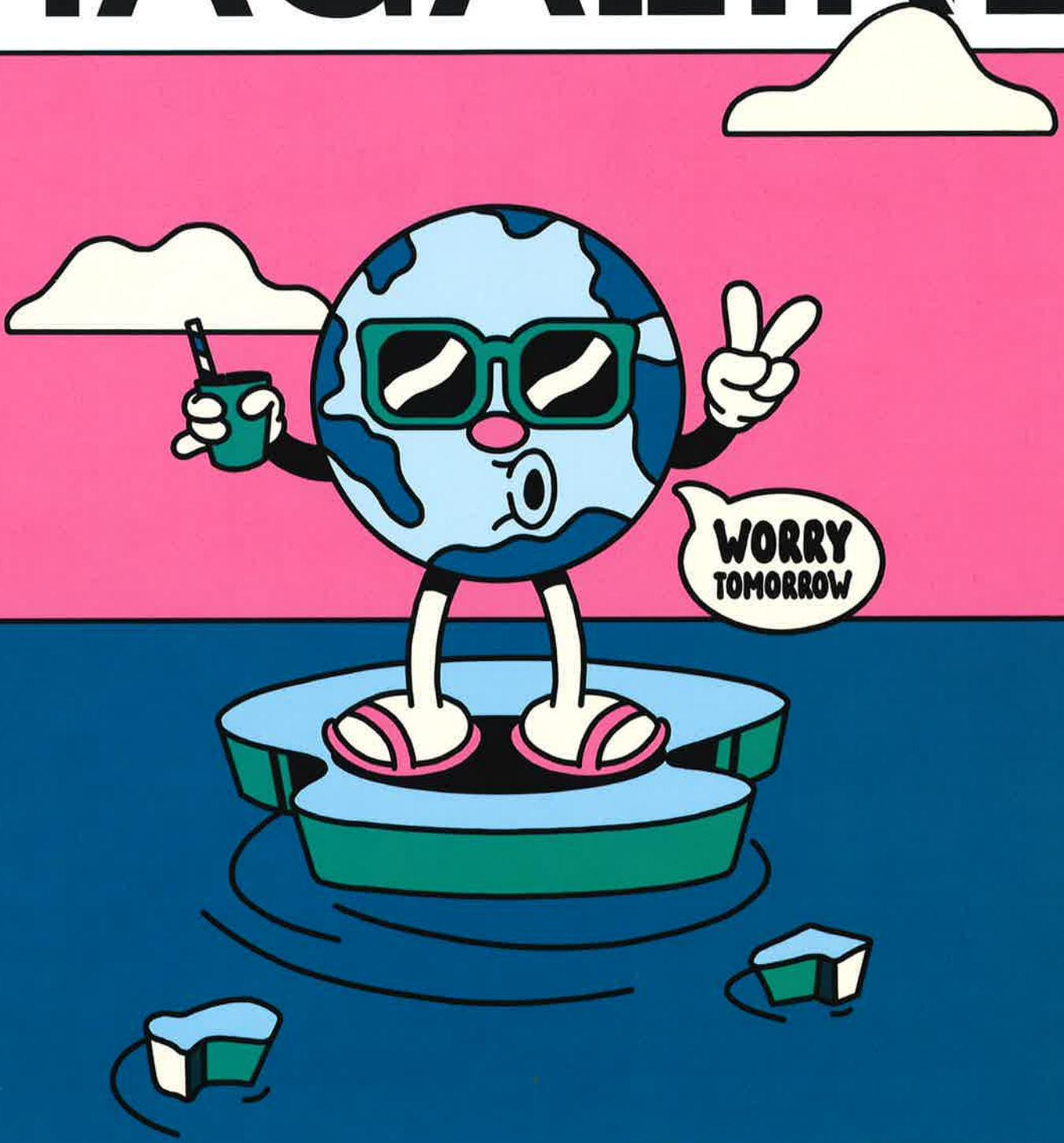


TUW

MAGAZINE



Text: Edith Wildmann
Fotos: Bettina Reiger/
 Nikolaus Houben
Visual Artist: Yeye Weller

ENERGIE- FRESSER BITCOIN

Bitcoin glänzen wie virtuelles Gold, doch ihr Ruf hat in den letzten Jahren gelitten. Denn die Kryptowährung braucht enorme Energiemengen und verursacht riesige Mengen Elektroschrott. Ist Bitcoin also ein Energiefresser und Ressourcenvernichter? Wir haben mit Lukas Aumayr und Nikolaus Houben, Experten für Kryptowährungen an der TU Wien, zu dem kontroversiellen Thema gesprochen.

Bitcoin versprechen satte Gewinne, einen Schutz vor Inflation, die Freiheit von staatlicher Kontrolle und Unabhängigkeit vom Zugriff großer Banken. Das Vertrauen in das traditionelle Finanzsystem litt nach 2008 massiv, ausgelöst vom Konkurs von Großbanken wie Lehman Brothers, dem eine Finanzkrise folgte. Menschen fürchteten um ihre Ersparnisse und Vermögen, der Glaube an die Banken bekam Risse. Zu diesem Zeitpunkt – im Oktober 2008 – trat eine mysteriöse Figur in die Öffentlichkeit: Satoshi Nakamoto veröffentlichte ein White Paper zu einer neuen digitalen Währung: Bitcoin sind eine Utopie mit dem Potenzial, unsere Welt und unser Geldsystem vollkommen zu verändern. Sie schwächen die Macht der Banken und verhindern Zugriffsmöglichkeiten von Staaten. Das Vertrauen, das Kund*innen in eine Bank setzen, wird bei Bitcoin durch Vertrauen in den Code ersetzt, auf dem Bitcoin läuft. Das Geldgeschäft erfährt eine Demokratisierung, denn alle beteiligten Miner bestätigen einzeln, dass die jeweilige Transaktion den vorgegebenen Regeln entspricht.

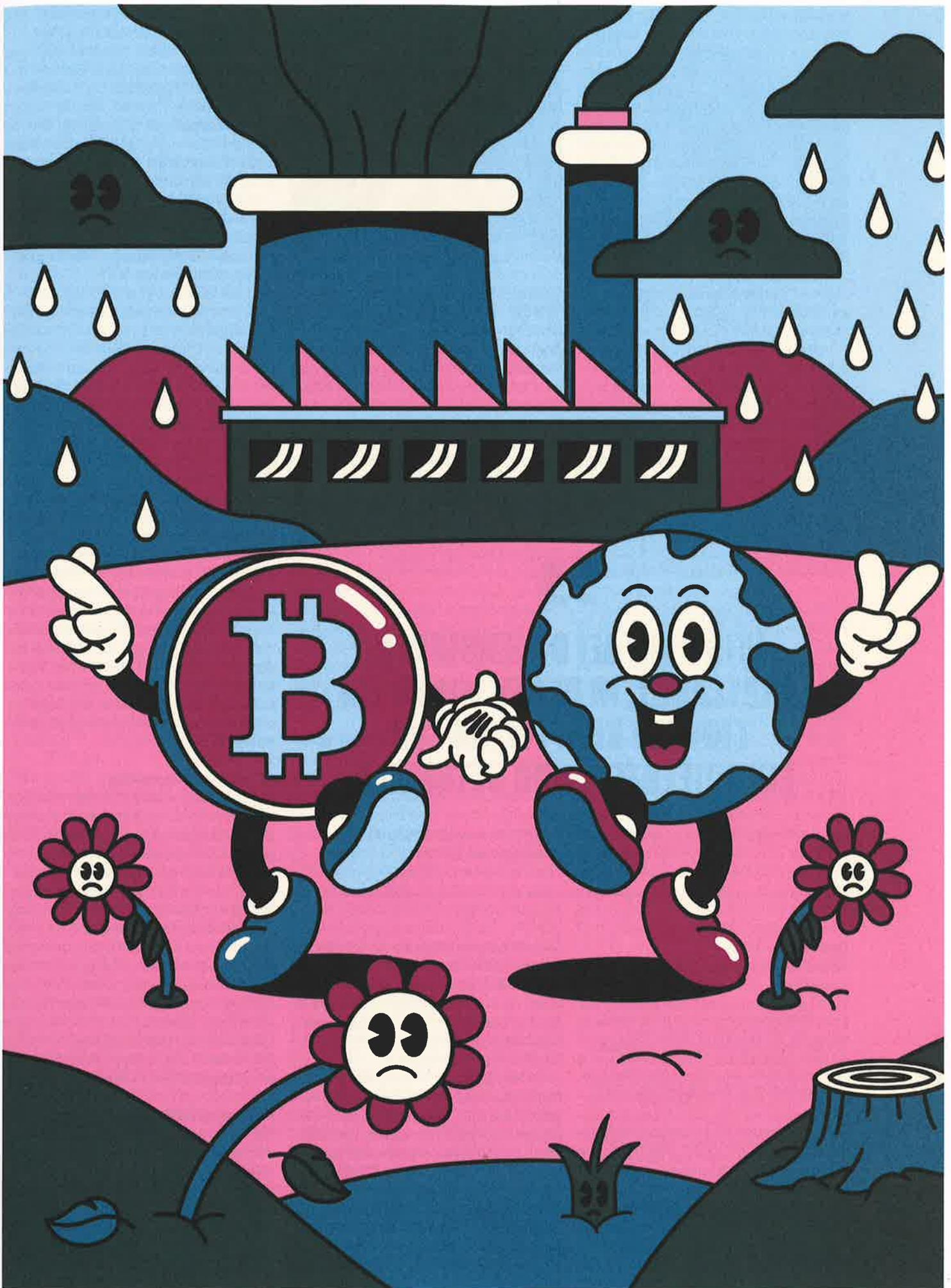
Hungrige Bitcoin

Bitcoin übernehmen damit viele Aufgaben von Geld und Gold. Zudem handelt es sich dabei um die erste digitale Währung, die nicht kopiert werden kann. Der Preis für diesen Goldstandard von Bitcoin ist der „Proof of Work“ (PoW) der Miner. Dieser „Arbeitsbeweis“ dient der Unverwechselbarkeit einzelner Bitcoin, er ist aber auch das, was Bitcoin ins Gerede bringt: ihr Energiehunger und Umweltbelastungen, die

bei Erzeugung und Handel mit der größten aller Kryptowährungen entstehen.

Bitcoin eröffnen ungeahnte Möglichkeiten und nehmen einen immer wichtigeren Platz am Finanzmarkt ein, denn auch Investor*innen haben durch die Kursgewinne von Bitcoin und anderen Kryptowährungen Appetit bekommen. Wenn der Kurs von Bitcoin steigt – laufen Investor*innen und Maschinen heiß, da mehr Teilnehmer*innen sich im Netzwerk bewegen. Was passiert? Grundlage von Bitcoin ist die Blockchain, die aus einzelnen, durch die Lösung komplexer Rechenaufgaben erstellte Blocks besteht und die Unverwechselbarkeit und Nachvollziehbarkeit garantiert. Betrüger*innen müssten die gesamte hinter einem Block liegende Blockchain verändern, was aufgrund der dafür erforderlichen Rechenleistungen unmöglich ist. Das Mining bzw. Schürfen von Bitcoin ist also die Suche nach einem Block, der nach seiner Auffindung in die Blockchain integriert wird. Die Belohnung dafür sind Bitcoin – nach Erbringung des beschriebenen PoW. Daraus ergibt sich: Je höher die Nachfrage ist, desto stärker steigt der Bitcoin-Preis. Ist der Preis höher, schürfen mehr Miner. Das hat aber auch einen erhöhten Energieverbrauch zur Folge, da die Schwierigkeit der zu lösenden Rechenaufgaben automatisch steigt.

Wer schürft, benötigt also einen enormen Energieaufwand. Die Krux daran ist, dass genau dieser Energieaufwand die Kryptowährung „hart“ macht. Aktuell ist der Energieverbrauch von Bitcoin laut Berechnungen der Plattform Digiconomist.net auf einem Allzeithoch und wird mit 204,50 TWh



pro Jahr angegeben – in der Einheit Terawattstunden wird sonst der Energieverbrauch ganzer Staaten gemessen. So entsprechen jene 204,50 TWh/Jahr dem Energieverbrauch von ganz Thailand. Auch der CO₂-Fußabdruck von Bitcoin ist vergleichsweise hoch und wird mit 114,06 Mt CO₂ angegeben – er ist damit mit jenem von Tschechien vergleichbar.

Nikolaus Houben, PhD-Kandidat an der Energy Economics Group und Energieexperte, betont: „Wenn es ums Mining geht, ist die ökonomische Betrachtung zentral. Wir sind bei Dimensionen angelangt, in denen Miner ein eigenes Kraftwerk zur Energieerzeugung betreiben müssen, oder sie entnehmen den Strom aus dem Stromnetz – hybride Formen sind möglich. Miner schließen sich daher überwiegend einem Mining-Pool an, der dann in Serverfarmen in den USA oder Kasachstan schürft.“ Privates Mining verschwindet aktuell zunehmend, da die geschürften Bitcoin den Wert der Energiekosten nicht mehr decken können.

Mining verwendet werden kann. Dadurch entstehen laut der Plattform Digiconomist 34.52 kt Elektroschrott pro Jahr, vergleichbar mit den Mengen an Elektroschrott, den ein Land wie die Niederlande produziert.

Bye-bye Bitcoin!

Mitte September 2021 war es so weit: China, das Bitcoin-Mining-Land schlechthin, beschloss ein Verbot aller Bitcoin-Transaktionen sowie das Mining der digitalen Währung. Die chinesische Regierung erklärte ihr Verbot mit dem exorbitanten Energieaufwand des Bitcoin-Minings, was aber wohl nur ein Teil der Wahrheit ist. Denn Expert*innen mutmaßen, dass der chinesischen Regierung wohl auch das anarchische Moment von Bitcoin ein Dorn im Auge ist. China arbeitet seit Jahren an einem digitalen und von der chinesischen Notenbank kontrollierten Yuan – das Projekt ist auch ideologisch das genaue Gegenteil der schwer kontrollierbaren digitalen Währung Bitcoin.

um Unterstützung, was geopolitische Abhängigkeiten zutage treten lässt.

Tatsächlich sind die ökologischen Folgen des chinesischen Verbots der Bitcoin-Miningfarmen noch nicht absehbar, meint Houben, da das Verbot der Miningfarmen noch relativ neu ist. China diene vorwiegend die CO₂-neutrale Wasserkraft zur Energieerzeugung für Bitcoin.

Die USA sind nach dem Ausstieg Chinas zum wichtigsten Land der Miningfarmen geworden – mit dem Effekt, dass alte fossile Energieanlagen wieder in Betrieb genommen werden.

Houben weist ebenfalls darauf hin, dass erneuerbare Energien am kostengünstigsten wären, wenn nicht CO₂-intensive Energiequellen wie Gas und Kohle subventioniert, bzw. ein adäquater CO₂-Preis fehlen würde. Er sieht die Zukunft des Mining in Wasserkraft oder Solarenergie – Kostenwahrheit vorausgesetzt. Der Energiehunger von Bitcoin steht außer Zweifel. Wenn aber Unternehmer wie Elon Musk oder ganze Nationen den Schutz der Umwelt als Gründe für ein Verbot oder Boykott der Kryptowährung nennen, lohnt sich ein kritischer Blick auf mögliche andere Beweggründe. Die Rettung der eigenen Geschäftsgrundlage und Kontrollverlust kann für Staaten und Banken auch ein Anreiz sein, Kryptowährungen wie Bitcoin zurückzuweisen. Der Hinweis auf den CO₂-Fußabdruck und Umweltbelastungen könnte also davon ablenken, dass es auch um das Schwenden von Zugriffs- und Lenkungsmöglichkeiten geht, so der Energieexperte.



WIR SIND BEI DIMENSIONEN ANGELANGT, IN DENEN MINER EIN EIGENES KRAFTWERK ZUR ENERGIEERZEUGUNG BETREIBEN.

Nikolaus Houben, Doktorand der Energy Economics Group der TU Wien, über den Energieverbrauch von Bitcoin.

One-Trick-Pony

Damit nicht genug, ist auch der Elektroschrott, der durch Bitcoin entsteht, enorm: „Die Hardware, die zum Schürfen von Bitcoin verwendet wird, ist hochspezialisiert und wurde ausschließlich für diesen Zweck konstruiert“, erzählt Lukas Aumayr, auf Blockchain und Kryptowährungen spezialisierter Doktorand am Institut für Logic and Computation der TU Wien. Der Zeitraum, während dem diese Rechner verwendet werden, beläuft sich nur auf etwas mehr als ein Jahr, weil sie durch Innovationen obsolet werden. Das Problem dabei: Es entstehen Tausende Tonnen an Elektroschrott, weil diese Hardware als „One-Trick-Pony“ ausschließlich fürs

Die schlechten Nachrichten für Bitcoin waren damit aber nicht zu Ende: Auch in der Europäischen Union wird ein Miningverbot überlegt, im Kosovo wurde es aufgrund der ohnehin gängigen – und durch das Mining verschärften – Stromausfälle bereits umgesetzt.

In welchen Ländern siedeln sich die Miningfarmen also an? Ganz klar: Sie gehen dorthin, wo die Energiekosten am geringsten sind. Chinas Nachbarland Kasachstan wurde daher zum zweitwichtigsten Hafen für Bitcoin-Miner – und kämpft nun selbst mit Stromausfällen. Als Reaktion plant das Land gegen illegale Schürfer, sogenannte „grey miners“, vorzugehen. Bis die Maßnahmen wirken, wendet sich die kasachische Regierung an Russland

Gaming und Streaming

Im Zusammenhang mit der Kritik an Bitcoin sollten wir somit auch unseren Energiehunger insgesamt unter die Lupe nehmen. Nikolaus Houben verweist etwa auf Streamingdienste und Onlinegaming, die einen ähnlich hohen Energiebedarf wie Bitcoin aufweisen, aber nicht so heiß diskutiert werden. Letztendlich verbraucht nämlich alles, was wir im Internet machen, Energie – von der Suchmaschine bis zum Lesen oder dem Browsen durch Social-Media-Kanäle. Doch diese Industrie hat kein mächtiges Gegenüber mit gegenläufigen Interessen wie etwa die durch Kryptowährungen in die Enge getriebenen Banken.

Unstoppable Bitcoin

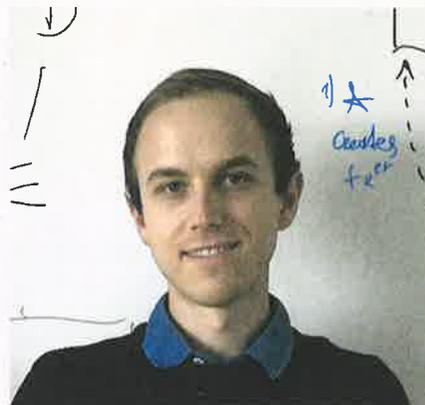
Unabhängig davon, ob nun Bitcoin und andere energieintensive Kryptowährungen verboten werden, sind sich Houben und Aumayr einig: Der Aufstieg von Bitcoin lässt sich nicht mehr aufhalten. Es werde immer Schlupflöcher und Möglichkeiten geben – das läge in der Natur der Sache.

Houben ist der Meinung, dass die Po-

litik und viele Staaten die Beschäftigung mit Bitcoin verschlafen und fordert, dass die Politik eine aktive Rolle spielt und ihre Einflussnahme prüft, um ureigene staatliche Interessen zu vertreten. Wieder sind es hier die USA, die vor Kurzem ihre Offenheit gegenüber Bitcoin und Kryptowährungen bekräftigten – und damit ihr Bekenntnis zur Technologieführerschaft. Anfang März kam Präsident Biden in einer Executive Order auf den Umgang der USA mit Kryptowährungen im Allgemeinen zu sprechen: „Die Vereinigten Staaten müssen die technologische Führerschaft in diesem schnell wachsenden Raum beibehalten, Innovation fördern und zugleich die Risiken für Verbraucher, Unternehmen, das Finanzsystem und das Klima abmildern.“



Nikolaus Houben forscht an der TU Wien zu Anwendungen von Machine Learning in Strommärkten.



Lukas Aumayr forscht an der TU Wien im Bereich Sicherheit und Datenschutz.

Exitstrategien

Ist es möglich, Bitcoins Energiehunger, der durch den „Proof of Work“ entsteht, einzudämmen? Aumayr ist sich mit anderen Expert*innen darüber einig und sieht einen Umstieg nicht ausgeschlossen, plant doch die zweitgrößte Kryptowährung Ethereum zum „Proof of Stake“ zu wechseln. Die Methode ist also etabliert – würden doch die Stakeholder mit den meisten Stakes (also Bitcoin) die Verifizierung erbringen.

Eine weitere Möglichkeit, die Aumayr nennt, ist der „Proof of Space“, für den Speicherplatz benötigt wird. Beide Möglichkeiten sind vielversprechend, denn durch sie würden die enormen Rechenleistungen umgangen. Die Bitcoin-Community hat allerdings Bedenken, so Aumayr: „Einerseits aus Gründen der Sicherheit, andererseits würde der Umstieg auf andere Methoden – insbesondere bei der Proof-of-Stake-Methode – den Charakter und das gesellschaftliche Moment der Gleichheit aller Nutzer*innen aufheben. Damit wäre wieder eine privilegierte Position eingeführt, aus der heraus andere Teilnehmer*innen ausgeschlossen werden können – wie die von Satoshi Nakamoto kritisierten Banken.“

Aumayr forscht seit Jahren an einem großen Problem von Kryptowährungen: der Skalierbarkeit, die diese in ihrer Praktikabilität einschränkt. „Skalierbarkeit“ bedeutet, dass mehr Transaktionen in der gleichen Zeit abgewickelt werden können. Derzeit können nur zehn Transaktionen pro Sekunde vorgenommen werden – eine beträchtliche Einschränkung verglichen mit den 30 bis 40.000 Transaktionen, die Kreditkartensystemen pro Sekunde schaffen. Aumayr arbeitet an einer Verbesserung des Transaktionsprotokolls und entwickelte eine Alternativvariante, mit der sicherheitskritische Attacken ausgeschlossen werden können: „Bisher waren zwei Kommunikationsrunden nötig: In der

ersten Runde wird das Geld gesperrt, in der zweiten Runde wird es freigegeben – oder zurückgebucht, wenn es Probleme gibt. Das kann bedeuten, dass für jed*en User*in in dieser Kette ein zusätzlicher Tag an Verzögerung auftritt. Bei unserem Protokoll muss die Kommunikationskette nur einmal durchlaufen werden“, erklärt der Forscher. Der Vorteil daran ist, dass die Praktikabilität von Bitcoin verbessert wird, dass aber auch gebündelt und so Rechenleistung eingespart wird. Durch diese Ersparnis der Rechenleistung wird durch die technologische Weiterentwicklung der Software am Energieverbrauch der Kryptowährung gedreht.

Goldgräberstimmung in Texas

Im Land der Miningfarmen Nummer eins, den USA, werden nicht nur Kohlekraftwerke für Bitcoin reaktiviert. Betreiber überlegen sich, wie sie natürliche Ressourcen durch Wind- und Solarenergie erzeugen können und durch smarte Lösungen zusätzlichen Gewinn lukrieren können. Die Idee: Miningfarmen kaufen bei Spitzen in der Energieerzeugung überschüssige Energie mit einem Rabatt, stellen aber ihre Rechner komplett ein, wenn durch Frost- oder Hitzeperioden Energie für das Heizen oder Kühlen von Haushalten benötigt wird.

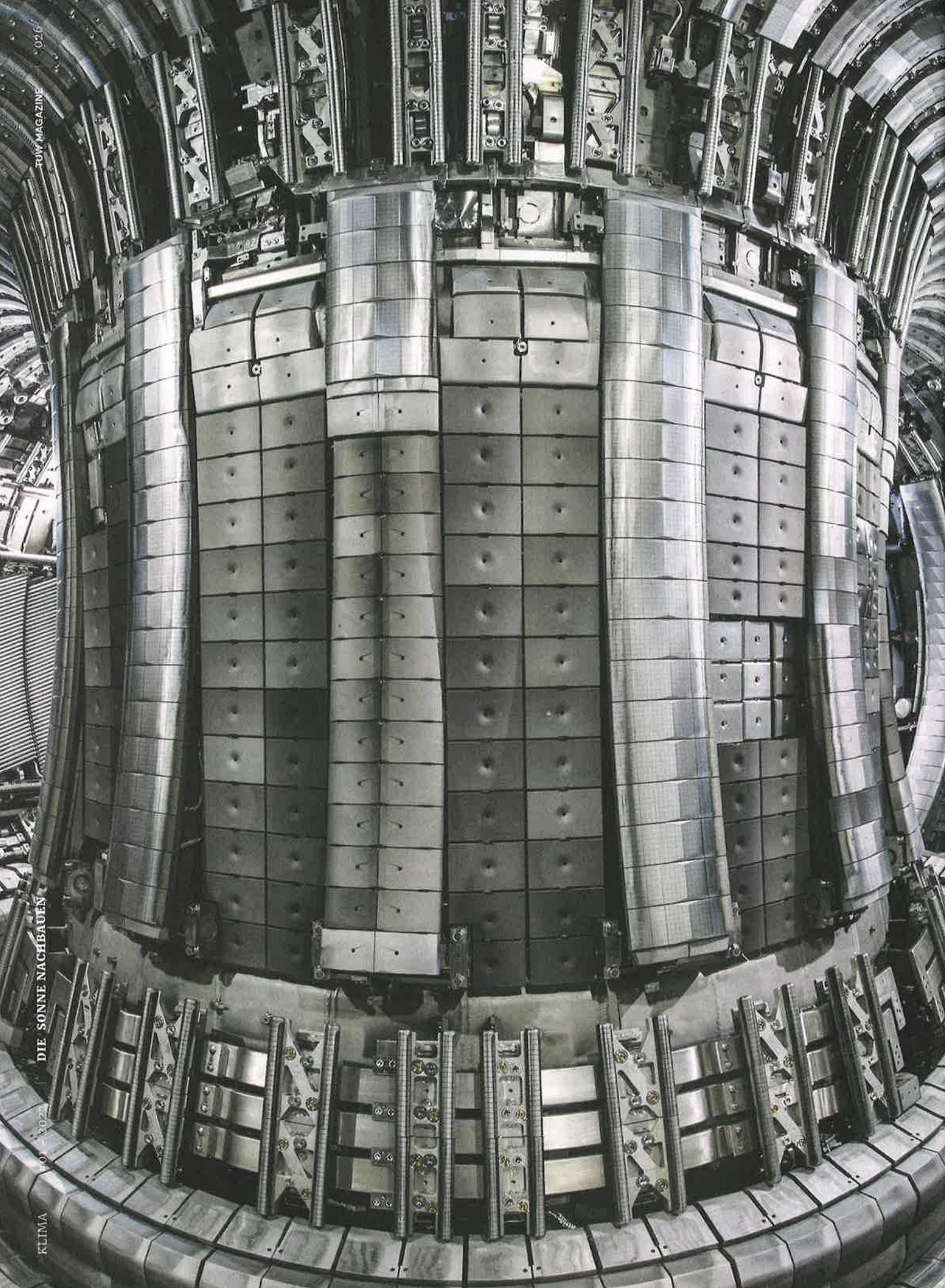
Bereits aufgebaut ist die texanische HODL-Ranch, ein 150 Megawatt starkes Krypto-Mining-Datencenter. Sie ist der erste Großbetrieb in Texas, der ausschließlich mit Wind- und Solarenergie betrieben werden soll. Immer wieder sind die Windböen so heftig, dass Strom wieder abgegeben werden kann. Goldgräberstimmung herrscht auch bei Crusoe Energy Systems, einem Unternehmen, das ein Risikokapital in der Höhe von 250 Millionen US- $\text{\$}$ von Investoren wie Tesla-Mitgründer J. B. Straubel und den Kryptomilliardären Cameron und Tyler Winklevoss lukrieren konnte:

Die Firma schürft Bitcoin mitten in entlegenen Öl- und Gasfeldern in New Mexico, Texas und North Dakota. Crusoe hat bereits 45 Container voller Bitcoin-Mining-Computer aufgestellt, die mit Erdgas betrieben werden, das aus technischen Gründen ansonsten verbrannt werden müsste. Das Mining-Center heftet sich auf die Fahnen, pro Tag rund 280 Millionen Liter Erdgas vor dem Verbrennen zu retten.

Diese Beispiele zeigen beeindruckende Möglichkeiten und die Innovationskraft der Menschen. Doch bleibt die Tatsache bestehen, dass unser weltweiter Energieverbrauch im Laufe der letzten 30 Jahre um 58 % gestiegen ist (statista.de). Bitcoins Energie- und Ressourcen-hunger ist Teil eines gewaltigen Problems, das die Kryptowährung wie durch ein Brennglas hervortreten lässt und das durch den Angriffskrieg Russlands in der Ukraine an Dringlichkeit gewonnen hat. Gewiss ist: Bitcoin werden nicht verschwinden. Selbst wenn es so wäre, müssten wir uns dennoch dringend mit ihrem – und unserem – gegenwärtigen und zukünftigen Ressourcen- und Energieverbrauch beschäftigen. ● TUW

Lukas Aumayr ist Doktorand am Institut für Logic and Computation an der TU Wien und forscht im Bereich Sicherheit und Datenschutz. Sein Forschungsinteresse gilt Kryptowährungen, der Blockchain, der Skalierbarkeit von Systemen und Offchain-Protokollen.

Nikolaus Houben ist Doktorand in der Energy Economics Group der TU Wien, wo er Forschungen zu Anwendungen von Machine Learning in Strommärkten betreibt. Er beschäftigt sich außerdem mit alternativen Kryptowährungssystemen, da er von deren zunehmenden Bedeutung überzeugt ist.



DIE SONNE NACHBAUEN

Text: Lela Thun

Fotos: ITER, David Visnija

Im Idealfall kann Kernfusion eine nachhaltige, ressourcenarme und grüne Form der

Energiegewinnung sein. Bislang warten wir jedoch noch auf den Tag, an dem wir mit ihrer Hilfe Strom ins Netz speisen können. Doch nach den neuesten, positiven Forschungsergebnissen aus dem kleineren Kernfusionsreaktor JET und einem fast fertigen Experimental Reactor ITER gibt es eigentlich nur noch wenig, was uns und dem „Break-even-Point“ der Kernfusion im Weg steht, oder?

Der globale Stromverbrauch steigt. Während Österreich zu Beginn der 2000er-Jahre noch um die 50.000 Gigawattstunden Strom verbrauchte, sind es 20 Jahre später rund 65.000. Zwar liegt Österreich – wie die meisten europäischen Länder – noch weit hinter den Spitzenreitern USA und China, was den Stromverbrauch angeht. Die beiden Länder verbrauchten 2019 6.800 bzw. 3.900 Terawattstunden (eine Terawattstunde entspricht tausend Gigawattstunden), dennoch wird der Verbrauch auch hierzulande weiter steigen. Die Zunahme von Elektromobilität und die Digitalisierung der Gesellschaft brauchen nun mal Energie.

Um den steigenden Energiebedarf zu stillen, braucht es Lösungen. Und die sollen abseits der fossilen Brennstoffe stattfinden. Das ist nicht nur wegen der ambitionierten Klimaziele ratsam – Österreich will etwa bis 2040 CO₂-neutral sein –, sondern auch wegen der geopolitischen Abhängigkeiten, die der Krieg Russlands in der Ukraine verdeutlicht hat. Nach dem Einmarsch der russischen Truppen kündigte US-Präsident Joe Biden an, kein Öl und Gas mehr aus Russland beziehen zu wollen. Die gleiche Frage stellt man sich gerade in der Europäischen Union. Weil aber ein mögliches Embargo zu weiter steigenden Energiepreisen führen könnte, fordern viele nun, die lokale Energiewirtschaft zu fördern, um unabhängig von Ländern wie Russland zu werden.

EIN MÖGLICHER ANSATZ IST DER GÄNZLICHE UMSTIEG auf erneuerbare Energien, etwa Wasserkraft oder Solarzellen. Das Problem: Nachhaltige Energieträger sind zwar gut für die Umwelt, können aber in Sachen Energieproduktion noch nicht mit anderen Energiequellen mithalten. Laut einer Rechnung von Swiss Energy Scope braucht es etwa 700 Windkraftwerke, um ein einziges Kernkraftwerk zu ersetzen. Kraftwerke, die mit Kernspaltung Energie erzeugen, stoßen wiederum keine schädlichen Treibhausgase aus, produzieren aber eine Menge radioaktiven Müll. Zudem zeigten Katastrophen im ukrainischen Tschernobyl in den 80er-Jahren oder im japanischen Fukushima 2011, wie verheerend Unfälle in Kernkraftwerken sind.

DENNOCH HAT DIE EU VOR KURZEM BESCHLOSSEN, Kernkraft als „grün“ und somit umweltfreundlich einzustufen, was vor allem in Österreich, wo die „Kernkraft? Nein, danke!“-Bewegung und die Ereignisse rund um das Atomkraftwerk Zwentendorf noch tief in den Köpfen der Bevölkerung festsitzen, für große Empörung gesorgt hat. Doch es gibt noch eine weitere Mög-

lichkeit, Energie zu erzeugen, die in der Debatte nur selten erwähnt wird: Kernfusion. „Wir werden nicht gerne mit den Kernspaltungs-Leuten in einen Topf geworfen. Kernfusion und Kernspaltung haben eigentlich nicht wirklich viel miteinander zu tun“, sagt Friedrich Aumayr, Professor am Institut für Angewandte Physik an der TU Wien und „Head of Research“ des Österreichischen Kernfusions-Projektes Fusion@ÖAW. Doch was genau ist Kernfusion eigentlich?

Elisabeth Wolfrum vom Max-Planck-Institut für Plasmaphysik erklärt das so: „Kernfusion ist das Verschmelzen zweier leichter Kerne zu einem schwereren Kern. Aufgrund des Massendefekts (Massenunterschied zwischen der tatsächlichen Masse eines Atomkerns und der stets größeren Summe der Massen der in ihm enthaltenen Nukleonen, Anm.) wird dabei Energie frei. Diese Energie wird bei dem Prozess, den wir bevorzugen, nämlich der Verschmelzung von Deuterium und Tritium zu einem Helium, hauptsächlich in Form eines Neutrons freigesetzt. Das Neutron hat eine neutrale Ladung und wird daher nicht von dem Magnetfeld-Käfig beeinflusst, in dem wir

das Plasma (eine Art Teilchengemisch, in dem sich das Deuterium und Tritium befindet, Anm.) eingeschlossen haben. Somit kann die Energie des Neutrons in Wärme umgewandelt werden.“ Unsere Sonne hat ein ähnliches Prinzip der Energiegewinnung: In ihrem Zentrum verschmelzen jede Sekunde 600 Millionen Tonnen Wasserstoff zu 596 Millionen Tonnen Helium. Dieses Prinzip wollen Forscher*innen schon seit Jahren auf der Erde imitieren. In der Theorie hört sich das alles nicht so kompliziert an, doch wie in den meisten Fällen sieht die Praxis ganz anders aus: Seit 2007 wird am International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) in Südfrankreich bereits gebaut, 15 Milliarden US-\$ sowie 15 Jahre Forschungs- und Entwicklungsarbeit wurden investiert. Fertig ist der Reaktor aber bis heute noch nicht.

Nur in Modellform wurde der Reaktor bereits fertiggestellt. Auf dem Schreibtisch von Professor Aumayr steht nämlich eine 3D-gedruckte Nachbildung des ITER. Fast schon süß sieht das Donut-förmige Gestell mit seinen vielen Farben aus, bis man den kleinen Modell-Menschen daneben sieht. Er wirkt wie eine Ameise neben einem Ele-

”

ES GIBT VIELE NEGATIVE STIMMEN, DIE SAGEN, DASS DIE KERNFUSION EIN MILLIARDENGRAB SEI UND NIE FUNKTIONIEREN WIRD. ICH GLAUBE DAS EHER NICHT.

Professorin Elisabeth Wolfrum
vom Max-Planck-Institut für Plasmaphysik.



„Wir hätten schon in den 90er-Jahren einen ITER mit Nettoenergiegewinn bauen können, dieser wäre aber um einiges größer und auch um einiges teurer geworden. Der jetzige ITER ist vergleichsweise klein, weil er billig sein musste“, so Professor Aumayr.

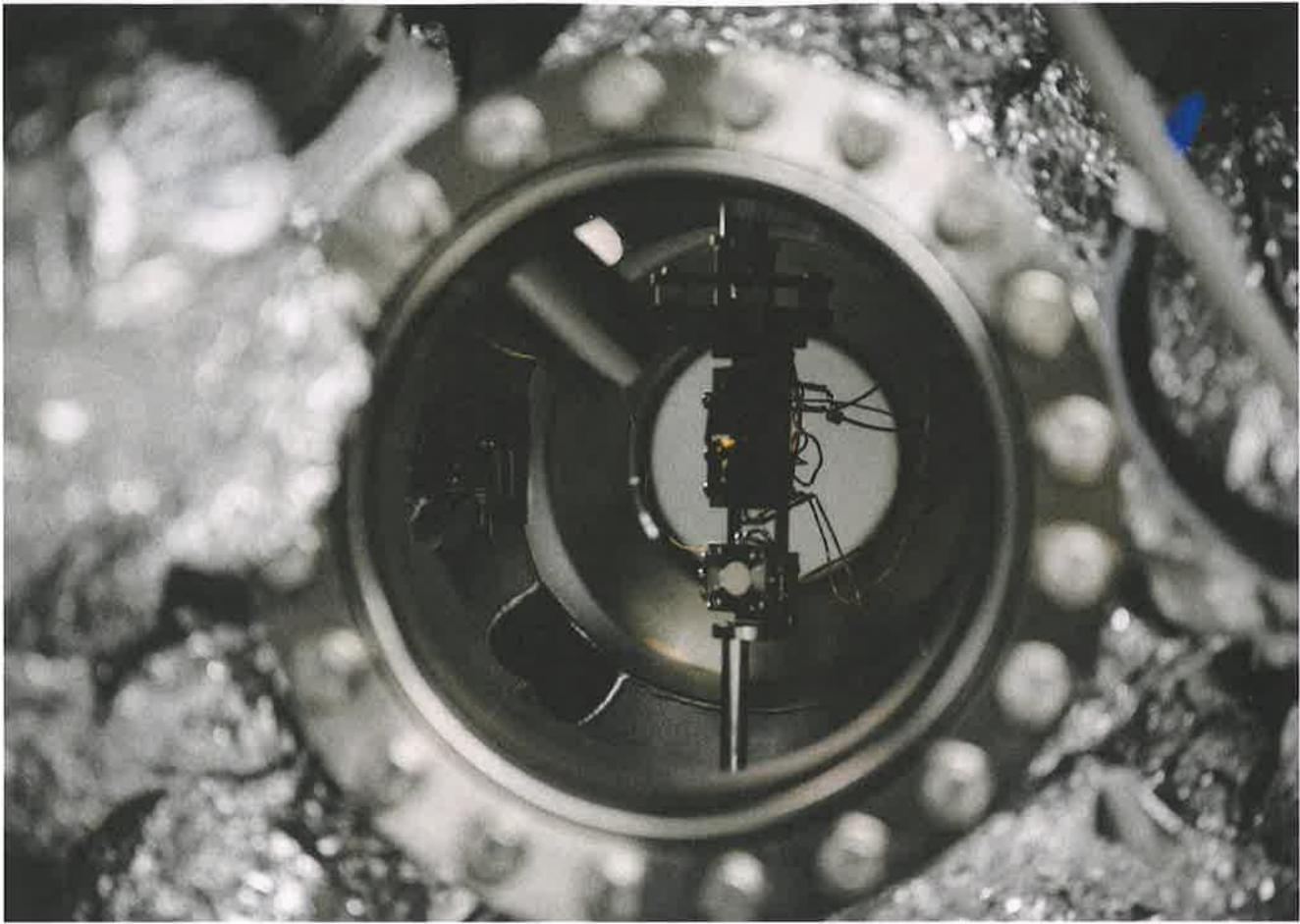
fantan. „Der ITER ist groß, doch der Reaktor, der danach gebaut werden soll, DEMO (kurz für DEMONstration Power Plant, Anm.) wird noch größer werden.“ Der ITER ist ein weltweites Projekt, bei dem alle 27 EU-Staaten, das Vereinigte Königreich, die Schweiz, die USA, China, Südkorea, Japan, Russland und Indien zusammenarbeiten. Das Ziel: erstmals einen Nettoenergiegewinn zu erzielen. Denn bisher konnte man Atome zwar fusionieren, die Energie, die dadurch gewonnen wurde, war aber geringer als die Energie, die hineingesteckt wurde. „Wir erhoffen uns vom ITER, diesen Break-even-Point nicht nur zu erreichen, sondern bis 2035 auf einen Q-Wert von zehn zu kommen“, so Aumayr weiter. Ein Q-Wert von zehn würde bedeuten, dass im Reaktor zehnmal mehr Energie gewonnen wird als hineinfließt.

Damit das alles überhaupt funktioniert, müsste das Plasma auf eine Temperatur von 150 Millionen Grad Celsius gebracht werden, was um das Zehnfache heißer als im Zentrum der Sonne wäre, dort hat es nämlich „nur“ 15 Millionen Grad Celsius. Neben der Temperatur muss auch die Teilchendichte und die Einschusszeit des Plas-

mas, sprich die Zeitspanne, in der das Plasma magnetisch eingeschlossen ist, groß genug sein, damit sich die Atome auch tatsächlich treffen können. Aber nicht nur der physikalische und technische Aspekt bereitet jenen, die am ITER arbeiten, Schwierigkeiten, wie Professorin Wolfrum erklärt: „Allein das Vakuum-Gefäß, in dem sich das Plasma bewegen soll, ist aus Teilen aus verschiedenen Staaten zusammengestellt. Da macht der eine Staat den Sektor und der andere Staat den daneben. Das ist natürlich etwas ineffizient.“ Fakt ist, dass sich Verzögerungen und Schwierigkeiten beim Bau des ITERs nicht besonders gut auf das öffentliche Bild der Kernfusion ausgewirkt haben.

„Es gibt viele negative Stimmen, die sagen, dass die Kernfusion ein Milliardengrab sei und nie funktionieren wird. Ich glaube das eher nicht“, so Wolfrum. „Selbst, wenn es am Ende nicht funktionieren würde, haben wir durch den Prozess trotzdem viele Erkenntnisse sammeln können.“ Wolfrum und Aumayr sind aber zuversichtlich – trotz der Schwierigkeiten. „Die Kosten des ITER wurden zu Beginn auf 15 Milliarden € geschätzt, mittlerweile sind es wahrscheinlich 20 Milliarden €“, so

Aumayr. Das sei mehr als beispielsweise der Teilchenbeschleuniger in Cern, der vier bis fünf Milliarden US-\$ gekostet hat. „Wenn man bedenkt, dass Deutschland vor Kurzem beschlossen hat, 100 Milliarden € in seine militärische Aufrüstung zu investieren, wirken die 15 Milliarden € für den ITER, um einiges geringer.“ Auf die Frage, ob wir mit mehr Geld schon einen funktionsfähigen ITER hätten, sagt Aumayr: „Wir hätten schon in den 90er-Jahren einen ITER mit Nettoenergiegewinn bauen können, dieser wäre aber um einiges größer und auch um einiges teurer geworden. Der jetzige ITER ist vergleichsweise klein, weil er billig sein musste.“ Damit teilt die Kernfusion ihr Schicksal mit vielen anderen vielversprechenden Technologien. Genau wie etwa beim Quantencomputer, wo bereits seit einigen Jahren auf den Durchbruch gewartet wird. Ein genaues Datum für den Break-even-Point will Aumayr nicht nennen: „Bereits vor 30 Jahren hieß es, dass in 30 Jahren Fusionsstrom fließen würde. Heute muss ich Ihnen sagen, dass das wiederum erst in 30 Jahren der Fall sein wird.“ Das erste Plasma könnte laut Wolfrum aber schon etwas früher durch den Donut-



**Elisabeth Wolfrum vom Max-Planck-Institut für Plasmaphysik erklärt:
„Kernfusion ist das Verschmelzen zweier leichter Kerne zu einem schwereren Kern.“**

förmigen Ring des Reaktors fließen: „ITER ist immer ein bisschen vorsichtig mit dem Verkünden von Daten, aber das erste Plasma soll höchstwahrscheinlich 2027 oder 2028 fließen.“

Doch der Aufwand könnte sich letztendlich lohnen.

Wolfrum: „Kernfusion ist, wenn sie funktioniert, eine fantastische Methode, um Energie zu produzieren. Weil die Ressourcen relativ gleichmäßig auf der Erde verteilt sind, weshalb es keine Verteilungskämpfe wie bei Erdöl oder Erdgas geben wird.“ Der Grund dafür liegt an den beiden Kernfusionskomponenten Deuterium und Tritium. Deuterium findet sich in Meerwasser, Tritium lässt sich relativ einfach aus Lithium erbrüten. „Wenn man aus einem Liter Meerwasser den winzigen Anteil an schwerem Wasserstoff (Deuterium) von nur 0,015% herausfiltert, so kann man mit dieser kleinen Menge genauso viel Energie gewinnen wie bei der Verbrennung von einem Fass Erdöl“, so Aumayr. In der Praxis konnte dies mit dem JET-Reaktor, dem „kleinen Bruder“ des ITER vor Kurzem bewiesen werden: Der Reaktor konnte Anfang Februar das Deuterium-Tritium-

Plasma für fünf Sekunden einschließen und hätte mit seiner Energiespeisung 10.000 Haushalte mit Strom versorgen können. Leider wurde beim JET-Experiment noch immer mehr Energie für die Fusion hineingesteckt, als gewonnen wurde, jedoch kam man dem Break-even-Point schon ein großes Stück näher.

Wenn der Nettoenergiegewinn erreicht ist, stellt sich die nächste Frage: Der zukünftige Einfluss der Kernfusion auf den Energiehaushalt der Menschen. Die einen meinen, dass die Kernfusion irgendwann den Markt dominieren wird, die anderen sind da eher skeptisch. Wolfrum erklärt diesbezüglich, dass die erneuerbaren Energien viel machen könnten – aber eben nicht alles. Sie sieht das Einsatzgebiet der Kernfusion vor allem in der Lücke, die entsteht, wenn sich die Menschheit von Kohle und Erdöl abwendet. Aumayr sieht die Kernfusion als langfristige, nachhaltige Lösung: „Die Fusion wird nicht alle anderen Energieformen ersetzen, das kann sie bis 2100 auch gar nicht schaffen. Schätzungsweise wird man bis dahin, je nachdem wie teuer oder billig andere Energieformen werden, einen Energieanteil von

vielleicht 20 bis 25% mit Kernfusion decken können.“

Egal ob 30, 40 oder 100 Jahre, es wird wohl noch ein Weilchen dauern, bis wir Kernfusionsstrom aus unseren Steckdosen ziehen können. „Ich hoffe sehr, dass ich die Inbetriebnahme von ITER von einem Platz im Kontrollraum miterleben kann“, lacht Aumayr. ● TUW

Friedrich Aumayr studierte Physik an der Johannes Kepler Universität Linz und an der TU Wien, wo er 1985 „sub auspiciis Praesidentis rei publicae“ promovierte. 2015 erfolgte seine Berufung zum Universitätsprofessor für Ionen- und Plasmaphysik. Seit 2013 ist er auch Direktor des österreichischen Fusionsforschungsprogramms bei der ÖAW.

Elisabeth Wolfrum studierte Technische Physik an der TU Wien, bevor sie als Postdoc im Forschungszentrum Jülich arbeitete. Seit 2000 ist Wolfrum wissenschaftliche Mitarbeiterin des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik, seit 2003 ist sie an der TU Wien habilitiert und im Jahr 2020 erhielt sie den Titel Universitätsprofessorin.