



Nikola Tesla 1899 in seinem Labor in Colorado Springs. Das Bild ist allerdings eine Doppelbelichtung. In Wahrheit saß der Erfinder nicht neben der Hochspannungsentladung aus seinem Tesla-Transformator, der 300 Kilowatt auf 12 Millionen Volt bringen und Funken von 41 Metern Länge sprühen lassen konnte.

Foto Wellcome Library, London, Bearbeitung F.A.S.

Im September 1901 begann Nikola Tesla in Long Island an der amerikanischen Ostküste, einen mysteriösen Turm zu bauen. In den Jahren zuvor hatte der Elektro-Pionier mit drahtloser Energieübertragung experimentiert. Er erzeugte hochfrequente Magnetfelder mit einer Spule, die wiederum Ströme in einer zweiten, entfernten Spule anregt. Mit dem Turm wollte er diese Demonstrationen wohl hochskalieren. „Das ist zumindest eine Vermutung“, sagt Bryan Field. Der Physiker vom Farmingdale State College arbeitet beim „Tesla Science Center“ daran, ein Museum am ehemaligen Standort der Konstruktion zu errichten.

Tesla selbst habe ein Geheimnis um die genaue Funktionsweise des Turms gemacht, sagt Field. Die offizielle Version lautete, dass es ein Funkturm war. Das ließ Tesla seinen Geldgeber, den Bankier J. P. Morgan, glauben. Später Interviews offenbaren aber, dass er damit Strom kabellos übertragen wollte. Er

Wie schön wäre es, ließe sich die Energie durch die Luft zu den Geräten leiten! Designer müssten sich dann nicht mehr um Ladebuchsen scheren, smarte Uhren zum Laden nicht mehr abgelegt werden. Drahtlose Energieübertragung könnte spektakuläre Entwicklungen ermöglichen, elektronische Kontaktlinsen etwa, die Informationen ins Sichtfeld projizieren, oder eine Welt voller Sensoren, die ständig die Luftqualität in Städten, die Pestizidkonzentration auf Äckern oder den Zustand von Straßen und Brücken messen. Bryan Field träumt gar von mikroskopischen Robotern, die in unseren Körpern nach Schadstoffen oder Anzeichen für Krebs suchen. „Man könnte sie von außerhalb des Körpers laden, während man vor dem Fernseher sitzt.“

Die Technologie dazu scheint seit Jahren kurz vor der Marktreife zu stehen. Das 2011 gegründete Start-up „uBeam“ verspricht Energie per Ultraschall durch Büros und Wohnräume zu senden. Die Firma sammelte dafür 26 Millionen Dollar ein. Schon 2007 präsentierten Forscher des Massachusetts Institute of Technology in *Science* zwei Kupferspulen. Sie waren so aufeinander abgestimmt, dass das Magnetfeld der einen über eine Entfernung von zwei Metern genug Strom in der zweiten induzierte, um eine 60-Watt-Birne zu betreiben. Die Effizienz bezifferten die Autoren auf 40 Prozent. Daraus entstand die Ausgründung „Witricity“, deren Geschäftsführer einige Jahre später bei einer Präsentation ein mit einer Spule ausgestattetes iPhone drahtlos mit Strom versorgte. Im Januar 2016 titelte das Elektrotechnik-Magazin *IEEE Spektrum*: „Drahtlose Energie klingt wie die Zukunft, aber sie wird dieses Jahr passieren.“

Sie ist bis heute nicht passiert. „uBeam“ sah sich Betrugsvorwürfen ausgesetzt und verlief im Sande. „Witricity“ spezialisiert sich nun auf das kabellose Laden von Elektroautos. Man kann Handys inzwischen ohne Kabel versorgen, muss sie dafür aber auf eine spezielle Ladestation legen. Die kabellose Energieübertragung überwindet in der Praxis höchstens Zentimeter. Das hat vor allem zwei Gründe.

Erstens geraten Spulen aus dem Takt, wenn man ihre Position ändert. Der Wirkungsgrad sinkt. Axel Hoppe von der Energietechnischen Gesellschaft weiß, wie schwer das in den Griff zu bekommen ist. Er erzählt, wie ein Maschinenbauunternehmen versucht hat, Sensoren an den Gelenken eines Industrieroboters kabellos mit Strom zu versorgen. Die Anlage war auf gigantische Schaltkreise angewiesen, um die meterbreiten Spulen zu betreiben. „Das ist der typische Weg, den man gehen muss, um Energie zu übertragen“, sagt Hoppe.

Der zweite Grund ist eine bestimmte Eigenschaft von elektromagnetischen Feldern. Markus Rehm von der Hochschule Furtwangen erinnert sich, wie ihn einmal ein Herrensattler bat, einen kabellosen Ausstellungsraum zu gestalten. „Der wollte den Boden mit Spulen ausstatten und so Bildschirme und Beleuchtung betreiben“,

sagt Rehm. Er habe den Auftrag ablehnen müssen, denn die elektromagnetischen Felder der Anlagen würden technische Geräte stören. Ohnehin verbieten Emissionsschutzgesetze, Menschen übermäßiger elektromagnetischer Strahlung auszusetzen. „Der Vorteil beim kabellosen Laden über kurze Distanzen ist, dass da kein Mensch reingeraten kann“.

Wer größere Entfernungen anpeilt, muss sich was einfallen lassen. Die amerikanische Firma Ossia setzt auf gezielte Radiowellen. Ihr System besteht aus einem Sender und mehreren Empfängern. Sie strahlen ständig schwache Funksignale aus. Sobald eines am Sender ankommt, weiß dieser, dass er freies Sichtfeld auf den Empfänger hat, und schickt die Radiowellen los. Da er nur bei freier Sicht aktiviert wird, bombardiert er die Umgebung nicht unnötig mit elektromagnetischer Strahlung, verspricht die Firma und verweist darauf, dass das System in Europa zugelassen sei. Während es auf eine Entfernung von einem Meter bis zu drei Watt übertrage und ein Smartphone am Laufen halten könne, sinke die Leistung bei zehn Metern auf ein fünfzigtausendstel Watt. Die Effizienz liege dann bei wenigen Prozent. Dem ist nur noch argumentativ beizukommen: Ossia verweist darauf, dass man sich mit dem System Kabel und Batterien spare. Das Unternehmen stellt selbst keine Produkte her, sondern arbeitet derzeit daran, die Technik an andere Hersteller zu vermarkten.

Im experimentellen Stadium befindet sich eine Art Laderaum, den die Forscher aus Japan und den USA jüngst in *Nature Electronics* beschrieben. Er ist von Metallplatten umgeben, an denen Wechselströme fließen und die mit Kondensatoren verbunden sind. In diesen schwingt das elektrische Feld. Das magnetische Feld oszilliert durch den Raum, wo es die Spulen von Empfangsgeräten mit Energie versorgt. Je nach Frequenz bilden sich zwei verschiedene Magnetfeldmuster – eines, das besser die Mitte des Raumes abdeckt, und eines in den Ecken. So kann man an jedem Ort dem Raumes bis zu 50 Watt Energie abfangen, was reicht, um einen typischen Laptop zu betreiben.

„Das Schwierige war, den Raum so zu gestalten, dass er bei bestimmten Frequenzen funktioniert, die wir vorher bestimmt haben“, sagt einer der Erfinder, Takuya Sasatani von der Universität Tokio. Somit konnten sie Frequenzen wählen, die Elektrogeräte nicht stören. Man habe sogar Handyempfang, verspricht Sasatani. Einer Simulation zufolge bleibt die von Menschen in dem Raum absorbierte Energie unter den amerikanischen Grenzwerten. Für Axel Hoppe ist das aber nur die halbe Wahrheit. Das Magnetfeld schwingt mit einer Frequenz, durch die es kleine Ströme im Körper erzeuge, welche die Nerven reizen. Das hätten die Forscher nicht beachtet. Sasatani entgegnet, die Vorgaben für die absorbierte Energie seien strenger, also habe man sich darauf konzentriert.

Um das Konzept in die Realität zu überführen, müsste man schon bei der Konstruktion von Gebäuden Metallplat-

ten in die Wände bauen. Sasatani glaubt daher, dass das System zunächst in Laboren zum Einsatz kommen werde. Das Magnetfeld könnte etwa in Versuchsra-

ten implantierte Elektronik antreiben, während die sich frei bewegen. Ein Team des Georgia Institute of Technology setzt dagegen auf vorhandene Infrastruktur: das 5G-Mobilfunknetz. Bei dem neuen Standard steht alle 180 bis 100 Meter eine Antenne. Außerdem erlaubt es, Signale gezielt in Richtung des Geräts zu schicken, für das sie bestimmt sind. Diesen Signalen lässt sich Energie entziehen. Dafür haben die Forscher Empfänger von der Größe einer Kreditkarte gebaut, die sie unlängst in *Scientific Reports* beschrieben. Auf dem Empfänger befinden sich Mini-Antennen, welche die Radiowellen in Strom umwandeln. Sie sind so gekoppelt, dass sie die Energie von allen Seiten aufnehmen können. Da die Sender dem Standard folgend ihre Signale und damit Energie gezielt an die Empfänger schicken, ließe sich daraus ein Geschäftsmodell für die Mobilfunkbetreiber entwickeln. Sie könnten Geld für kleine Energieportionen verlangen, die sie Geräten zukommen lassen. „Wir arbeiten mit den Betreibern, um diese Möglichkeiten auszuloten“, sagt Studienautor Manos Tentzeris.

Doch die Möglichkeiten sind relativ begrenzt. In einem Experiment haben die Forscher gezeigt, dass die Idee funktioniert. Jedoch haben sie auch berechnet, dass bei einer Distanz von 180 Metern bestenfalls einige Mikrowatt beim Empfänger ankommen. Damit könnte man höchstens simple Sensoren betreiben. Dennoch glaubt die Ko-Autorin Aline Eid, mit den 5G-Signalen sogar Drohnen im Flug mit Strom versorgen zu können. „Daran arbeiten wir gerade“, sagt sie, will aber keine Details verraten. Nur so viel: „Es kommt sehr auf die Größe des Empfängers an.“

Das 5G-Stromnetz hat Parallelen zu den Visionen von Nikola Tesla. Auf die Frage, wie dieser Mann wohl auf diese technischen Entwicklungen von heute schauen würde, antwortet Bryan Field, dass er sich womöglich bestätigt gefühlt hätte. „Er hätte über uns vielleicht gedacht: „Sie haben es fast geschafft.““



Takuya Sasatani in einem mit Metall ausgekleideten Raum, in dem Lampe, Ventilator und Smartphone über induktive Kopplung mit Energie versorgt werden. Die motivische Ähnlichkeit dieses Presesbildes mit dem obigen aus dem Labor Nikola Teslas sei rein zufällig, versichert der Forscher. Foto University of Tokyo

## Da liegt was in der Luft

Seit Langem versprechen Erfinder, Alltagsgeräte drahtlos mit Energie zu versorgen. Woran sie scheitern und wie sie es doch noch schaffen wollen.

Von Piotr Heller

habe geglaubt, elektrische Energie in Luft oder Boden pumpen zu können, um sie an anderer Stelle mit baugleichen Anlagen rauszuholen, sagt Field. Mit kleinen Türmen habe er Haushalte versorgen wollen. Später phantasierte er davon, elektrische Flugzeuge auf diese Art zu betreiben. 1902 war die 57 Meter hohe Holzkonstruktion fertig. Doch J. P. Morgan drehte den Geldhahn ab, als er von den wahren Plänen erfuhr. Nie vollendet, wurde der Turm 1917 abgerissen.

Physikalisch war die Idee zum Scheitern verurteilt. Doch der Wunsch, Energie drahtlos zu übertragen, treibt Erfinder noch immer um. In den Siebziger experimentierte die NASA mit Mikrowellen, die Distanzen von über einem Kilometer überbrückten. In den Zweitausenderjahren brach die Smartphone-Ära an. Handys wurden zu ständigen Begleitern, doch verringerte sich ihr Bewegungsradius auf die Länge des Ladekabels, sobald der Akku leer war.

## Glasgow oder das Gute

VON ULF VON RAUCHHAUPT

Conference of the Parties, und zwar die 26. im Rahmen der UN-Konvention zum Klimawandel, kurz COP26 – so heißt die aktuelle Klimakonferenz in Glasgow offiziell. Es ist keine wissenschaftliche Veranstaltung, sondern eine politische. Die „Parties“ sind die Nationalstaaten, der Tagungsleiter ist ein britischer Minister. Nun glaubt man ja gerne, die Politik höre inzwischen auf die Wissenschaft. War vor der Pariser Konferenz 2015 bei einem „weiter so“ am Ende des Jahrhunderts bis zu sechs Grad Erwärmung zu befürchten, wären es jetzt 2,7 Grad – allerdings nur, wenn die bislang angekündigten Maßnahmen auch umgesetzt werden.

Im Raum steht aber das Ziel einer Begrenzung auf 1,5 Grad. Und die Wissenschaft sagt auch, dass dieses, ebenso das bescheidenere 2-Grad-Ziel, nicht durch bloßes Vermeiden der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erreichen ist, sondern nur, wenn gehörig „Negativemissionen“ dazukommen. Es langt also schlicht nicht, Verbrennungsmotoren und Kohlekraftwerke abzuschaffen. Das anthropogene CO<sub>2</sub>, das schon in der Atmosphäre ist, muss da zu großen Teilen wieder raus. Das aber geht nur durch massive Aufforstungen – letztlich in Konkurrenz zu Agrar- und Siedlungsflächen – oder durch teure technische Verfahren.

Davon wird in Glasgow aber nur implizit die Rede sein, wenn es um das heikle Thema des Artikels 6 des Klimaabkommens geht, also die Frage, inwiefern Staaten oder Unternehmen ihre heimische CO<sub>2</sub>-Bilanz durch Minderungen im Ausland verbessern dürfen. Das eröffnet gerade entwickelteren Staaten die Möglichkeit, ihre Volkswirtschaften anderswo freizukaufen. Doch wenn negative Emissionen sonst nicht im erforderlichen Umfang zu haben sind? Leicht kann hier das für moralisch gut Gehaltene zum Feind des für das Klima Richtigen werden – dabei geht es doch um Politik und damit nur um das Mögliche.

## WOCHENSCHAU

### Extragalaktische Welt

Aktuell sind 4572 Planeten um andere Sterne nachgewiesen. Sie alle gehören zu unserer Heimatgalaxie und sind höchstens 28 000 Lichtjahre entfernt. Jetzt wurde einer in der 31 Millionen Lichtjahre entfernten „Whirlpool Galaxy“ alias M51 entdeckt. Die Verdunklung eines Doppelsterns können sich Forscher in *Nature Astronomy* nur durch einen starrumgebenden Planeten erklären, der dort ein Sternpaar alle 70 Jahre umkreist. Die Entdeckung war möglich, weil ein Mutterstern so kompakt ist, dass er Materie des anderen ansaugt. Beim Aufprall gibt sie intensive Röntgenstrahlung ab, deren Abschattung durch einen Planeten auch noch über solche Entfernungen nachweisbar ist. Die Strahlung macht es allerdings denkbar, dass in diesem Planetensystem Leben existiert.

### Seltene Nebenwirkung

Forscher der Universität Oxford analysierten die Daten von 32,5 Millionen geimpfter Engländer in *Nature Medicine* auf Impf-Nebenwirkungen. Nach der ersten Spritze des Vaxzins von AstraZeneca kam es in extrem seltenen Fällen zu einem Guillain-Barré-Syndrom, bei dem die Nerven geschädigt werden. Der Überschuss im Vergleich zur Normalbevölkerung lag bei 38 pro 10 Millionen Fällen. Nach einer Infektion mit SARS-CoV-2 lag das Risiko aber etwa viermal höher. Andere neurologische Erkrankungen, wie etwa Gehirnhautentzündungen, traten nur bei Infizierten häufiger auf. Nach der Impfung von BioNTech/Pfizer war das Risiko für einen Schlaganfall minimal erhöht und lag bei 60 pro 10 Millionen zusätzlichen Fällen. Auch hier liegt die Gefahr höher, einen Schlaganfall im Rahmen einer Corona-Infektion zu erleiden.