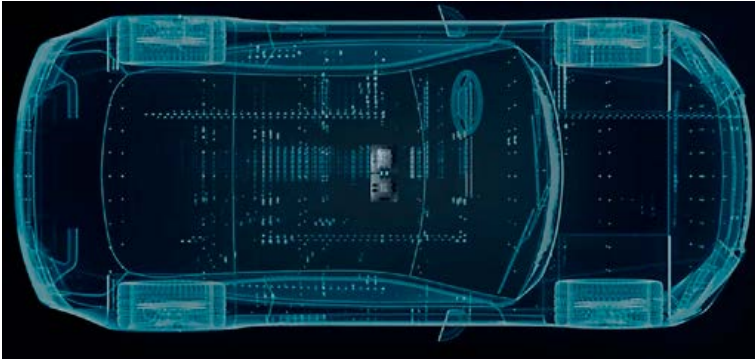
Autos sind Hochleistungsrechner auf Rädern

Jedes zusätzliche Fahrzeug-Feature über einen eigenen Mikrocontroller steuern zu wollen, sei jedoch illusorisch. „Das lässt sich nicht beliebig skalieren, diese Vorgehens-

weise ist überholt“, sagt er. Für die notwendige Performance brauche es eine zentralisierte Rechnerarchitektur mit leistungsstarken, aber energieeffizienten Chip-Lösungen. >



Stoffelen setzt auf die Chiplet-Technologie für Automotive.



„Autos sind zu Hochleistungsrechnern auf Rädern geworden. Allerdings lassen sich Erkenntnisse und Fortschritte aus der Chip-Entwicklung nicht 1:1 auf den Automotive-Bereich übertragen“, erläutert Stoffelen. In Fahrzeugen gelten andere Bedingungen als in Rechenzentren: „Chips müssen bei Temperaturen von minus 40 bis plus 150 Grad Celsius funktionieren. Sie müssen außerdem Staub, Regen, Eis sowie Stößen und Vibrationen standhalten. Darüber hinaus sind die Sicherheitsanforderungen wesentlich höher: Führt die zentrale Recheneinheit beim autonomen Fahren eine fehlerhafte Berechnung durch oder fällt sogar teilweise oder vollständig aus, kann das fatale Folgen haben. Hier ist weitere Forschung notwendig, um bestehende Normen zeitnah anzupassen und zusätzliche Standardisierungsbemühungen in der gesamten Branche zu initiieren.“

Die Frage ist, in welche Richtung sich künftige Fahrzeuggenerationen entwickeln und welche Möglichkeiten bestehen, mit der vorhandenen Rechnerarchitektur zu experimentieren. „Die Zahl der Hersteller, die Chips mit einer Strukturbreite von nur zwei bis drei Nanometern fertigen können, ist sehr gering. Wenn man die Anforderungen der Automobilindustrie hinzunimmt, reduziert sich diese Zahl auf ein oder zwei“, sagt Stoffelen. Keiner davon hat seinen Firmensitz in Europa. Die Abhängigkeit von außereuropäischen Plattformanbietern ist entsprechend hoch, ebenso wie die Einschränkungen bei der differenzierten Umsetzung fahrzeugspezifischer Features.

Neue Spielräume für die gesamte Lieferkette

Die Chiplet-Technologie (siehe Infokasten) hat das Potenzial, lokale und internationale Akteure im Automobilssektor zu stärken. Aufgrund ihrer Modularität eignen sich Chiplets besonders für leistungsstarke Anwendungen mit geringem Stromverbrauch wie autonomes Fahren, softwaredefinierte Fahrzeuge und Edge Computing. Gleichzeitig bieten sie eine bessere Ausbeute als größere monolithische System-on-Chips.

Mit der Ansiedlung des Advanced Chip Design Accelerators (ACDA) in Heilbronn treibt Imec die Integration von Chiplets in automobilen Produktionsprozessen voran. „Baden-Württemberg und insbesondere die Region Heilbronn-Franken verfügt über eine hohe Dichte an Unternehmen entlang der gesamten automobilen Lieferkette. Das macht Heilbronn besonders attraktiv für uns“, betont Stoffelen. „Wir treiben die neue Technologie voran, machen sie bekannt und sorgen dafür, dass regionale Unternehmen – aber auch Europa insgesamt – in die Lage versetzt werden, Chiplet-basierte Architekturen zu entwickeln. Dadurch ergeben sich für die Lieferkette völlig neue Spielräume.“

Referenzplattformen für Wissenstransfer

Bereits 2030 könnten die ersten Chiplet-basierten Systeme in Fahrzeugen verbaut werden. Die Forschung dazu steckt längst nicht mehr in den Kinderschuhen. Bereits vor zwei Jahren hat Imec das Automotive Chiplet Programm ins Leben gerufen, das mittlerweile 16 Partner hat. Im Verbund konzentrieren sie sich auf architektonische und protokollarische Herausforderungen bis hin zur Qualität und Zuverlässigkeit von Chiplets und Multi-Chip-Gehäusen.

Mithilfe von Referenzplattformen können Implementierungsmethoden für die Chiplet-Technologie bewertet und die Interoperabilität von Chiplets und ihren Verbindungen eingehend untersucht werden. Sie ermöglichen Tests unter realistischen Bedingungen und erlauben eine schnellere Bewertung, Anpassung und Integration in künftige Fahrzeugarchitekturen. „Wir versuchen, alle relevanten Use Cases auf einer repräsentativen Anzahl von Referenzplattformen abzubilden“, sagt Stoffelen. „So sollen Unternehmen in die Lage versetzt werden, die Vielfalt der Möglichkeiten zu erforschen, ohne selbst mehrere Hundert Millionen Euro investieren zu müssen.“

Eine Frage der Nachwuchsgewinnung

Die Zusammenarbeit beschränkt sich nicht auf Unternehmen, auch Forschungseinrichtungen wie die Fraunhofer Gesellschaft und die Innovationsallianz Baden-



Württemberg sowie Hochschulen sind eingebunden. „An der TU München stehen wir mit Professor Amrouch vom Munich Advanced Technology Center für High-Tech KI-Chips in engem Austausch“, berichtet Stoffelen. (Mehr zu MACHT-AI lesen Sie auf den Seiten 8–10.)

Chip-Designkompetenz in Europa aufzubauen, ist nicht zuletzt eine Frage der Nachwuchsgewinnung. Imec plant, am ACDA noch in diesem Jahr erste Doktorandenstellen für Absolventinnen und Absolventen auszuscheiden, die Interesse daran haben, im Bereich Chiplet-basierte Technologie zu forschen. Das sechste Automotive Chiplet Forum, das von Imec initiiert wurde, fand im Herbst 2025 im Heilbronner Innovationspark Künstliche Intelligenz (IPA) statt. „Wir sind dabei, viele Themen auszuarbeiten. Es lohnt sich, unsere Aktivitäten im Blick zu behalten“, empfiehlt Stoffelen. ●

Chiplet-Technologie

Im Gegensatz zum klassischen System-on-Chip (SoC) bestehen Chiplet-basierte Rechnerarchitekturen aus mehreren spezialisierten Halbleitern – sogenannten Chiplets –, die über kurze, hochdichte Interconnects miteinander verbunden sind. Dieser modulare Designansatz ermöglicht es, komplexe Systeme in funktionale Einheiten aufzuteilen, die jeweils für eine bestimmte Aufgabe optimiert sind. Die Vorteile: bessere Skalierbarkeit, einfachere Upgrades, kürzere Entwicklungszyklen und eine höhere Langlebigkeit der Systeme. Darüber hinaus gelten Chiplet-basierte Systeme als kosteneffizienter und weniger fehleranfällig, da bewährte Komponenten wiederverwendet werden können.

Über Imec

Imec ist ein weltweit führendes Forschungs- und Innovationszentrum für fortschrittliche Halbleitertechnologie. Mit seiner hochmodernen F&E-Infrastruktur und dem Fachwissen von über 6.000 Mitarbeitenden treibt Imec Innovationen in den Bereichen Halbleiter- und Systemskalierung, Künstliche Intelligenz, Siliziumphotonik, Konnektivität und Sensorik voran. Das ermöglicht Durchbrüche in einer Vielzahl von Branchen, darunter Computertechnik, Gesundheitswesen, Automobilindustrie, Energie, Infotainment, Industrie, Agrar- und Lebensmittelindustrie sowie Sicherheit.

Mit IC-Link begleitet Imec Unternehmen bei jedem Schritt der Chip-Entwicklung – vom ersten Konzept bis zur Serienfertigung – und liefert maßgeschneiderte Lösungen, die den modernsten Anforderungen an Design und Produktion gerecht werden. Imec arbeitet mit weltweit führenden Unternehmen entlang der gesamten Halbleiter-Wertschöpfungskette sowie mit Technologieunternehmen, Start-ups, Hochschulen und Forschungseinrichtungen zusammen.

Der Hauptsitz ist Leuven in Belgien. Daneben verfügt Imec über weitere Forschungseinrichtungen in Belgien, Deutschland, den Niederlanden, Italien, Spanien, Großbritannien und den USA.

www.imec-int.com/en

Science-Fiction wird Realität

Während viele traditionelle Industriezweige in der Krise stecken, boomt die Halbleiterindustrie. Nicht zuletzt durch die generative KI ist die Nachfrage nach effizienten Chips groß. Einer, der diese Entwicklung seit ihren Anfängen begleitet, ist Professor Freddy Gabbay. Der frühere Mellanox-Forscher und Inhaber von 19 Patenten lehrt heute Chip-Design an der Hebräischen Universität Jerusalem (HUJI).



Prof. Freddy Gabbay

Er erinnert sich gut an einen prägenden Moment: 1993 zeigte ihm sein Doktorvater den ersten Internetbrowser Netscape. „Wenn mir damals jemand gesagt hätte, dass das einmal unsere technologische Realität wird, hätte ich es für Science-Fiction gehalten“, sagt Gabbay rückblickend. Eine der treibenden Kräfte im Chip-Sektor ist TSMC, ein Foundry-Unternehmen, das Halbleiter für Apple oder Nvidia produziert. „TSMC hat die Branche revolutioniert“, sagt er beeindruckt: „Alle zwei bis drei Jahre gelingt ihnen das Wunder, neue Prozessknoten mit immer kleineren Abmessungen, höherer Leistung und besserer Energieeffizienz zu entwickeln.“

Revolution folgt auf Revolution

Weitere Technologiesprünge in der Kommunikation und im Mobilfunk ebneten den Weg in die digitale Welt: „Zuerst wurden Mobilfunkdatenzentren und Hochleistungsrechner vernetzt, dann die Geräte untereinander“, erklärt Gabbay. So entstanden die Voraussetzungen für eine Technologie, die heute unseren Alltag prägt: die KI. Denn dadurch wurde die Anhäufung großer Datenbestände möglich, die wiederum den Treibstoff für das Training und die Beschleunigung von KI-Algorithmen liefern. „All diese Veränderungen sind wirklich unglaublich. Innovation ist Teil unserer Kultur, sie liegt in der Luft, die wir

atmen“, sagt Gabbay. Ob als Professor an der HUJI oder früher bei Mellanox und Nvidia: Hochleistungsrechner stehen für ihn im Zentrum aller Entwicklungen.

Auch in der Forschung erkennt Gabbay Parallelen zur Industrie: „An der HUJI liegt mein Schwerpunkt auf VLSI, also der Integration von Transistoren, sowie auf Beschleunigern für generative KI-Architekturen. Die Suche nach Lösungen fühlt sich in beiden Welten gleich an.“ In der Industrie sei man allerdings stärker an Vorgaben und Umsetzung gebunden, während die Uni mehr Freiraum biete. Ein klarer Nachteil: der technologische Rückstand. „Wenn Unternehmen heute Chips in 18A- oder 3-Nanometer-Prozesstechnologie herstellen, sind wir in der Forschung noch zwei bis drei Generationen hinterher.“

Transistoren gehen hoch hinaus

Dass die Industrie Strukturen von wenigen Nanometern herstellen kann, ist das eine. Für Gabbay sind 16 Nanometer ein realistischer Maßstab für Forschungszwecke. Und selbst das ist winzig: Ein menschliches Haar misst rund 60.000 bis 80.000 Nanometer. „Diese Verkleinerung empfinde ich als kleines Wunder, das die Halbleiterindustrie immer wieder reproduzieren kann“, sagt der Wissenschaftler. Möglich wird das durch moderne

Lithografie, bei der mit extremer Ultraviolettstrahlung winzige Schaltkreise auf eine Oberfläche „belichtet“ werden, ähnlich wie beim Fotografieren. Anschließend werden die Strukturen weiterverarbeitet, bis Tausende Schaltkreise auf einem Stecknadelkopf Platz finden.

Jetzt gerät der erfahrene Informatiker ins Schwärmen: „Wir erleben einen grundlegenden Wandel in der Transistortechnik. Bisher lagen die sogenannten Gates der Transistoren flach nebeneinander – jetzt werden sie senkrecht übereinandergestapelt, wie bei einem dreidimensionalen Turm.“ Oben befinden sich N-Typ-Transistoren, unten P-Typ-Transistoren – zusammen ergibt das den sogenannten gestapelten FET der Gate-All-Around-Transistortechnologie. Der Vorteil: noch mehr Transistoren auf noch kleinerem Raum.

Technik mit Tücken

Damit die Revolution nicht ihre Kinder verschlingt und die Transistor-Türme optimal funktionieren, braucht es noch viel Entwicklungsarbeit, vor allem bei der Stromversorgung von oben und unten. Neben dem Energieverbrauch zählen die Alterung der Transistoren durch enorme Temperaturunterschiede sowie die Metallermüdung zu den größten Herausforderungen in der Zuverlässigkeit. „Der Alterungsprozess verläuft asymmetrisch. Die ungleiche Arbeitslast im Chip und die unterschiedlichen Wärmedichten sorgen dafür, dass einzelne Bereiche unterschiedlich schnell altern. Das mindert die Zuverlässigkeit.“

Fehlende effiziente Kühlvorrichtungen verschärfen das Problem. Selbst Maßnahmen wie der Stromsparmodus können unerwartete Nebenwirkungen haben: „Wenn logische Elemente in den Leerlauf versetzt werden, beschleunigt das manchmal die Alterung. Energiesparen kann also unter Umständen paradox wirken“, erklärt Gabbay. Kurz gesagt: Die hohe Transistordichte, Wärmekonzentrationen und die verschiedenen Altersstufen der Bauteile beeinflussen die Leistung der Chips. Eine komplexe Ausgangslage – doch die Verjüngungskur ist schon gebucht.

Drei Jahre statt zehn

Bislang sind High-Performance-Chips für Server so konzipiert, „dass sie unter extremsten Bedingungen zehn Jahre halten – bei hohen Temperaturen und voller Auslastung“, sagt Gabbay. In der Praxis schreiben viele Betreiber ihre Server jedoch bereits nach drei bis fünf Jahren ab, meist bei deutlich niedrigeren Temperaturen.



Diese Verkleinerung empfinde ich als kleines Wunder, das die Halbleiterindustrie immer wieder reproduzieren kann.

Prof. Freddy Gabbay

Laut dem Wissenschaftler sind also viele Chips überdimensioniert, was Energie und Strom verschwendet.

Hier setzt die Forschung an: „Wir entwickeln einen Prozessor mit elastischer Lebensdauer. Bei diesem lässt sich der Energieverbrauch je nach Umgebung, Betriebsbedingungen, Temperatur sowie Lebensdauer anpassen und optimieren.“ Bisher fokussiert jedes Rad in der Lieferkette nur den eigenen Bereich – egal, ob Chip-Hersteller, Systemhersteller oder Hyperscaler-Betreiber. Zeigt das Forschungsinstitut jedoch den Gesamtnutzen, erkennen alle das enorme Potenzial für Energieeinsparungen, das sich nicht ignorieren lässt.

Wissen und Infrastruktur stärken

Gerade in der Lieferkette sieht Gabbay großen Handlungsbedarf: „Der Handelskrieg der letzten Jahre unterstreicht die Notwendigkeit für Länder und Nationen, ein unabhängiges Ökosystem für Halbleiter aufzubauen. Wer Chips beherrscht, kontrolliert auch KI-Beschleuniger und das Hochleistungsrechnen.“ Ein Schritt in diese Richtung ist der Aufbau autonomer Infrastrukturen mit Hubs, Accelerators und Computerclustern.

„Heute stammt ein erheblicher Teil der weltweit produzierten Chips aus Taiwan“, sagt Gabbay. Fabriken zu bauen, sei das eine, doch entscheidend sei, auch das nötige Wissen aufzubauen und technologische Innovationen voranzutreiben. Denn die Entwicklung bleibt nicht stehen: „Mit GPUs und KI begann sich das Hochleistungsrechnen zu verändern. Mit der Quantentechnologie wird es genauso sein.“ Autonome Quantencomputer sieht Gabbay nicht als Ziel, wohl aber die Integration in leistungsfähige Rechnerinfrastrukturen. „Wer jetzt nicht in diesen Bereich investiert, wird zurückbleiben.“ ●

Mehr wagen mit DARE SGA 1

Eine komplett europäische Infrastruktur für Hochleistungsrechner aufzubauen – das ist das ambitionierte Ziel des länderübergreifenden Projekts „Digital Autonomy with RISC-V in Europe, Special Grant Agreement 1“, kurz „DARE SGA 1“. Die TUM übernimmt darin eine wichtige Rolle.

Neben Carsten Trinitis, Professor für Computer Architecture & Operating Systems am TUM Campus Heilbronn, und Martin Schulz, Professor für Rechnerarchitektur & Parallele Systeme am Campus Garching, sind die Doktoranden Jakob Schäffeler und Kun Qin sowie Elektrotechnik-Student Nima Baradaran Hassanzadeh beteiligt. „Wir entwickeln einen Debugger, also ein Programm, das Fehler in der Software erkennt“, erklärt Trinitis.

Die Forschenden sind überzeugt, dass DARE SGA 1 einen wichtigen Beitrag zur technologischen Souveränität Europas leisten wird. „Bisher hat man sich darauf verlassen, dass zentrale Technologien aus den USA oder Asien kommen. Wenn jedoch Lieferketten unterbrochen werden und wir keine eigenen Lösungen haben, steht Europa vor einem großen Problem“, betont Trinitis die enorme Bedeutung europäischer Hard- und Softwareentwicklungen. Auch Schäffeler sieht darin große Chancen: „Neben der Stärkung unserer Unabhängigkeit ist es für den Kontinent entscheidend, in diesen Schlüssel-

bereichen wettbewerbsfähig zu sein.“ Eigene Entwicklungen ermöglichen es zudem, Produkte innerhalb Europas kostengünstig zu fertigen und anzupassen.

Fehler schneller finden

Warum Debugger für die Softwareentwicklung so wichtig sind, erläutert Schäffeler: „Ein Großteil der Entwicklungszeit fließt in das Verstehen, Auffinden und Beheben von Fehlern im Code. Diesen Prozess wollen wir erleichtern, indem wir bestehende Debugging-Software erweitern, sodass Fehler effizienter gefunden werden können.“ Er beschreibt die einzelnen Schritte: „Derzeit verschaffen wir uns einen Überblick über die Funktionen, die andere Entwickler benötigen. Gleichzeitig haben wir ein Tool entwickelt, das den Inhalt spezieller Rechenspeicher sichtbar macht und zeigt, wie sich dieser während der Programmausführung verändert. Aktuell sammeln wir dazu Feedback von Entwicklern.“

Entstehen soll ein paralleler Debugger – also ein Programm, das Softwarefehler in Anwendungen erkennt, die gleichzeitig auf mehreren Prozessoren oder Recheneinheiten laufen. Mit Parallelität sind dabei drei Ansätze gemeint, wie Trinitis erklärt: „Erstens der Datenparallelismus, bei dem mit einem einzigen Befehl mehrere Elemente eines Vektors oder einer Matrix gleichzeitig berechnet werden. Zweitens der Thread-Parallelismus – hier arbeiten mehrere Recheneinheiten innerhalb eines Systems parallel und greifen auf denselben Speicher zu. Und drittens der Parallelismus mit verteiltem Speicher, bei dem viele einzelne Rechner oder Recheneinheiten über Nachrichten miteinander kommunizieren.“ Die



Eine europäische Hochleistungsrechner-Infrastruktur aufbauen

ersten Funktionen für vektorisiertes Debugging – also im Datenparallelismus – werden derzeit getestet. Gleichzeitig werden die Anforderungen für den Thread-Parallelismus und den Parallelismus mit verteiltem Speicher spezifiziert, um nützliche Features entwickeln zu können.

Bedeutender Schritt nach vorn

Optimistisch stimmt Trinitis der Enthusiasmus vieler Studierender für neue Technologien wie die offene Prozessorarchitektur „RISC-V“, auf der das DARE-Projekt aufbaut: „Wenn genug engagierte Menschen zusammenkommen, kann daraus eine positive Dynamik entstehen. Zwar wird RISC-V im Hochleistungsrechnen bisher noch kaum eingesetzt, doch mit wachsender Beteiligung könnte sich das rasch



Ich begrüße es sehr, dass die EU mit dem DARE-Projekt in diesem Bereich eine wichtige Investition tätigt.

Nima Baradaran Hassanzadeh,
Student der Elektrotechnik



Es ist für den Kontinent entscheidend, in diesen Schlüsselbereichen wettbewerbsfähig zu sein.

Jakob Schäffeler, Doktorand am Lehrstuhl für Rechnerarchitektur & Parallele Systeme

ändern.“ Im besten Fall bringe das Projekt einen kompletten Hochleistungsrechner auf RISC-V-Basis hervor.

Auch Hassanzadeh sieht im offenen Standard großes Potenzial: „Ich begrüße es sehr, dass die EU mit dem DARE-Projekt in diesem Bereich eine wichtige Investition tätigt. Selbst wenn nicht alle Ziele erreicht werden, ist das ein bedeutender Schritt nach vorn.“ Damit es nicht bei diesem Schritt bleibt, nennt Schäffeler eine entscheidende Voraussetzung: „Die im Projekt entwickelten Softwarelösungen sollten unter Open-Source-Lizenzen veröffentlicht werden. So können auch Akteure außerhalb des Projekts direkt von den Ergebnissen profitieren, sie nutzen, weiterentwickeln und an ihre eigenen Anforderungen anpassen.“

DARE SGA 1

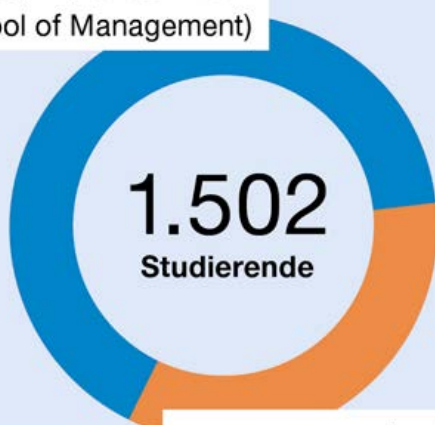
Die Initiative vereint 38 Partner aus verschiedenen europäischen Ländern. Sie wird im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramms Horizon Europe der Europäischen Union gefördert, vom Barcelona Supercomputing Center (BSC-CNS) koordiniert und vom europäischen Gemeinschaftsunternehmen EuroHPC Joint Undertaking unterstützt. Das DARE-Projekt ist auf insgesamt sechs Jahre angelegt. DARE SGA 1 bezeichnet die erste dreijährige Phase, für welche die EU ein Budget von rund 240 Millionen Euro bereitstellt. Ziel ist es, in Europa eine vollständige Hard- und Softwarebasis für Hochleistungsrechnen und Künstliche Intelligenz zu schaffen – und dafür leistungsstarke und zugleich energieeffiziente Prozessoren zu konzipieren und zu entwickeln. Im Mittelpunkt steht die Entwicklung von drei Chipllets, also spezialisierten Prozessor-Bausteinen, auf Basis von RISC-V.



TUM Campus Heilbronn in Zahlen

Studierende*

982 an der MGT
(School of Management)

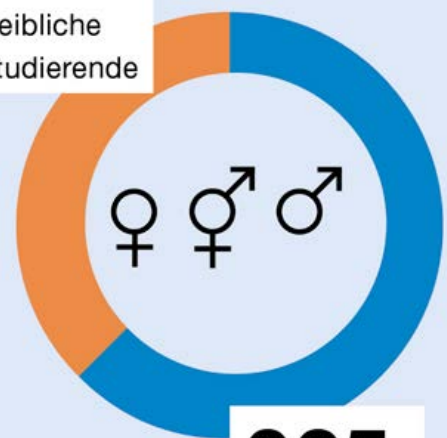


520 an der CIT
(School of
Computation, Information
and Technology)

*WS 2025/26

Geschlechterverteilung*

576
weibliche
Studierende



925
männliche
Studierende

Internationalität*

Studierende aus dem Ausland,
davon ...

82 %

... aus Nicht-EU-Ländern

68 %

Studierende
aus dem Inland

18 %



Erfolge

29

Awards



21

Rankings
(seit 2023)

*WS 2024/25

Weiterbildungsprogramme „Continuing Education“

9

aktuelle
Programme

47

Programme
gesamt seit Start



Die Rechenleistung des Menschen als Vorbild

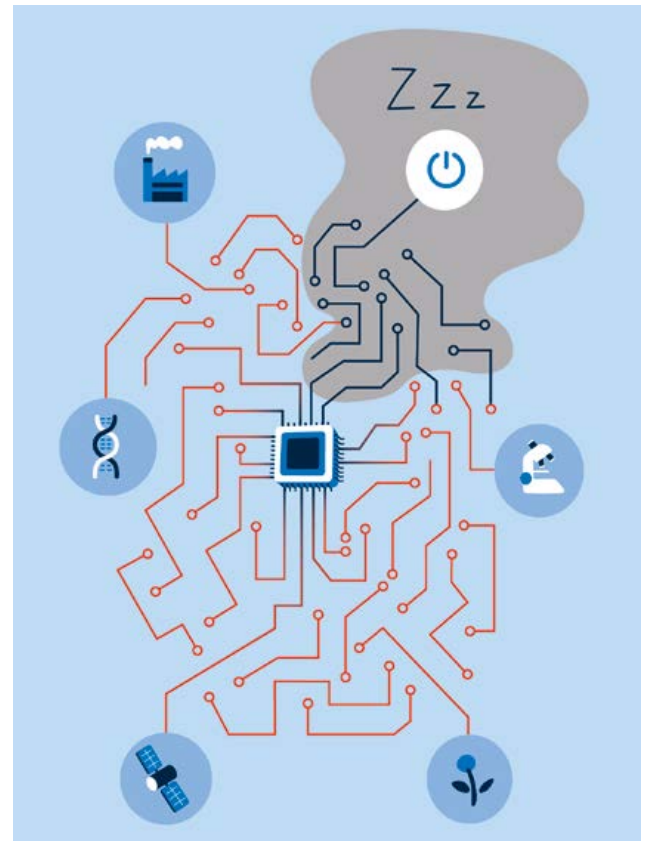
Innovationen made in Sachsen.

Jeder dritte europäische Chip kommt inzwischen aus Dresden. Das Sächsische Ökosystem, auch „Silicon Saxony“ genannt, hat auch Start-ups wie SpiNNcloud hervorgebracht, deren Chips und HPC-Systeme auf Prinzipien des menschlichen Gehirns basieren. Welche Vorteile das bietet und wie die Gründer den deutschen Start-up-Kosmos erleben, verrät Dr. Maurice Chales de Beaulieu. Ursprünglich für Business Development eingestellt, verantwortet er heute auch Kommunikation und die US-Tochterfirma.

SpiNNcloud hat sich in der Halbleiterbranche einen Namen gemacht. Aktuell zählt das Team 60 Mitarbeitende und wächst kontinuierlich: „Ob wir dieses Jahr die 100 knacken, kann ich nicht sagen, aber wir nähern uns.“ Eine bemerkenswerte Entwicklung für ein Unternehmen, das als Ausgründung der TU Dresden entstand – ermöglicht durch eine bahnbrechende Technologie: „Unsere Chips und unser hochskalierbarer Supercomputer arbeiten wie das menschliche Gehirn.“

Neue Märkte erschließen

Für seine innovativen Produkte sucht SpiNNcloud gezielt nach Kooperationspartnern: „Das Ökosystem in Heilbronn, auf dem Bildungscampus und rund um den IPAI, ist ein ideales Umfeld.“ Dort hat das Unternehmen seine Hardware bereits vorgestellt und Kontakte zu Forschenden sowie potenziellen Industriekunden geknüpft. „Wir sind



gespannt, welche neuen Use Cases sich aus dem Austausch mit der TUM, der ETH Zürich oder den Fraunhofer Heilbronn Forschungs- und Innovationszentren HNFIZ ergeben.“ Das Potenzial ist groß, denn die Technologie hinter den Chips bietet klare Vorteile.

Wie im menschlichen Gehirn werden Rechenaufgaben in SpiNNcloud-Anwendungen parallel und dezentral verarbeitet. „Das Gehirn besteht aus einem Netzwerk aus Neuronen, die auch unabhängig voneinander agieren und nur dann anspringen, wenn sie gebraucht werden“, erklärt Chales de Beaulieu. Dieses Prinzip überträgt



Deutlich energieeffizienter als herkömmliche Grafikprozessoren: die Chip-Linien von SpiNNcloud

SpiNNcloud in Silizium: Werden Rechenbereiche nicht benötigt, gehen sie automatisch in einen Stromsparmodus. Das steigert die Rechengeschwindigkeit und reduziert den Energieverbrauch. „Unsere Hardware-Architektur ermöglicht das Skalieren von Dynamic Sparse Algorithmen und ist damit ein Gegenentwurf zum Dense Computing, wie es bei herkömmlichen Grafikprozessoren (GPUs) üblich ist – es vermeidet überflüssige Rechenoperationen.“

Mut zum Minimum

Die Zahl der Kerne bzw. Neuronen ist sowohl im menschlichen Gehirn als auch in der Technologie gewaltig: „In der Vollausstufe sind es über zehn Millionen. Wir können den Workload also verteilen. Was nicht nötig ist, wird reduziert, das System beschränkt sich auf das Minimum“, erläutert Chales de Beaulieu. Dank dieses Prinzips ist die derzeitige Chip-Linie SpiNNaker2 bis zu 18-mal effizienter als herkömmliche GPUs, und die nächste Generation SpiNNNext soll bis zu 78-mal effizienter sein.

Ihren Anfang nahm die SpiNNaker-Hardware im Zuge des Human Brain Project an der University of Manchester. Der Name deutet bereits auf das Konzept hin: Spiking Neural Network, eine Form der KI, bei der nur ausgewählte Neuronen aktiv sind. Hinter der Entwicklung stehen Steve Furber, damaliger Professor in Manchester, und Professor Christian Mayr von der TU Dresden. Beide verbindet nicht nur die Begeisterung für Technik, sondern auch fürs Segeln. Das spiegelt sich im Namen SpiNNaker wider.

Der Tanz der Moleküle

Laut Chales de Beaulieu bietet die Technologie Anwendungsfelder in allen Bereichen. Besonders vielversprechend scheint sie beispielsweise für die Medikamen-

tenentwicklung zu sein. Das zeigt ein Großauftrag der Universität Leipzig für die KI-Chips des Dresdner Start-ups. „Die Datenbank für die Entwicklung eines Krebswirkstoffs enthält Billionen Moleküle, die von einer linearen Kette in eine dreidimensionale Struktur verbunden und gefaltet werden. Normalerweise geschieht das nacheinander, mit unserem System ist es gleichzeitig möglich, sodass wir schneller zu Lösungen und damit zum Wirkstoff kommen“, fasst Chales de Beaulieu zusammen.

Der Einstieg in die freie Wirtschaft war für das Start-up allerdings nicht ohne Hürden: „Gerade bei universitären Ausgründungen kostet die Bürokratie viel Zeit“, sagt Chales de Beaulieu und ergänzt: „Der Wissenstransfer ist komplex. Die Innovation entsteht an der Universität, das Start-up soll sie dann lukrativ vermarkten.“ Doch es gibt auch Vorteile: „Mitgründer Christian Mayr brachte ein großes Netzwerk mit – ideal, um erste Kunden zu gewinnen und Use Cases zu entwickeln.“

Blühende Landschaften

SpiNNcloud ist in jedem Fall zur richtigen Zeit am richtigen Ort: Während in Heilbronn KI vorangetrieben wird, entwickelt sich Dresden zu einem Mikrochip-Zentrum. Große Chip-Produzenten wie TSMC, Bosch, Infineon oder GlobalFoundries belegen das eindrucksvoll.

Wie einst versprochen entstehen blühende Landschaften. Jetzt sind Gründerinnen und Gründer gefragt, die Chancen zu nutzen: „Amerikanische Start-ups verkaufen sich oft besser. In Deutschland sind wir häufig sehr technisch orientiert und detailverliebt. Diese Problemlösungskompetenz gilt es auszubauen und selbstbewusster aufzutreten. Innovationen auf den Markt bringen können wir bereits sehr gut.“ Eine davon wird in Dresden entwickelt: Mit SpiNNNext planen Chales de Beaulieu und sein Team die nächste Chip-Generation. ●

TUM bildet Chip-Experten von morgen aus



PD Dr.-Ing. habil. Michael Pehl

Europaweit fehlt es an exzellent ausgebildeten Nachwuchskräften im Technologiebereich. Statt sich dem Abgang auf den Wirtschaftsstandort Deutschland anzuschließen, setzt die TUM mit dem neuen Masterstudiengang „Microelectronics and Chip Design“ ein klares Zukunftssignal.

Programmdirektor PD Dr.-Ing. habil. Michael Pehl stellte im Rahmen der europäischen Initiative „Joint Education for Advanced Chip Design in Europe (Edu4Chip)“ ein Konzept vor, mit dem Europa in der Halbleiterbranche bald wieder im Konzert der Großen mitspielen soll.

Fünf Universitäten, drei mittelständische Unternehmen (KMUs) und ein Fraunhofer Institut verfolgen gemeinsam das Ziel, die Ausbildung im Chip-Design zu stärken, um dadurch den Aufbau einer unabhängigen europäischen Lieferkette für KI-Chips zu unterstützen. Pehl, akademischer Oberrat an der TUM und maßgeblich an der Erarbeitung des neuen Masterstudiengangs beteiligt, sieht drei zentrale Ansätze: „Wir fördern Spin-offs mit marktfähigen Produkten, qualifizieren Talente für die Industrie und binden kluge Köpfe an die TUM, die mit ihrer Forschung Innovationen im Chip-Bereich voranbringen.“

Von der Idee zum Chip

Damit das gelingt, ist das Studium praxisorientiert aufgebaut: „Im Zentrum steht ein Praktikum, in dem die Studierenden einen eigenen Chip entwickeln, der am Ende bei GlobalFoundries in Dresden produziert wird.“ Die dafür nötigen Grundlagen vermitteln neben existierenden Angeboten zehn neue Module, die zusätzlich in bereits bestehende Studiengänge integriert werden können. „Die Studierenden setzen individuelle Schwerpunkte – vom Design sicherer Schaltungen über KI-Beschleuniger bis hin zum Analogdesign –, führen Front- und Back-End-Design-Aufgaben durch und bearbeiten alle Schritte von der Spezifikation bis zum Tape-Out und der Inbetriebnahme des gefertigten Chips“, sagt Pehl. Der

europäische Gedanke prägt das Projekt auch strukturell: Neben der TUM sind die KTH Stockholm, die Technische Universität Dänemark (DTU), die Universität Tampere in Finnland, das französische Institut Mines-Télécom sowie das Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen (IIS) beteiligt. Die EU fördert „Edu4Chip“ mit knapp sechseinhalb Millionen Euro. Um die Lehrinhalte in die Praxis umzusetzen, begleitet der Start-up-Inkubator TUM Venture Labs das Projekt: „Dort lernen die Studierenden, wie sie von der Projektphase ins Machen kommen“, erklärt Pehl.

Experten aus der Wirtschaft

Wichtige Transferadressen in die Unternehmen sind Kooperationspartner aus der wirtschaftsstarken KMU-Landschaft. Die Planungskommission des Studiengangs wurde durch Firmen unterstützt, die im System-on-Chip-Design aktiv sind, darunter die in Bayern ansässige Minres Technologies GmbH, die dänische Firma SyoSil ApS und LogiqWorks Ltd. aus Bulgarien. Auch Industrieunternehmen wie Infineon und Texas Instruments, beide assoziierte Partner des Projekts, tragen zum Erfolg des Projekts bei. „Was die EU auszeichnet, ist ihre Weltoffenheit. Ein Großteil der internationalen Studierenden bleibt nach seinem Abschluss in Europa“, betont Pehl.

Genau das strebt auch die erste Kohorte an, die mit knapp 100 Studierenden im Oktober 2025 gestartet ist. Besonders erfreulich: „Rund ein Drittel der Studierenden sind Frauen, ein bemerkenswert hoher Anteil für einen technischen Studiengang.“

Auf der Überholspur

Irgendwann möchte Sam Nour seinen Traum verwirklichen und ein eigenes Videospiel entwickeln. „Innovative Spieleentwickler wie John Carmack mit ihren unkonventionellen Ideen waren der Grund, warum ich mich für Informatik interessiert habe“, sagt der junge Ägypter. Diese Leidenschaft hat ihn weit gebracht: Nach seinem abgeschlossenen Bachelorstudium in Information Engineering am TUM Campus Heilbronn arbeitet er heute als Compiler Engineer am Kölner Standort des US-amerikanischen Halbleiterherstellers AMD.



Sam Nour

„Moderne Prozessoren wie AMDs Ryzen AI enthalten eine kleinere Recheneinheit namens NPU. Sie führt Berechnungen blitzschnell durch und eignet sich daher sehr gut für den Einsatz von KI-Inferenz. Hier komme ich als Compiler Ingenieur ins Spiel: Ich arbeite an dem Compiler, der diese Modelle in eine Sprache

übersetzt, die die Maschine verstehen kann“, erklärt Nour seine Aufgaben. Die täglichen Herausforderungen machen seinen Job besonders spannend: „Man weiß nie, welches Problem als nächstes auftaucht. Es ist faszinierend, mit neuen Modellen und der neuesten Compiler-Technologie zu arbeiten und an der Spitze der Updates in der Welt des Deep Learning zu stehen. Es ist auch bereichernd, etwas zurückzugeben, indem man zu Open-Source-Software beiträgt.“

Seine Wissbegier war einer der Gründe, warum er nach vier Jahren in der Öl- und Gasindustrie einen neuen Weg einschlug und seine Heimatstadt Alexandria verließ. Auch

die Bedingungen in der Industrie spielten eine Rolle: „Die Umweltauswirkungen und die langen Arbeitszeiten störten mich. Ich musste jeweils 60 Tage am Stück offshore arbeiten und war danach nur für drei Wochen auf dem Festland. Ich suchte etwas Neues, das praktischer und kreativer ist.“

Bei der Wahl einer Universität dachte Nour strategisch: „Ich wollte an der TUM studieren, weil sie eine der besten Informatikfakultäten in Europa hat. Als ich mit dem Bachelor begann, war ich nicht mehr der Jüngste. Daher wollte ich die bestmögliche Ausbildung an einer Spitzenuniversität – damit man mich anschließend einstellen würde und nicht jemanden, der zehn Jahre jünger ist.“

Zielstrebigster Weg in die Industrie

Während seines Studiums merkte Nour bald, dass ihn Compiling sowie Grundfunktionen von Betriebssystemen am meisten interessieren. Ein Kurs zu Hardwarebeschreibungssprachen begeisterte ihn für die Schnittstelle von Hardware und KI. Als Werkstudent sammelte er Praxiserfahrung bei renommierten Unternehmen und schrieb bei Bosch seine Abschlussarbeit zum Thema Betriebssysteme. Sein akademischer Betreuer war Carsten Trinitis, Professor für Rechnerarchitektur und Betriebssysteme am TUM Campus Heilbronn, bei dem er bereits viele Kurse besucht hatte. Nach einem Praktikum bei AMD wurde ihm dort seine jetzige Stelle angeboten.

Nun hofft er, dass sich möglichst viele seiner früheren Kommilitoninnen und Kommilitonen ebenfalls mit KI-Chips beschäftigen: „Wir brauchen mehr Kurse, die Begeisterung wecken, damit noch mehr Talente auf diesem Gebiet gefördert werden. Bisher interessieren sich viele eher für die Programmierung von Chatbots als für die Weiterentwicklung der Hardware. Die Unis sollten bereits während des Bachelorstudiums eine größere Bandbreite an Kursen anbieten.“

Von einer erfolgreichen Zukunft der europäischen Chip-Industrie ist Nour nach wie vor überzeugt: „Europa verfügt schon heute über beachtliche Talente und innovative Produktionsstätten. Eine weitere Stärke liegt in den Vorschriften: Ich glaube an technologischen Fortschritt, solange er auf durchdachte und regulierte Weise erfolgt.“

Vom Labor in die Fabriken

Exzellenzuniversitäten wie die Stanford University oder die TUM denken heute bereits an übermorgen. Subhasish Mitra, Inhaber der William-E.-Ayer-Stiftungsprofessur für Elektrotechnik und Informatik an der US-Universität, treibt Innovationen in der Halbleiterindustrie voran. Er begann seine Karriere bei Intel und bringt eine doppelte Perspektive mit – sowohl unternehmerisch als auch akademisch.

Mitra betrachtet die Herausforderungen der Industrie global. Um ihnen zu begegnen, sind in seinen Augen eine gute Ausbildung und ein zukunftsorientiertes Umfeld unabdingbar. Wer im weltweiten Wettbewerb aktuell den Ton angibt, sei nebensächlich, denn: „Die Vergangenheit hat gezeigt, dass sich die Rangfolge der Technologieunternehmen im Halbleiterbereich sehr schnell ändern kann.“

Für Mitra geben akademische Forschungseinrichtungen die Richtung vor: „Insbesondere im Bereich der Halbleiter-Transistoren und Leiterbahnen in Chips sowie bei der Entwicklung komplexer Computer-Chips brauchen

wir unermüdliche Innovationen, um die Branche voranzubringen“, sagt er. Der Fokus verschiebt sich: Während es in den letzten 60 Jahren vor allem darum ging, schnellere Computer zu bauen, liegen die Prioritäten heute viel tiefer – nicht nur auf Geschwindigkeit, sondern auch auf Energieeffizienz und Zuverlässigkeit von Computer-Chips, die unser Leben tiefgreifend beeinflussen und Künstliche Intelligenz ermöglichen.

Mitra erzielt gemeinsam mit Forschungspartnern aus verschiedenen Ländern weltweit bahnbrechende Fortschritte. Einer dieser Partner ist TUM-Professor Ulf Schlichtmann, mit dem er Chip-Architekturen und Designtechniken weiterentwickelt. „Um die Energieeffizienz und Zuverlässigkeit drastisch zu verbessern, entwickeln wir ganzheitliche neue Lösungen – durch Innovationen auf Schaltkreis-, Logik- und Architekturebene sowie auf Software- und Anwendungsebene.“ Ein innovativer gemeinsamer Forschungsbereich konzentriert sich auf das Design dichter, dreidimensionaler Chips. Diese Chip-Technologie durchläuft derzeit den „Lab-to-Fab“-Prozess – das bedeutet, dass sie den Übergang von den Universitätslabors zur Umsetzung in industriellen Systemen und Siliziumfertigungsanlagen vollzieht.

Wie X-Compact das Mooresche Gesetz retten könnte

Ein wichtiger Faktor für die erfolgreiche Einführung neuer Technologien in der Industrie sind die Kosten. Die heutigen hochkomplexen Chips enthalten Hunderte von Milliarden Transistoren – und diese Zahl steigt weiter. Jeder einzelne von ihnen muss funktionieren und getestet werden. Ohne



Prof. Subhasish Mitra erfand die X-Compact-Testmethode.

gründliche Tests können fehlerhafte Chips katastrophale Folgen haben. Während seiner Zeit bei Intel erfindet Mitra die X-Compact-Testmethode, die heute für die kostengünstige Herstellung fast aller digitalen Chips unverzichtbar ist und Kosteneinsparungen in Milliardenhöhe ermöglicht.

Seine Innovation fiel mit einem auffälligen und beängstigenden industriellen Trend zu jener Zeit zusammen: „Mit jeder Chip-Generation sind die Herstellungskosten pro Transistor stark gesunken, aber die Testkosten pro Transistor sind gleichgeblieben. Übersteigen die Testkosten irgendwann die Herstellungskosten, bedeutet das das Ende des Mooreschen Gesetzes.“ Dem Gesetz zufolge verdoppelt sich die Anzahl der Transistoren auf Chips in regelmäßigen Abständen, um deren Rechenleistung exponentiell zu steigern und die Kosten pro Transistor zu verringern. Ist das nicht mehr gegeben, wird die Chip-Produktion unrentabel.

Die Kernidee von X-Compact war, die Testdaten massiv zu komprimieren, um Testzeit und Testkosten erheblich zu verbessern, wobei sichergestellt wird, dass unbekannte Logikwerte (X) die Erkennung defekter Chips nicht verhindern. Vor X-Compact waren die unbekanntenen Logikwerte das größte Hindernis. Darüber hinaus können nun nach der Bereitstellung gründliche Tests vor Ort durchgeführt werden. Unternehmen wie NVIDIA, Amazon oder Intel haben diese Idee der Feldtests, die Mitra ebenfalls vorangetrieben hat, bereits übernommen. „X-Compact ist mittlerweile in fast jedem Chip enthalten“, sagt Mitra.

Wolkenkratzer-Chips und Kohlenstoff statt Silizium

Um die Geschwindigkeit und Energie von Computer-Chips zu verbessern, sind Kohlenstoffnanoröhren eine vielversprechende Nanotechnologie jenseits von Silizium. Allerdings kam der Fortschritt über ein Jahrzehnt lang zum Stillstand: „Es gab große Herausforderungen aufgrund hartnäckiger Mängel, die Kohlenstoffnanoröhren innewohnen. Der Durchbruch gelang mit einer Methode, diese Unvollkommenheiten durch eine Kombination aus Fertigungs- und Schaltungsdesignstechniken zu überwinden. Dies ermöglichte den Kohlenstoffnanoröhren-Computer, den ersten Computer-Chip, der mit einer Nanotechnologie jenseits von Silizium realisiert wurde.“

Transistoren auf Kohlenstoffbasis können vertikal mit Speichertechnologien „gestapelt“ werden – was mit Silizium äußerst schwierig ist –, um dreidimensionale Chips zu bauen, die eine beispiellose Energieeffizienz erreichen. „Während die meisten Chips heute Einfamilienhäusern ähneln, bauen wir Wolkenkratzer.“ Für den Stanford-Professor sind ultradichte, dreidimensionale Chips ein echter Gamechanger: „Sie sind einer der wichtigsten Bausteine für den nächsten globalen industriellen Durchbruch.“



Der Zukunft einen Schritt VORAUSS

Die talentiertesten Köpfe zu finden, zu binden und ihr Potenzial voll zu entwickeln, ist entscheidend, um als Technologieunternehmen weltweit führend zu sein. Wie das dem niederländischen Hersteller von Lithografiesystemen ASML in der Halbleiterindustrie gelingt, erläutert Academy Leiter Wouter Visser.

ASML zählt zu den Pionieren der Branche. Das Unternehmen wurde 1984 in Veldhoven gegründet, um Lithografiesysteme für die aufstrebende Produktion von Mikrochips zu entwickeln. Heute ermöglichen die High-tech-Anlagen führenden Chip-Produzenten, die leistungsfähigsten und innovativsten Mikrochips auf den Markt zu bringen. Mit Standorten in 16 Ländern hat sich ASML zu einem der strategisch wichtigsten Akteure der globalen Halbleiterindustrie entwickelt.

Wie gelingt es einem Unternehmen, nicht nur mit Branchentrends mitzuhalten, sondern diese mitzugestalten? „Das ist harte Arbeit“, sagt Visser und lacht. „Das Moore'sche Gesetz ist unser Geschäftsmodell: Chips sollen alle zwei Jahre doppelt so leistungsfähig, kleiner und energieeffizienter werden. Dieser Anspruch ist Grundlage für die Entwicklung unserer Maschinen und Mitarbeitenden.“

ASML Academy als Investition

Visser ist seit acht Jahren bei ASML. Er half mit, die Strukturen aufzubauen, um Fach- und Führungskräfte gezielt zu gewinnen und zu fördern. „Als lernende Organisation entwickeln und pflegen wir die Expertise aller unserer Mitarbeitenden durch umfassende Programme und Strategien“, erklärt Visser. Ein zentrales Ziel beim Onboarding: die „Time to Competency“ möglichst kurz zu halten. „Unsere Schulungen bringen unsere Neuzugänge rasch auf ein produktives Kompetenzniveau.“

Seit drei Jahren bündelt die ASML Academy alle Schulungsaktivitäten über alle Standorte, Bereiche und Themen



Wouter Visser steuert das Lern- und Wissensmanagement.

hinweg, unterstützt von starken Teams aus Fachleuten für Lern- und Wissensmanagement. „Das ist eine bewusste Investition, denn nur so können wir unsere technologische Spitzenposition sichern.“

Kooperationen mit technischen Unis

Der Fachkräftebedarf in der Halbleiterindustrie wächst rasant. ASML beschäftigt derzeit rund 44.000 Mitarbeitende aus über 140 Ländern und verfolgt verschiedene Strategien zur Nachwuchsgewinnung, wie Visser erläutert: „Wir kooperieren intensiv mit Universitäten weltweit und schaffen gemeinsam Bedingungen für die Zusammenarbeit im Bereich Lehren und Lernen, um Studierende in MINT-Fächern wie Elektrotechnik und Maschinenbau, aber auch Künstliche Intelligenz und Informatik sinnvoll einzubinden.“

Die Zusammenarbeit geht über Firmenbesuche, Abschlussarbeiten und Praktika hinaus. „Um unsere Zusammenarbeit zu stärken, arbeiten wir auch mit wichtigen Bildungseinrichtungen zusammen.“ So haben beispielsweise ASML und die Technische Universität Eindhoven eine strategische Partnerschaftvereinbarung über Forschung und Bildung mit einer Laufzeit von zehn Jahren und einem Volumen von 80 Millionen Euro geschlossen. In den nächsten zehn Jahren werden in Schlüsselbereichen wie Plasmaphysik, Mechatronik, Optik und Künstlicher Intelligenz fast 100 Doktorandinnen und Doktoranden ausgebildet werden.

Wer den Chip hat, hat die MACHT



Europa hat es sich zum Ziel gesetzt, seine eigene Souveränität in Mikrochip-Design, -Entwicklung und -Produktion zu stärken, um wettbewerbsfähiger und unabhängiger von Expertise und Lieferungen aus dem Ausland zu werden. Die TUM positioniert sich als Brückenbauer zwischen Spitzenforschung, angewandter Entwicklung und Nachwuchsförderung, erläutert Ali Sunyaev, Vizepräsident am TUM Campus Heilbronn und Professor für Information Infrastructures.

Über eine Billion Chips wurden im Jahr 2024 weltweit produziert. Die Europäische Union hält gerade mal einen Anteil von 10 Prozent am weltweiten Chip-Markt. Das Europäische Chip-Gesetz setzt hier an: Mit Investitionen in Höhe von 43 Milliarden Euro will die EU auf die steigende Nachfrage reagieren und einer Halbleiterknappheit auf dem Kontinent vorbeugen. Und auch in Heilbronn bewegt sich Zukunftsweisendes: Das weltweit führende Forschungs- und Innovationszentrum für Nanoelektronik und digitale Technologien hat sich hier mit einem Innovationszentrum für Automobil-Chiplets angesiedelt (mehr dazu auf den Seiten 11–13). „Nur durch gemeinsames Handeln kann Europa bestehen. Es braucht ein inklusives, resilientes europäisches Chip-Ökosystem – mit klaren Strategien für Lieferketten, Talentgewinnung, Investitionen und regulatorische Rahmenbedingungen. Hochschulen sollten dabei noch stärker in die Förderung von Talenten investieren“, ist Sunyaev überzeugt.

Mit dem Munich Advanced Technology Center für High-Tech KI-Chips, kurz MACHT-AI, hat die TUM am Campus

Garching ein Leuchtturmprojekt initiiert, das die bayerische Landesregierung mit viereinhalb Millionen Euro unterstützt hat. Es soll sich zur größten und fortschrittlichsten Ausbildungs- und Forschungsplattform für KI-Chip-Design in Europa entwickeln (Mehr dazu auf den Seiten 8–10.)

Die Exzellenzuniversität verfolgt damit das Ziel, nicht nur technologisch aufzuschließen, sondern Zukunft aktiv mitzugestalten. „Wir ermutigen die Menschen in Deutschland, ihre Ideen Wirklichkeit werden zu lassen. Unsere Universität versteht sich dabei als Impulsgeberin für eine aufstrebende Chip-Industrie in Europa – und als Nährboden, auf dem sie wachsen kann“, erläutert Sunyaev.

Schlüsseltechnologien fördern

Neben der Forschung an KI-Chips treibt die TUM auch andere zukunftsweisende Technologien wie Quantenchips und neuromorphe Systeme voran. Gerade für Europa sind dies Schlüsseltechnologien, um strategisch unabhängig zu werden – nicht nur ökonomisch, sondern auch geopolitisch.

Die TUM am Campus Heilbronn und das Unternehmen imec könnten künftig mit ihrer gemeinsamen Forschung als zentrale Akteure Europas Weg zu Wettbewerbsfähigkeit und Lieferkettenresilienz stärken – mit der gemeinsamen Absichtserklärung ist der erste wichtige Schritt getan. „Wenn der Zeitgeist es zulässt, können wir bestehende Ideen und Potenziale optimal nutzen – vorausgesetzt, wir sind bereit, auch unkonventionell zu denken. Ein Blick auf moderne Sprachmodelle verdeutlicht: Nicht Masse, sondern die Raffinesse der dahinterliegenden Logik führt zum Ziel“, sagt Sunyaev. ●

Wenn Theorie auf Praxis trifft

Wie können Studierende jenseits von Job-messen und Bewerbungsrunden mit Unternehmen in Kontakt kommen? Die Antwort lautet: 1.000+. Das innovative Format bringt Masterstudierende und Entscheider im Rahmen einer Projektwoche zusammen – praxisnah, interdisziplinär und mitten im Arbeitsalltag.

Der TUM Campus Heilbronn ist von Beginn an Teil der TUM 1.000+ Projektwoche und stärkt gemeinsam mit zahlreichen Unternehmen aus der Region den Austausch zwischen Wissenschaft und Praxis. Die nächsten Projektwochen starten im April und Oktober 2026. Unternehmen und Studierende können sich im Frühjahr 2026 für den Herbst bewerben.

Im Mittelpunkt von 1.000+ stehen reale Herausforderungen aus den Betrieben. In interdisziplinären Teams arbeiten Gruppen von Studierenden fünf Tage lang intensiv an konkreten



Interdisziplinär und praxisnah: Studierende und Unternehmen arbeiten bei 1.000+ zusammen.

Fragestellungen, die Unternehmen aktuell beschäftigen. Dabei erhalten die Teilnehmenden tiefe Einblicke in Prozesse, Unternehmenskulturen und Innovationsdynamiken. Ob Softwaretests, Marktanalysen, Weiterbildungspläne oder strategische Zukunftsfragen – das Spektrum ist breit. Am Ende der Woche präsentieren die Teams ihre Ergebnisse und diskutieren diese mit ihren Mentorinnen und Mentoren.

„Challenge-basiertes Lernen in interdisziplinären Teams vor Ort dient sowohl als Berufsvorbereitungsmaßnahme als auch als Marketinginstrument für Unternehmen“, erklärt Nina Santner, Projektleiterin von 1.000+. Dieses Format ist dabei kein Assessment-Center, sondern ein Lern- und Innovationsprojekt, das Wirtschaft, Wissenschaft und Talente praxisnah verbindet – ganz im Sinne der TUM als „Entrepreneurial University“.

Positives Feedback von allen Seiten

Bei der letzten Ausgabe im Januar 2025 nahmen 35 Unternehmen teil, darunter Hidden Champions und Global Player aus der Region Heilbronn-Franken. Partner wie Schwarz IT, Bechtle, Münzing Chemie, Blanco oder Blanc & Fischer Corporate Services stellten konkrete Projekte bereit, an denen Studierende aus vielen Nationen und Fakultäten gemeinsam arbeiteten. Beim IT-Dienstleister Bechtle befassten sie sich mit einer realen KI-Herausforderung in früher Projektphase. Die Ergebnisse überzeugten: „Ein sehr guter erster Denkanstoß“, sagt Pit Ogermann, Head of AI Research & Strategy. „Es war uns wichtig, uns frühzeitig mit der Problematik auseinanderzusetzen.“ Auch auf Studierendenseite fällt das Feedback positiv aus. Natalie Schürmann, Masterstudentin an der TUM School of Natural Sciences, die bei Münzing Chemie hospitierte, resümiert: „Ich konnte exklusive Einblicke in die Chemiebranche gewinnen, ohne meinen Studienalltag zu unterbrechen.“

Für Unternehmen bietet 1.000+ die Chance, Nachwuchstalente im Arbeitsalltag kennenzulernen. Forschende nutzen die Projektwoche, um aktuelle Fragestellungen aus der Praxis gemeinsam mit Studierenden zu durchdenken. Und für die Studierenden selbst ist 1.000+ oft der erste Schritt in Richtung Berufseinstieg oder sogar Inspiration für ein eigenes Start-up. ●

Mehr zu 1.000+ unter
<https://1000plus.cit.tum.de>



Von Taschkent nach Heilbronn – und ins Quantenzeitalter



Wenn Quantencomputing auf grüne KI trifft: Mokhina Dustmurodova gestaltet die Zukunft.

Mit gerade einmal 23 Jahren entwickelte die TUM-Studentin Mokhina Dustmurodova gemeinsam mit zwei Kommilitoninnen einen Quantum GPT, der Laien den Zugang zu Quantencomputing erleichtert. Im Oktober 2023 kam die Usbekin aus der Millionenmetropole Taschkent ins beschauliche Heilbronn, um an der TUM ihre akademische Heimat zu finden.

Inzwischen hat sie ihren Bachelor in Management and Technology abgeschlossen und studiert nun im Master an der TUM in München. Nebenbei arbeitet sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin beim Fraunhofer IAO, wo sie sich mit einem zukunftsweisenden Thema beschäftigt: grüne KI, also Künstliche Intelligenz, die energieeffizient und umweltfreundlich entwickelt und eingesetzt wird. Der Heilbronner Bildungscampus überraschte sie mit seiner Vielfalt: „Ich hatte Gelegenheit, die Campus Founders,

den IPAI, die TUM Venture Labs und das Fraunhofer Institut kennenzulernen und an vielen Veranstaltungen teilzunehmen“, sagt Mokhina.

Technologie für den Menschen

Das Ziel der Studentin ist klar: Als Erfinderin möchte sie neue Technologien entwickeln, die nützlich, verständlich und sicher für Menschen sind. „Nicht jeder muss wissen, wie ein Computer funktioniert, aber er sollte wissen, wie er ihn sinnvoll einsetzt.“ Die Neugier der jungen Frau endet aber nicht bei KI. Während des Studiums entdeckte sie ein weiteres Zukunftsfeld: Quantencomputing.

Das Large Language Model, das sie mit zwei Kommilitoninnen entwickelte, vermittelt Nutzerinnen und Nutzern Basiswissen über Quanten. Ihre Bachelorarbeit schrieb sie über Quantenalgorithmen für Lieferketten. „Ich war überrascht, dass das Thema angenommen wurde; im Management-Studium ist das doch eher ungewöhnlich“, erzählt sie. Umso mehr schätzt sie die Unterstützung ihrer Professoren. „Hier wird Begeisterung gefördert, nicht begrenzt.“

Vom Buddy-Programm zur eigenen Forschungsvision

In ihrer Heimat hatte die engagierte Frau das Gefühl, sich nicht ideal entfalten zu können. „In Deutschland war ich zunächst in einer völlig neuen Umgebung und lernte eine andere Kultur kennen. Aber ich wusste schnell, dass ich mich hier perfekt weiterentwickeln würde.“ Der Einstieg in das deutsche Hochschulsystem gelang ihr mithilfe des Buddy-Programms. „Gerade im ersten Semester ist die Unterstützung sehr wichtig, um das deutsche System zu verstehen“, sagt Mokhina. Auch die internationale Ausrichtung des Studiengangs half: „Ich hatte nicht damit gerechnet, dass es an der TUM ein englischsprachiges Programm gibt.“ Besonders die Kombination aus betriebswirtschaftlichen und technischen Fächern überzeugte sie. Heute forscht Mokhina weiterhin an nachhaltiger KI, verbessert ihre Quanten-Skills und bleibt dem Heilbronner Campus verbunden. Ihr Vertrag beim Fraunhofer IAO wurde verlängert, sodass sie von München aus weiterarbeiten kann. „Wissenschaftliche Entdeckungen sollen helfen, die Welt und uns besser zu verstehen“ – ein Leitsatz, der sie antreibt. ●



Wenn zwei sich scheiden, leidet die Firma

Es begann wie ein Traum: Die beiden waren leidenschaftlich verliebt, und schon bald läuteten die Hochzeitsglocken. Darüber hinaus verband die Frischvermählten ihre gemeinsame Begeisterung fürs Unternehmertum – sie gründeten zusammen ein Start-up oder übernahmen ein Unternehmen. Jahre später das bittere Aus: Die Ehe endet beim Scheidungsanwalt. Mitten im Rosenkrieg steht nun eine entscheidende Frage im Raum: Was wird aus der gemeinsamen Firma?

Dieser Frage ist Miriam Bird, Professorin für Entrepreneurship and Family Enterprise am TUM Campus Heilbronn, auf den Grund gegangen. Bereits vor einigen Jahren hatte sich die Ökonomin mit den Unterschieden zwischen Familienunternehmen befasst, die entweder von einem Ehepaar oder einem Geschwisterteam geführt werden. Ihre zentrale Erkenntnis: Unternehmen, die von

Ehepaaren geführt werden, verzeichnen im Durchschnitt höhere Wachstumsraten als solche, die von Geschwistern geleitet werden – insbesondere bei jungen Unternehmen.

Die Wissenschaftlerin erklärt dies damit, dass sich Ehepartner tiefer vertrauen, sich mehr mit ihrer Beziehung identifizieren und sich gegenseitig stärker verpflichtet

fühlen als Geschwister. Auch wenn sich dieser Effekt bei etablierten Unternehmen mit festeren Strukturen abschwächt, scheinen Ehepaare in der Chefetage auf den ersten Blick wichtige Vorteile auf ihrer Seite zu haben.

Daten aus verschiedenen Ländern

Einen Haken gibt es allerdings: Während Geschwisterbeziehungen meist ein Leben lang bestehen, bleiben längst nicht alle Ehepaare zusammen, bis dass der Tod sie scheidet. Die möglichen Folgen beschäftigten auch Bird: „Mich interessierte die Frage: Was passiert, wenn in der Beziehung Konflikte entstehen und die Ehe schließlich aufgelöst wird? Wie wirkt sich das auf die Firma aus?“

Um diesen Fragen nachzugehen, nahmen Bird und ihr Team ihr Forschungsprojekt wieder auf und erweiterten es: „Wir haben untersucht, welche Folgen Scheidungen für das Unternehmen haben. Zudem haben wir erforscht, welche Faktoren die negativen Effekte auf die Unternehmensperformance verstärken und welche sie abschwächen.“ Auch mit der optimalen Zusammensetzung des Aufsichtsrats und dessen Schlichtungsmöglichkeiten im Ernstfall haben sich die Forschenden beschäftigt.

Zeitliche und emotionale Belastung

Als Messgröße diente der Return on Assets, also die Gesamtkapitalrendite. „Dieser wird oft als guter Indikator für die Unternehmensperformance genannt, weil er zeigt, wie effizient ein Unternehmen mit seinen Ressourcen wirtschaftet“, erklärt Bird. Zusätzliche Tests hätten gezeigt, dass CEOs, die einen Scheidungsprozess durchlaufen, weniger Zeit in der Firma verbringen und öfter krankheitsbedingt ausfallen: „Eine Trennung nimmt enorm viel Zeit in Anspruch – wegen der zahlreichen Termine mit Anwälten und Gerichten und weil viele Absprachen mit der Familie und den Kindern getroffen werden müssen. Zudem ist sie eine starke emotionale Belastung, weil grundlegende Entscheidungen über das weitere Leben getroffen werden müssen.“

Bird fasst die wichtigsten Ergebnisse ihrer noch unveröffentlichten Studie zusammen: Nach einer Scheidung der Geschäftsführenden nimmt der Return on Assets deutlich ab. Verbleiben beide Ex-Partner im Unternehmen, verschärft sich der negative Effekt. „Mit der Trennung gehen die positiven Impulse, die das Ehepaar ins Unternehmen eingebracht hat, verloren. Zudem lässt sich kaum verhindern, dass der private Konflikt in den Betrieb getragen wird“, erläutert die Forscherin. Doch es gibt Faktoren, die den Schaden mildern: „Wenn Kinder im Unternehmen tätig sind, schwächt das den negativen Effekt ab – weil der CEO eine langfristige Perspektive hat und motiviert ist, das Unternehmen gut zu übergeben.“



Wenn Unternehmerpaare sich trennen: Prof. Bird zeigt, wie Firmen darunter leiden – und wie man das verhindert.

Und wenn der Verwaltungsrat mit externen Mitgliedern besetzt ist, bringt das zusätzliche Objektivität und Expertise in die Krise.“

Offene Fragen und ein Tipp

In weiteren Studien will Bird untersuchen, welche Rolle die Eigentümerstruktur für den Einsatz von Ressourcen spielt. Außerdem möchte sie herausfinden, wie sich Variablen wie Social Impact oder Mitarbeiterfluktuation nach einer Scheidung in der Führungsetage entwickeln. Unternehmen mit weiblichen CEOs schneiden hier in der Regel besser ab. „Ganz besonders interessieren mich die Konsequenzen für die Mitarbeiter“, fügt sie hinzu. Gerade in mittelständischen Unternehmen, in denen Beschäftigte direkt dem Chef unterstellt sind, könnten die Auswirkungen einer Scheidung besonders stark spürbar sein: „Wie reagieren sie darauf? Halten sie eher zum einen Ehepartner als zum anderen? Bilden sich Koalitionen? Das finde ich sehr spannend.“

Eine Empfehlung gibt Bird Paaren, die ein Unternehmen gründen oder bereits gemeinsam führen: „Sie sollten sich frühzeitig überlegen, was mit dem Unternehmen passiert, falls sie sich scheiden lassen. Rechtliche Instrumente wie ein Ehevertrag oder konkrete Regelungen zu den Unternehmensanteilen können dabei helfen. Wenn sie damit warten, bis die Emotionen während der Scheidung hochkochen, ist es oft zu spät. Viel Unsicherheit lässt sich vermeiden, wenn solche Fragen von Anfang an geklärt werden.“

wo Zukunft Gestalt annimmt

Zahlreiche Fachleute aus Mittelstand, Wissenschaft und Politik kamen am TUM Campus Heilbronn zusammen. Beim Kongress „RETHINK. MITTELSTAND – Erfolgreich durch Machen“ und dem anschließenden TUM Talk diskutierten sie, wie KI, Robotik und Digitalisierung den Mittelstand prägen – und wie aus Forschung echte Innovation wird.

Die Region Heilbronn-Franken zeigte sich dabei einmal mehr als aufstrebendes europäisches „AI Valley“. Gemeinsam mit der ZEIT Verlagsgruppe lud die Technische Universität München (TUM) zum Innovationskongress auf ihren Campus Heilbronn – mit dem Ziel, den Dialog zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft zu vertiefen. Im Fokus: die digitale Transformation des Mittelstands und die Frage, wie technologische Exzellenz, Unternehmertum und gesellschaftliche Verantwortung zusammenfinden.

Die Gäste aus Forschung, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft erwartete ein kompaktes Programm aus Vorträgen, Panels und interaktiven Formaten. Dabei wurden nicht nur Herausforderungen adressiert, sondern vor allem konkrete Lösungsansätze in den Mittelpunkt gerückt. Kurz: ein Tag für Macherinnen und Macher, die den digitalen Wandel nicht irgendwann, sondern jetzt gestalten wollen.

Technologie, die wirkt

Zentraler Ausgangspunkt vieler Diskussionen war die Frage: Wie gelingt der Sprung von exzellenter Forschung – wie sie an der TUM tagtäglich betrieben wird – in die praktische Anwendung? Und welche Voraussetzungen müssen erfüllt sein, damit mittelständische Unternehmen von KI, Robotik, High Performance Computing oder Process Mining konkret profitieren?

Antworten darauf lieferten zahlreiche Praxisbeispiele, unter anderem von Unternehmen wie Schunk oder NEURA Robotics. Die Botschaft: Forschung muss im Mittelstand ankommen und wirken.

Transfer braucht Teamwork

Der abendliche, bereits zum sechsten Mal stattfindende TUM Talk bildete den Schlusspunkt des Tages. Unter dem Leitmotiv „Innovationsbrücken für ein starkes Morgen“ diskutierten führende Köpfe aus Wissenschaft und Industrie, wie Wissenstransfer gelingt und welche Rolle Universitäten dabei spielen. Viele kamen aus der Region Heilbronn-Franken, die laut Prof. Ali Sunyaev, Vizepräsident TUM Campus Heilbronn, „mit einer Vielzahl an großartigen Unternehmen gesegnet ist“.

Forschung bringt Ideen hervor, die die Wirtschaft dringend braucht. Zwischen Innovationsdrang und multiplen Herausforderungen wächst der Bedarf an Austausch: Wenn Wissenschaft und Unternehmen früh zusammenarbeiten, lassen sich Probleme schneller erkennen und Lösungen gezielt umsetzen. „Wie vergrößern wir die Wirkung von Forschung?“, brachte es die Moderatorin



Unter der Moderation von Prof. Jeanne Rubner diskutierten Mirko Holzer, Christine Grotz, Prof. Dagmar Schuller und Prof. Hans-Joachim Bungartz (hinten, v.l.). Prof. Ali Sunyaev und Prof. Thomas F. Hofmann (vorne, v.l.) stimmten das Publikum ein.

des Abends, Prof. Jeanne Rubner, Vizepräsidentin der TUM für Globale Kommunikation und Public Engagement, auf den Punkt. TUM-Präsident Prof. Thomas F. Hofmann erinnerte daran, dass Fortschritt immer mit einer vertrauensvollen Kooperation beginnt: „Am Ende passiert Innovation zwischen Menschen.“ Nur durch Zusammenarbeit über Grenzen hinweg könne Europa seine technologische Stärke sichern.

Innovation ist kein Zufallsprodukt

Wie dieser Brückenschlag konkret aussieht, zeigten Christine Grotz (Weber-Hydraulik), Prof. Dagmar Schuller (Audeering), Mirko Holzer (SPRIND) und Prof. Hans-Joachim Bungartz (TUM). Grotz warb dafür, das Denken in Silos aufzubrechen und voneinander zu lernen, Schuller betonte neben fachlichen Kompetenzen den Wert eines offenen Mindsets: „Kleinere Unternehmen sind häufig offener dafür, neue Wege auszuprobieren.“ Holzer verwies auf die Herausforderungen für Start-ups in Deutschland und plädierte für mehr Mut, Chancen aktiv zu nutzen. Bungartz unterstrich die Rolle der Hochschulen als Impulsgeber mit wissenschaftlicher Tiefe und unternehmerischem Denken.

So sind Hochschulen wie die TUM entscheidende Brückenbauer. Sie schließen Innovationslücken bei Zukunftsthemen wie KI oder Robotik und bilden Fach- und Führungs-

kräfte von morgen aus. Praxisnahe Angebote wie etwa die Projektwoche „1000+“ (mehr dazu auf S. 28) stärken das Verständnis für reale unternehmerische Herausforderungen und motivieren Studierende, weil sie direkt erleben, wie ihre Arbeit wirkt.

Deutlich wurde: Erfolg entsteht im Zusammenspiel. Wenn Hochschulen, Unternehmen und Förderinstitutionen nicht nebeneinander, sondern miteinander arbeiten, entsteht ein Ökosystem, das Innovation nicht dem Zufall überlässt, sondern strukturell ermöglicht.

Heilbronn als Hotspot für Schlüsseltechnologien

Heilbronn zeigt, wie das funktioniert: Die Kombination aus angewandter Forschung, wirtschaftlicher Umsetzung und strategischer Förderung – etwa durch die Dieter Schwarz Stiftung – macht die Region zu einem Hotspot für Schlüsseltechnologien in Europa. Dabei geht es nicht nur um KI oder Robotik, sondern auch um Haltung: Mut zum Wandel, Offenheit für Kooperation und Vertrauen in wissenschaftliche Expertise.

Für viele war der Tag mehr als ein Kongress: ein Signal, dass der Mittelstand bereit ist für die nächste Stufe der Digitalisierung – mit Heilbronn und seiner „Entrepreneurial University“ als Vorreiter. ●

Inspirationsquelle

Cookie-Banner

Alle kennen sie, kaum jemand mag sie: die Cookie-Banner, die vor dem Website-Besuch um Zustimmung zur Datennutzung bitten. Meist werden sie achtlos weggeklickt. Wer würde darin schon das Thema für seine Doktorarbeit sehen?



Dr. Tobias Kircher befasst sich mit Webtracking.

Dr. Tobias Kircher, wissenschaftlicher Mitarbeiter der TUM School of Management am Campus Heilbronn, hat genau das getan und erforscht, ob man das Cookie-Banner nicht einfach abschaffen kann. Voraussetzung dafür wäre ein vollständiges Trackingverbot. Die Vorteile liegen auf der Hand: „Tracking schränkt die Freiheit ein.“ Hinzu komme eine weitere Gefahr: „Personalisierte Werbung, die ohne Tracking nicht möglich wäre, kann unser Kaufverhalten beeinflussen, zu unnötigen Käufen verleiten.“ Besonders leicht zu beeinflussen seien Kinder. Daher plädiert Kircher für ein Trackingverbot für Minderjährige und andere schutzbedürftige Gruppen, wie es in den USA und in der EU bereits gilt.

Ein Drittel weniger Apps

Warum sollte die Politik ein pauschales Trackingverbot gut überdenken? Zum einen wegen drohender wirtschaftlicher Folgen: „Es würde zu einem dramatischen App-Sterben kommen. Die Qualität digitaler Angebote würde sinken, die Zahl der Werbeanzeigen steigen“, warnt Kircher. Da nicht-personalisierte Anzeigen seltener angeklickt werden, müssten die Firmen Einnahmeverluste durch mehr Anzeigen ausgleichen – ein Nachteil, denn wer will schon beim Netflix-Schauen ständig von Anzeigen unterbrochen werden?

Die Auswirkungen könnten noch gravierender sein: „Ein komplettes Verbot würde Wirtschaftswachstum und Innovationskraft bremsen, Arbeitsplätze kosten und viele App-Entwickler vom Markt drängen. Weniger tragfähige Geschäftsmodelle bedeuten auch weniger werbefinanzierte Start-ups und damit weniger Unternehmertum.“

Was Tracking mit Demokratie und Bildung zu tun hat

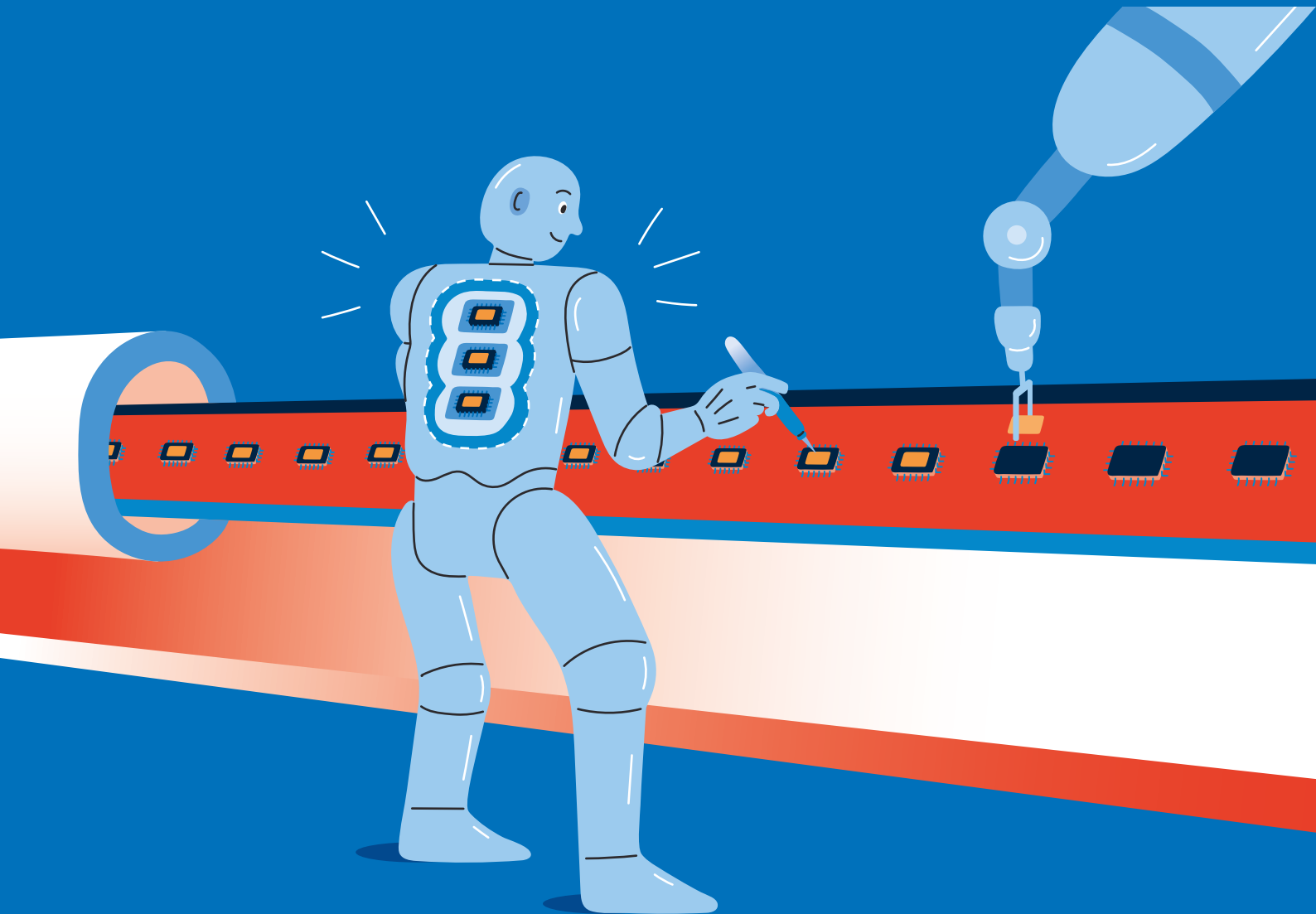
Tracking durch Drittparteien hat auch politische Bedeutung. „Vor allem Zeitungen profitieren davon: Wenn sie die Interessen ihrer Leser besser kennen, können sie Werbung gezielter und teurer verkaufen. Die wirtschaftliche Stabilität von Medien ist entscheidend, da sie wesentlich zum Erhalt der Demokratie beitragen“, erläutert Kircher.

Ein vollständiges Trackingverbot könnte sogar Bildungschancen beeinträchtigen: Kircher zeigte in einer Studie, dass seit dem 2020 eingeführten Verbot verhaltensbasierter Werbung für Kinder auf YouTube weniger Lernvideos bereitgestellt werden. „Dabei ist die Plattform eine wichtige Wissensquelle zu Vertiefung von Lerninhalten, für Vorschulkinder, aber auch ältere Schüler.“

Verschiedene Lösungsansätze

Wie lässt sich Tracking so gestalten, dass Vorteile bleiben und Risiken sinken? Kircher schlägt vor, es nur dort zu verbieten, wo keine großen Nachteile entstehen. Auf YouTube etwa könnte das Profiling eingeschränkt werden. Neue Technologien könnten Tracking künftig ganz ersetzen.

Vielleicht ist der Status quo gar nicht so schlecht: „Aktuell ist die Einwilligung per Cookie-Banner ein guter Kompromiss. So können alle selbst entscheiden, ob sie ihre Daten teilen möchten. Das Recht auf informationelle Selbstbestimmung bleibt gewahrt.“ Das Cookie-Banner wird uns wohl noch länger begleiten – manchmal lästig, aber bislang ohne echte Alternative. ●



Impressum: Mindshift ist eine Publikation des TUM Campus Heilbronn der Technischen Universität München

Herausgeber: TUM Campus Heilbronn, Bildungscampus 9, 74076 Heilbronn

V.i.S.d.P.: Prof. Dr. Ali Sunyaev **Konzeption:** Kerstin Besemer

Redaktion: Benjamin Widmayer (benjamin.widmayer@tumheilbronn-ggmbh.de), Frank Lutz (frank.lutz@tumheilbronn-ggmbh.de),
Dr. Nina Röder, Larissa Taufer (mindshift@meramo.de)

Inputgeberinnen und Inputgeber dieser Ausgabe: Prof. Dr. Ali Sunyaev, Prof. Dr. Andreas Herkersdorf, Prof. Dr. Carsten Trinitis,
Prof. Dr. Hussam Amrouch, Ben Stoffelen, Prof. Dr. Freddy Gabbay, Jakob Schäffeler, Kun Qin, Nima Baradaran Hassanzadeh,
Dr. Maurice Chales de Beaulieu, PD Dr.-Ing. habil. Michael Pehl, Sam Nour, Prof. Dr. Subhasish Mitra, Wouter Visser,
Nina Santner, Pit Ogermann, Natalie Schürmann, Mikhina Dustmurodova, Prof. Dr. Miriam Bird, Prof. Dr. Jeanne Rubner,
Prof. Dr. Thomas F. Hofmann, Christine Grotz, Prof. Dagmar Schuller, Mirko Holzer, Prof. Dr. Hans-Joachim Bungartz, Dr. Tobias Kircher

Produktion: Meramo Verlag GmbH, Gutenstetter Str. 8d, 90449 Nürnberg

Gestaltung: Viviane Schadde **Druck:** herrmann GmbH, 92289 Ursensollen **Auflage:** 1.900 Exemplare

Bildquellen: Illustrationen Doro Spiro: U1, U2, U3, U4, S. 4, 8, 11, 19, 20, 25, 27, 30

Fotos: S. 3, 31, 34: Terzo Algeri/Atelier M; S. 7, 28: TUM Campus Heilbronn; S. 7: Andreas Heddergott/TUM; S. 10: privat;
S. 11, 12, 13: Imec; S. 14: HUIJ; S. 17: Frank Lutz/Dall-E; S. 18: Matt Stark Photography; S. 21: SpiNNcloud;
S. 22: Alice Vogel; S. 23: privat; S. 24: Prof. Hector Garcia-Molina/Stanford University;
S. 26: Bart van Overbeeke Fotografie; S. 29: privat; S. 33: Andreas Henn

Stand: Januar 2026



Druckprodukt mit finanziellem

Klimabeitrag

ClimatePartner.com/10116-2511-1005



Alle Mindshift-Ausgaben als
Blätterkatalog



News vom
TUM Campus Heilbronn



Artikel aus dem Magazin
und weitere Themen vom
TUM Campus Heilbronn auf
Mindshift Online



Kompakter Überblick über
spannende Forschungsthemen



Ausführliche Informationen aus
allen Themenbereichen

