

Der Spezialist

DAS MAGAZIN FÜR TECHNIK UND MANAGEMENT

Automotive: Helle Köpfe für leistungsstarke Scheinwerfer
Volvo Ocean Race: Schach auf dem Wasser
Wearable Computing: Unsere Zukunft oder nur Hype?

”

Laut Experten der TU Graz dauert es selbst bei einem Budget von

1 Milliarde US-Dollar mindestens 41 Jahre,



um die Verschlüsselung einer gut gesicherten Internetverbindung zu knacken. Eine erleichternde Nachricht.

“

”

Der erste Hubschrauber der Welt

hob 1936 in Bremen ab – nur wenige Hundert Meter von unserer heutigen Unternehmenszentrale entfernt.



“

”

Mit Wearable Computern wurde in einem DHL-Werk die

Geschwindigkeit der Kommissionierung um 25% gesteigert



und die Fehlerquote auf null gesenkt. Für die Zukunft bietet diese Technik enormes Potenzial!

“

Liebe Leserinnen und Leser,

vor 40 Jahren vermittelte Brunel Gründer Jan Brand in den Niederlanden erstmals einen Spezialisten an ein Unternehmen, das einen hoch qualifizierten Ingenieur suchte: nämlich sich selbst! Dies war der Beginn einer Erfolgsgeschichte, die 1995 auch in Deutschland weitergeschrieben wurde. Ich selbst bin jetzt seit elf Jahren bei Brunel tätig und freue mich, dass ich in dieser Zeit an dem enormen Wachstum mitwirken konnte. Mittlerweile beschäftigen wir mehr als 13.000 Spezialisten, die über unterschiedliche Qualifikationen verfügen, aber alle mit der gleichen, Brunel typischen Einstellung an ihre Projekte herangehen: ergebnisorientiert, leidenschaftlich, zuverlässig und flexibel. Im Vordergrund steht immer das Ziel, operative Bestleistungen zu erbringen.

In dieser Ausgabe erfahren Sie beispielsweise, wie unsere Spezialisten aus der Automotive-Industrie mit ihren Kompetenzen den Projekterfolg eines Kunden begleiten (S. 6). So setzt der internationale Automobilzulieferer Hella auf die Unterstützung durch unsere Mitarbeiter vor Ort, aber auch auf die Expertise unseres Prüf- und Testzentrums Brunel Car Synergies sowie des Entwicklungszentrums Brunel Communications.

Doch nicht nur in der Projektarbeit findet sich der Brunel Spirit unserer Mitarbeiter wieder. Auch die Segelprofis vom Team Brunel (S. 16) zeigen beim Volvo Ocean Race, dass sich eine akribische Vorbereitung, eine eingespielte Teamarbeit und ein starkes Mindset auszahlen! So hat unsere Mannschaft die zweite Etappe von Kapstadt nach Abu Dhabi für sich entschieden und auch auf der Etappe von Sanya nach Auckland lag das internationale Team zweimal vorn, ehe ein Sturmtief und Richtungswechsel das Boot ins Hintertreffen brachten. Dennoch haben sie bis zum Ende gekämpft und viele Seemeilen wieder aufgeholt.

Die acht Segelprofis stellen sich nun auf den Endspurt ein, um Ende Juni in Göteborg den Sieg davonzutragen. Als leidenschaftlicher Wassersportler verfolge ich den Wettbewerb täglich. Lassen auch Sie sich von der Faszination des Rennens anstecken und drücken Sie unserem Team die Daumen!

Ich wünsche Ihnen mit dieser Ausgabe eine angenehme Lektüre und immer eine Handbreit Wasser unterm Kiel!

Ihr Markus Eckhardt



Köpfe dieser Ausgabe



Der CAD-Ingenieur **Jozef Granec** (31) ist seit 2013 für Brunel bei Hella Fahrzeugteile Austria tätig. In seinem Team ist er für die Designentwicklung und den Aufbau von Prototypen für unterschiedlichste Fahrzeuge zuständig. Auch in seiner Freizeit hat sich Granec den Themen Design und Geschwindigkeit verschrieben: Neben seiner Leidenschaft für Modellierung und Animation rast er gerne beim Downhill-Radfahren durch die österreichischen Berge. Mehr über seine Arbeit an neuen Scheinwerfertechnologien lesen Sie auf Seite 6.



Zielstrebig, kommunikativ, flexibel – so wird **Veronika Iwan** (26) von Kollegen beschrieben. Diese Eigenschaften zeigte sie bereits während ihrer Kooperativen Ingenieurausbildung bei der Deutschen BP, als sie Maßnahmen für die Optimierung einer Vakuumdestillationsanlage entwickelte, mit denen sie sich die Note 1,1 in der Bachelorarbeit verdiente. Anschließend kam die hoch motivierte Ingenieurin zu Brunel Car Synergies, wo sie Fahrzeugteile auf deren Praxistauglichkeit testet. Einen typischen Arbeitstag von Veronika Iwan erleben Sie ab Seite 32.



Der 30-jährige Kryptologe Dr. **Erich Wenger** arbeitet an der TU Graz, wo er sich mit digitalen Verschlüsselungen beschäftigt und festgestellt hat, dass gängige Internettechnologien sicherer sind als erwartet. Privat ist er aber am liebsten in der analogen Welt unterwegs: Wenn er Zeit hat, reist er mit seiner Freundin um die halbe Welt, beispielsweise nach Südostasien, Australien, Südafrika, Nordamerika oder Indien – und das bevorzugt ohne Informationstechnologie im Gepäck. Mehr über seine Forschung lesen Sie auf Seite 20.

Schauplätze dieser Ausgabe



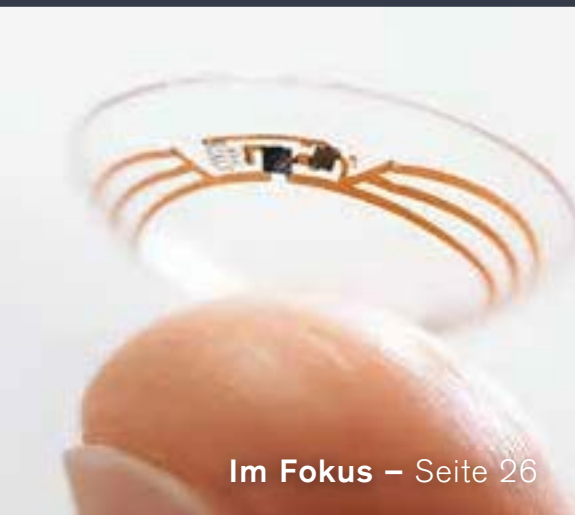
Politische Initiativen zur Reduzierung von CO₂-Emissionen sind bis jetzt gescheitert. Das kanadische Unternehmen Carbon Engineering will das Gas nun direkt aus der Luft filtern. **Seite 12**

Inhalt

Spektrum	6
Helle Köpfe für leistungsstarke Scheinwerfer	
Querdenken	12
Klimarettung mit dem CO ₂ -Staubsauger	
International	16
Volvo Ocean Race – „Das ist Segeln!“	
Im Dialog	20
Codeknacker im Dienst der Sicherheit	
Profil	24
Für Brunel im Outback	
Im Fokus	26
Wearable Computing: Zukunft oder Hype?	
24 Stunden	32
Tropische Temperaturen und eisige Kälte in Bochum	
Wissen	36
Einzigartige Wasserphänomene	
Forschung	38
Graphen: Das Wunderkind unter den Werkstoffen	
Wissen	42
Wunder der Ingenieurskunst	
Kompetenz	44
Maschinenbauer leisten Perfektion für die Produktion	
Kompakt	48
Reisen mit der Rohrpost Wer hat's erfunden	
History	50
Henrich Focke, Vater des Hubschraubers	
Ausblick	54
Bakterien im Einsatz gegen Schwermetalle	
Termine	55



International – Seite 16



Im Fokus – Seite 26



Kompetenz – Seite 44



Helle Köpfe für leistungsstarke Scheinwerfer

Der internationale Automobilzulieferer Hella mit Hauptsitz in Lippstadt (Nordrhein-Westfalen) fertigt leistungsstarke Scheinwerfer für unterschiedlichste Einsatzgebiete. Bei der Entwicklung seiner Produkte greift das Unternehmen auch auf das Know-how von Brunel zurück, beispielsweise für die Programmierung von Embedded Systems, die entwicklungsbegleitende Prüfung von Scheinwerfern und die Konstruktion von Prototypen. Hier hat ein Brunel Ingenieur zuletzt den Prototyp für einen innovativen Laser-LED-Arbeitsscheinwerfer mit doppelter Reichweite entwickelt.

Text › Robert Uhde

Mit rund 30.000 Mitarbeitern an mehr als 100 Standorten in über 35 Ländern und einem Umsatzvolumen von rund fünf Milliarden Euro zählt Hella zu den 50 größten Automobilzulieferern weltweit. Wichtigster Geschäftsbereich des Unternehmens ist die Entwicklung und Fertigung von Komponenten und Systemen der Lichttechnik und Elektronik für Fahrzeughersteller. In enger Zusammenarbeit mit verschiedenen Leistungssparten von Brunel hat der internationale Zulieferer zuletzt drei leistungsstarke Arbeitsscheinwerfer auf den Markt gebracht.

„Zum Portfolio von Hella Fahrzeugteile Austria gehören Lichtsysteme für Land- und Baumaschinen sowie für Minenfahrzeuge, Motorräder und Schneeschlitten“, berichtet Jozef Granec. Der 31-jährige Mechatronikingenieur ist seit 2013 als Brunel Mitarbeiter in Wien tätig und war dort maßgeblich an der Entwicklung der unterschiedlichen Scheinwerferkonzepte beteiligt: „Im vergangenen Jahr haben wir den Prototyp für einen neuartigen LED-Arbeitsscheinwerfer für Minenfahrzeuge vorgestellt, der bei Sichtkontakt

mit einem anderen Fahrzeug automatisch abblendet. Die Integration einer speziellen Diode macht es dabei möglich, trotz der eng begrenzten Einbaufäche eine Lichtstärke von rund 12.000 Lumen zu erzielen. Das entspricht fast dem Fünffachen eines Xenon-Scheinwerfers.“

Laser-LED-Scheinwerfer mit doppelter Reichweite

Zuletzt hat Jozef Granec an der Entwicklung des weltweit ersten Arbeitsscheinwerfers mitgewirkt, der mithilfe der hochmodernen Laser-Technologie eine extragroße Reichweite erzielt. Innerhalb von nur vier Wochen nach Auftragsingang sollte der Prototyp auf der Hausmesse eines amerikanischen Landmaschinenherstellers sowie auf der internationalen Landmaschinenmesse EIMA in Bologna vorgestellt werden. „Normalerweise ist es nicht möglich, einen Scheinwerfer in so kurzer Zeit zu entwickeln“, erklärt der Brunel Ingenieur, der im

Porträt

Jozef Granec

Jozef Granec, 31, war nach seinem Mechatronikstudium an der Slowakischen Technischen Universität Bratislava zunächst als CAD-Konstrukteur in der Luftfahrtindustrie tätig. Seit 2013 arbeitet er für Brunel bei Hella Fahrzeugteile Austria in Wien und ist dort für die Designentwicklung und den Aufbau von Prototypen zuständig.

01

Innerhalb von nur vier Wochen nach Auftragsingang hat Granec den Prototyp eines Arbeitsscheinwerfers entwickelt, der mithilfe hochmoderner Lasertechnologie eine besonders große Reichweite erzielt. Er wurde der Fachwelt auf Messen in den USA und Italien präsentiert.



02

Bei der Entwicklung eines Arbeitsscheinwerfers hat Granec ein Modul konstruiert, in dem neben der bestehenden Linse auch eine neue Laserdiode integriert ist. Zusätzlich wurden LEDs für das Nahfeld und für die weitreichende Arbeitsbeleuchtung sowie eine Aktivkühlung eingebaut.

03

Nach der virtuellen Konstruktion im CAD-Programm und der Lieferung der benötigten Komponenten baut Granec die Prototypen zusammen, um sie auf ihre Funktionstüchtigkeit zu prüfen.

Wiener Büro von Hella in die Abteilung Innovationsmanagement eingebunden ist. „Aber weil wir uns vorrangig auf die Integration der Laserdioden konzentriert haben und die Linsen sowie sonstige Funktionen von bestehenden Modellen übernehmen konnten, haben wir ihn pünktlich zu den Messen fertigstellen können.“ Das Besondere: Die für den Scheinwerfer verwendeten Laserdioden strahlen doppelt so weit wie ein herkömmlicher Arbeitsscheinwerfer.

Ausgehend von einer von Hella entwickelten Produktidee bestimmten Granec und sein Team zu Beginn des Projekts zunächst die genauen Leistungsdaten und Abmessungen des gewünschten Scheinwerfers. In gemeinsamen Arbeitstreffen wurde dabei neben der Menge an benötigtem Lichtstrom für Nah- und Weitfeldausleuchtung auch festgelegt, welche Laserdioden verwendet werden sollten. „Anschließend haben wir zusammen mit unseren Elektronikern erste Ideen zur Umsetzung entwickelt und einen detaillierten Zeitplan erstellt, um die verschiedenen Anforderungen trotz der engen

Terminierung reibungslos umsetzen zu können“, beschreibt Jozef Granec den Projektverlauf.

Aufgrund seines Studiums zum Mechatronikingenieur und seiner Erfahrung in den Bereichen CAD-Konstruktion und Designentwicklung ist der gebürtige Slowake in der Lage, viele Prototypen in Eigenregie zu fertigen. Manchmal sind lediglich kleinere Änderungen an bestehenden Modellen nötig, in anderen Fällen muss ein komplett neues Produkt entwickelt werden. „Bei der Entwicklung des Laser-LED-Arbeitsscheinwerfers haben wir einen Automobildesigner als externen Dienstleister hinzugezogen, der anhand unserer Vorstellungen die ersten Designskizzen mit groben Linien und Flächen für die grundlegende Optik des Scheinwerfers angefertigt hat“, so der Brunel Ingenieur. „Auf Basis dieser Vorlage habe ich dann ein Modul konstruiert, in dem neben der bestehenden Linse auch die neue Laserdiode integriert ist. Zusätzlich haben wir als Hybrid auch LEDs für Nahfeld und weitreichende Arbeitsbeleuchtung sowie



Porträt Francisco Matesanz

Francisco Matesanz, 57, blickt auf über 30 Jahre Berufserfahrung in den Branchen Medizintechnik, Bahntechnik und Luftfahrt zurück. 2005 wechselte der Diplom-Ingenieur als Account Manager zum Entwicklungszentrum Brunel Communications in Hildesheim, übernahm 2013 dessen Leitung und ist seit diesem Jahr Geschäftsbereichsleiter bei der Brunel GmbH.

eine Aktivkühlung als weitere Funktionen eingebaut und außerdem die gesamte Elektronik vorbereitet, um dem Kunden einen weitgehend fertigen Scheinwerfer präsentieren zu können.“ Nach interner Abnahme des Moduls wurde bei einem portugiesischen Formenbau-Spezialisten ein Silikonabguss des Prototyps in Auftrag gegeben, der nach einigen Nachschichten rechtzeitig für die Messe in den USA zur Verfügung stand.

Innovativer LED-Scheinwerfer für Motorräder

In einem weiteren gemeinsamen Projekt für Hella war Brunel Communications, dem Hildesheimer Entwicklungszentrum für Embedded Systems, an der Entwicklung eines innovativen LED-Scheinwerfers für Motorräder beteiligt. Durch den Einsatz der LED-Technologie konnte zusätzlich in dem Halogenscheinwerfer

eine bauraumoptimierte Tagfahr- und Positionsfunktion integriert werden, die gegenüber herkömmlichen Glühlampen eine wesentlich höhere Effizienz aufweist. Zudem bietet die Technik eine deutlich längere Lebensdauer. „Um den Scheinwerfer in Serie fertigen zu können, mussten wir eine Reihe technischer Herausforderungen überwinden“, berichtet Francisco Matesanz, Geschäftsbereichsleiter der Brunel GmbH. Die zentrale Herausforderung für den reibungslosen Betrieb war insbesondere die hohe Temperaturanfälligkeit von LEDs: „Durch ein optimiertes Platinenlayout haben wir sichergestellt, dass die Temperatur an den Kontaktstellen der LEDs 95°C nicht übersteigt“, erklärt der Brunel Entwicklungsingenieur Stefan Haerber. „Dabei mussten wir unter anderem berücksichtigen, dass neben den LEDs als Tagfahr- und Positionslicht zusätzlich eine stark aufheizende Halogenlampe für das Fern- und Abblendlicht in den Scheinwerfern integriert ist. Dadurch waren neben der Schaltung auch entsprechend optimierte Kühlkörper sowie spezielle



Porträt Stefan Haerber

Stefan Haerber, 51, verfügt über 23 Jahre Berufserfahrung in der Hardwareentwicklung. Er arbeitet seit 2011 bei Brunel Communications in Hildesheim und ist dort als Entwicklungsingenieur für LED-Technik, Schaltnetzteile, Leistungselektronik sowie für analoge und digitale Schaltungstechnik zuständig.



Porträt Peter Bolz

Peter Bolz, 56, ist seit 2006 bei Brunel tätig und wurde im Jahr 2013 Geschäftsführer des Prüf- und Testzentrums Brunel Car Synergies in Bochum. Zuvor war der Maschinenbauingenieur als Sachverständiger sowie Consultant im internationalen Berg- und Tunnelbau beschäftigt.

04 + 05

Scheinwerfer sind vielen internationalen Normen unterworfen, damit sie im Straßenverkehr einheitlich wirken und größtmögliche Sicherheit erreichen. Auch Prüflaboratorien wie Brunel Car Synergies müssen ihre Qualität durch eine Akkreditierung nach der international anerkannten Norm DIN EN ISO/IEC 17025 nachweisen. Dort werden Scheinwerfer umfassenden Produkttests unterzogen. Bei der Spritzwasserprüfung wird beispielsweise sichergestellt, dass kein Wasser ins Gehäuse eindringt.



Wärmeleitpads auf der Platine erforderlich, um die Temperatur der LEDs zu senken. Zudem musste sichergestellt werden, dass der Scheinwerfer widerstandsfähig gegen Vibration und Luftfeuchtigkeit ist.“

Eine wichtige Herausforderung war die Einhaltung der EMV-Richtlinien, damit keine anderen Elektronikbaugruppen im Motorrad und der Umgebung durch elektromagnetische Abstrahlung gestört werden. „Um die Anforderungen der international geltenden Norm CISPR 25 umzusetzen, haben wir eine spezielle Leiterplattentechnologie eingesetzt und eine optimierte Anordnung der verschiedenen Bauteile auf der Platine entwickelt. Diese wurde anschließend mit den teilweise divergierenden Anforderungen in Bezug auf die Temperaturanfälligkeit und den Bauraum abgestimmt“, fasst Stefan Haerber zusammen. „Letztlich ist es uns sogar gelungen, auf eine zusätzliche HF-Abschirmung zu verzichten und so Kosten einzusparen.“

Aufbauend auf der jahrelangen Erfahrung als internationaler Projektpartner für die Entwicklung von Embedded Systems

konnte Brunel Communications die Tagfahr- und Positionslichteinheit des Scheinwerfers eigenverantwortlich in werkseigenen Laboren umsetzen.

Brunel ist nicht nur an der Entwicklung und Fertigung von Hella-Lichtsystemen beteiligt, sondern führt in seinem Prüf- und Testzentrum Brunel Car Synergies in Bochum auch unterschiedlichste Prüfreiheiten und Produkttests durch. Eine Besonderheit ist hier das 300 Kubikmeter große Lichtlabor, das mit seiner hochpräzisen Messtechnik und modernsten Software und Hardware ideale Bedingungen bietet, um die Funktionsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Scheinwerfer entwicklungs- oder serienbegleitend testen zu können.

Produkte im Härtetest

„Zuletzt haben wir hier auch verschiedene Scheinwerfer von Hella für John Deere hinsichtlich der Faktoren Lebensdauer und Klimaeinflüsse überprüft“, berichtet Peter Bolz,



Geschäftsführer von Brunel Car Synergies. „Als maßgebliche Anforderung hatten wir dabei die firmeneigenen Spezifikationen zu berücksichtigen, die der amerikanische Landmaschinenhersteller für die Bauteile seiner Fahrzeuge zugrunde legt.“ Im Rahmen der umfangreichen Validierungsprüfungen wurden die Scheinwerfer unterschiedlichen Klima- und Vibrationstests unterzogen, die möglichst realitätsnah die verschiedenen Belastungen im Betrieb simulieren. „Auf diese Weise konnten wir schon im Vorfeld genaue Aussagen über Schwachstellen und mögliche Schädigungen treffen“, erklärt Peter Bolz.

In einem ersten Schritt wurde zunächst der Ist-Zustand der Prüflinge erfasst. Danach folgten verschiedene Klimaprüfungen, um die Auswirkungen von Kälte, Wärme und sich ändernder Luftfeuchtigkeit zu testen. Abschließend wurde eine dynamische Prüfung im sogenannten Shaker durchgeführt, mit der sich die verschiedenen mechanischen Beanspruchungen durch die Vibration des Motors und durch Bodenwellen

simulieren lassen. „Die Vibrationsprüfungen waren in diesem Fall natürlich wesentlich härter als bei herkömmlichen Pkw-Scheinwerfern“, so Peter Bolz. „Schließlich fährt eine Landmaschine überwiegend im Gelände und nicht auf der Straße und ist deshalb viel stärkeren Vibrationen ausgesetzt. Und auch die Staub-, Schmutz- und Spritzwasserprüfungen fielen intensiver aus.“

Durch die Ergebnisse der verschiedenen Testreihen erhielten die Ingenieure von Hella zu jedem Zeitpunkt wichtige Hinweise zur Zuverlässigkeit der getesteten Scheinwerfer, die sie direkt in die weitere Entwicklungsarbeit einfließen lassen konnten. Auch hier hat sich die Kooperation mit Brunel für das Unternehmen bewährt. Die eingespielte Zusammenarbeit in unterschiedlichen Projektphasen von der Entwicklung über die Fertigung bis hin zur Prüfung sorgt nicht nur für kurze Wege, sondern bietet dem Automobilzulieferer auch die Basis für eine hohe Produktqualität, für eine geringere Schadensfrequenz sowie für stark verkürzte Entwicklungszyklen.

06 + 07

In der Klimakammer (oben) testet Brunel Car Synergies die Auswirkungen von Kälte, Wärme und Veränderungen bei der Luftfeuchtigkeit. Der sogenannte Shaker (unten) prüft, ob die Prototypen auch bei starken Erschütterungen wie bei Schlaglöchern in der Fahrbahn keine Beschädigungen erleiden.



Klimarettung mit dem CO₂-Staubsauger

Alle politischen Initiativen zur Reduzierung von CO₂-Emissionen sind auf internationaler Ebene bis jetzt gescheitert. Das kanadische Unternehmen Carbon Engineering packt das Problem von einer technologischen Seite an: Es will das klimaschädliche Gas aus der Luft filtern, um es anschließend als Rohstoff wieder zu verkaufen.

Text › Axel Kölling

Die weltweiten Emissionen von Kohlendioxid (CO₂) erreichten im vergangenen Jahr den Rekordwert von rund 40 Gigatonnen – das entspricht dem Gewicht von mehr als 70 Millionen Flugzeugen des Typs Airbus A380. Um gravierende Folgen des Klimawandels in den kommenden Jahrzehnten zu vermeiden, wäre eine deutliche Reduzierung des CO₂-Ausstoßes nach Meinung fast aller Experten dringend notwendig. Der kanadische Wissenschaftler David Keith ist jedoch skeptisch, dass die Trendwende auf politischem Wege gelingen wird und beschäftigt sich daher bereits seit den 1990er-Jahren mit technologischen Lösungen für das Problem. Seine 2009 gegründete Firma Carbon Engineering Ltd. errichtet zurzeit die Pilotanlage zum Filtern von Kohlendioxid direkt aus der Luft. Es handelt sich um eine Art CO₂-Staubsauger, genannt „Air Contactor“, mit angeschlossener Aufbereitungsanlage für Chemikalien.

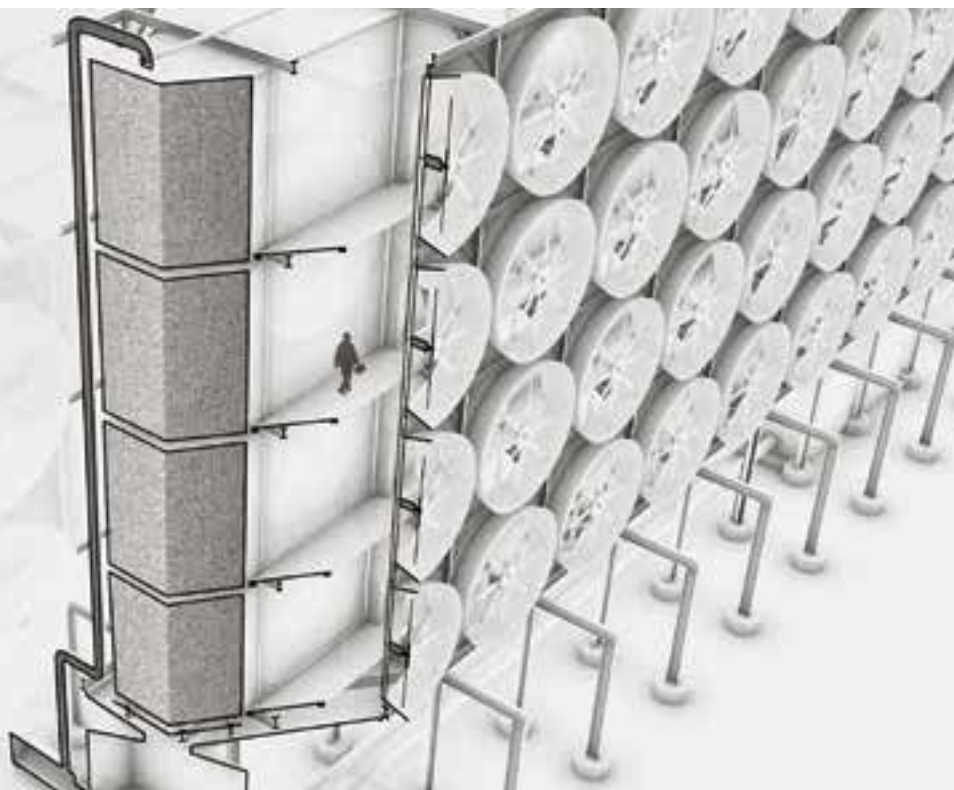
Die Funktionsweise ist grundsätzlich relativ einfach: Große Ventilatoren pressen die Luft durch eine Formation aus gewellten Plastikplatten, an denen eine spezielle Flüssigkeit herabläuft. Diese Chemikalie, Kaliumhydroxid (KOH), bindet das CO₂ aus der Luft. Anschließend wird das Kohlendioxid in einem mehrstufigen Prozess wieder aus dem Bindemittel entfernt und in Reinform für

industrielle Nutzungen oder für die langfristige Lagerung im Untergrund zur Verfügung gestellt. Das Kaliumhydroxid kann anschließend erneut verwendet werden.

Rund 100 US-Dollar für eine Tonne CO₂

Dass CO₂ direkt aus der Luft gefiltert werden kann, ist bereits seit den 1970er-Jahren bekannt. Um die Jahrtausendwende begannen Wissenschaftler, die Möglichkeiten dieses Verfahrens für den Klimaschutz zu untersuchen, darunter auch David Keith an der Harvard University. Keith hatte sich bereits während seines Studiums im Bereich der Atomoptik einen Namen gemacht, aber die Suche nach Lösungen im Kampf gegen die globale Erwärmung lockte ihn aufgrund des größeren gesellschaftlichen Nutzens. Seine Herangehensweise ist dabei von großem Pragmatismus geprägt: „Es geht um die Entwicklung von Werkzeugen“, sagt er. Die Zeitschrift Time Magazine, die ihn zu einem ihrer „Helden der Umwelt 2009“ ernannte, beschreibt Keith trotz seiner großen Pläne als „entwaffnend bescheiden“. Dies bewahrt ihn jedoch nicht vor teilweise beißender Kritik. Von Anfang an bezweifelten viele seiner Kollegen, dass sich die

08



09



Abscheidung von CO₂ zu vertretbaren Kosten realisieren lässt, wenn sie nicht direkt an einem Schornstein stattfindet, wo die Konzentration des Gases hoch ist. Keith verfolgt jedoch – ebenso wie die Physiker Peter Eisenberger und Klaus Lackner an der Columbia University in New York – einen kommerziellen Ansatz: Das Kohlendioxid soll nach der Gewinnung verkauft werden. Es geht also nicht um die reine Beseitigung von Umweltschäden, sondern um das Recycling eines Wertstoffs.

Der Markt dafür existiert bereits jetzt: Rund 100 US-Dollar zahlen Ölkonzerne zurzeit für eine Tonne CO₂. Sie injizieren das Kohlendioxid in Ölquellen, um schlecht erreichbare Reserven aus dem Untergrund zu drücken und im Idealfall gleichzeitig das klimaschädliche Gas zu entsorgen. Laut Geoffrey Holmes, Business Development Manager bei Carbon Engineering, verfolgt das Unternehmen jedoch noch weitere Ideen: Im Gespräch sei beispielsweise die Nutzung des CO₂ zur Erzeugung von Biomasse,

insbesondere Algen. Diese könnten dann als klimaneutrale Energiequelle verwendet werden. „Besonders spannend finden wir aber die Verwendung von Kohlendioxid zur Synthese von künstlichem Treibstoff“, betont Holmes. „Dabei verbindet man CO₂ mit Wasserstoff, um flüssige Kohlenwasserstoffe herzustellen, die mit unserer gesamten globalen Infrastruktur kompatibel sind.“ Bis zu dem Zeitpunkt, an dem solche Kraftstoffe für den Massenmarkt an der Tankstelle verfügbar sind, werde es zwar noch Jahrzehnte dauern, aber das grundsätzliche Prinzip funktioniere bereits. „Jeder gute Chemiker kann das heute schon im Labor umsetzen, aber die Herausforderung liegt darin, den Prozess wirtschaftlich und in großem Umfang durchzuführen. Es gibt bereits einige gute Ansätze wie die Power-to-Gas-Projekte in Deutschland und Dänemark.“ Auch beim Filtern von Kohlendioxid aus der Luft besteht die zentrale Aufgabe darin, die Technologie an einen Punkt zu führen, an dem sie in großem Maßstab eingesetzt



Porträt

David Keith

Der Kanadier David Keith (51) ist Professor für angewandte Physik und Politik an der Harvard University in Boston (USA). Im Jahr 2009 gründete er das Unternehmen Carbon Engineering, um das Filtern von CO₂ in der Praxis zu erproben. Im gleichen Jahr wählte das Time Magazine ihn zum „Helden der Umwelt“. Bereits 2006 hatte Canadian Geographic ihn zum „Umweltwissenschaftler des Jahres“ ernannt.

08

Eine komplette Anlage könnte die CO₂-Emissionen von 300.000 Autos absorbieren. So funktioniert es: Mithilfe großer Ventilatoren wird die Luft durch Plastikstrukturen gedrückt, an denen ein CO₂-Bindemittel herabläuft. Das Kohlendioxid wird daraufhin in einer separaten Anlage zurückgewonnen und für industrielle Anwendungen zur Verfügung gestellt, während die Flüssigkeit wieder in den Prozess zurückgeführt wird.

09

Carbon Engineering errichtet zurzeit in der Nähe von Calgary eine Pilotanlage, um die Technik im großen Maßstab zu erproben. Das Unternehmen hofft, anschließend industrielle Anwender für den Bau einer kommerziellen Anlage zu gewinnen.

werden kann. Carbon Engineering errichtet daher zurzeit nahe Calgary (Kanada) gemeinsam mit Partnern aus der Industrie eine Pilotanlage. Jeder Teil des gesamten Prozesses soll dabei getestet, gemessen und optimiert werden. „Zum Beispiel untersuchen wir, wie effektiv die Flüssigkeit durch die Plastikstrukturen fließt und welchen Luftwiderstand diese Strukturen erzeugen“, erläutert Holmes.

Industrielle Anlage könnte 2017 in Betrieb genommen werden

„So können wir auch den Energieverbrauch für die Ventilatoren minimieren.“ Die Pilotanlage soll in diesem Jahr über mehrere Monate betrieben werden und wenn alles gut läuft, hofft Carbon Engineering auf die erfolgreiche Finanzierung einer kompletten industriellen Anlage. Diese könnte 2017 in Betrieb genommen werden.

Die Mittel für die Versuche kommen bereits jetzt zu rund zwei Dritteln aus privaten Quellen und zu einem Drittel aus staatlicher Förderung. Prominentester Unterstützer ist Bill Gates, der David Keith auch gerne als Berater für andere Projekte hinzuzieht. Perspektivisch sieht Carbon Engineering sehr gute Chancen, Gewinne abzuwerfen. „Wir glauben, dass die Kosten für die Gewinnung von einer Tonne CO₂ direkt aus der Luft in Zukunft bei 100 bis 150 US-Dollar liegen werden“, sagt Holmes. „Ob das wirtschaftlich ist, hängt davon ab, wie die Gesellschaft die Technologie einsetzt und wie sehr sie die Reduzierung von CO₂-Emissionen priorisiert. Wir können auf jeden Fall eine kostengünstigere Antwort auf den Klimawandel geben als einige der Maßnahmen, die bereits heute umgesetzt werden und extrem viel mehr kosten.“ Beispielsweise seien Einspeisetarife für Solarstrom in vielen Regionen der Welt wesentlich ineffizienter.

Wie lange es dauern wird, bis der „Air Connector“ einen spürbaren Beitrag zum Klima-

schutz leisten kann, mag Holmes nicht vorhersagen. „Jede Anlage, die CO₂ filtert, hat einen positiven Einfluss auf das Klima, so wie auch jedes installierte Solarpaneel ein Schritt ist, um ein Kohlekraftwerk schließen zu können.“ Der lange Zeitraum, bis spürbare Auswirkungen zu erwarten sind, schreckt das Team um David Keith nicht ab. „Es ist eine Technologie, die sehr viel Infrastruktur erfordert“, so Holmes. „Das gilt allerdings für fast alle großen Probleme der Welt wie Hunger, Wassermangel oder eben Klimawandel. Man muss bereit sein, sich langfristig zu engagieren.“

„Das ist Segeln!“

Seit Anfang Oktober sind die acht Profisegler des Team Brunel bereits auf den Weltmeeren unterwegs. Bis zum Zieleinlauf im Juni im schwedischen Göteborg vergehen noch einige Wochen mit Flaute und Stürmen, mit wenig Schlaf und der ständig lauerten Gefahr einer Havarie. Doch die Crew lässt sich von den widrigen Umständen nicht bremsen: Sie begegnet den Herausforderungen mit wachsender Motivation.

Text › Stine Behrens

Alles ist nass: das Deck, die Kleidung, sogar das Innere des Bootes. Trotzdem lächelt Rokas Milevičius selig, während er sich bei starkem Seegang am Mast festhält, um nicht von Bord gespült zu werden. „Das ist Segeln, genau das ist es!“ Für den 26-jährigen Litauer ist das Volvo Ocean Race die erste Teilnahme an einer der bedeutendsten Regatten der Welt. „Mein Vater war Segler und hat mich schon als kleiner Junge mit dem Segelvirus infiziert. Seit ich denken kann, habe ich dieses Rennen über die Medien verfolgt – und jetzt bin ich selbst mit dabei!“ Eine weitere Welle klatscht Milevičius ins Gesicht. „Es gibt Teams, die bei solch rauer See auf die Bremse treten, aber Bouwe gibt dann erst richtig Gas.“ Bouwe Bekking ist der Skipper des Team Brunel und hat im Gegensatz zu Milevičius schon sechs Volvo Ocean Races miterlebt. Mit 51 Jahren ist er nach dem ein Jahr älteren Andrew „Capey“ Cape der Zweitälteste an Bord der grau-gelben Volvo Ocean 65. Beide waren Rokas Milevičius schon vor seiner Berufung ins Team ein Begriff. „Als junger Segler kann dir nichts Besseres passieren, als

mit solch erfahrenen Vollprofis zu segeln und von ihnen zu lernen“, sagt Milevičius, dessen Bewunderung für die Routiniers nach den ersten Monaten gemeinsam auf hoher See noch gestiegen ist: „Sie brauchen so gut wie keinen Schlaf. Zu Beginn einer Etappe ist vor allem Capey bis zu drei Tage am Stück wach und starrt auf seinen Bildschirm. Ich bin ziemlich sicher, dass er sogar mit offenen Augen schläft“, lacht der Litauer.

Schach auf dem Wasser

Das Know-how des Navigators Andrew Cape ist insbesondere gefragt, wenn die See ruhig ist: Dann sucht er unermüdlich die optimale Route – und natürlich eine ordentliche Brise. „Es mag unspektakulär aussehen, aber gerade wenn die Boote nicht von der Stelle kommen und jedes kleine Lüftchen eine Positionsverbesserung bedeuten kann, wird es erst richtig spannend – das ist wie Schach auf dem Wasser“, erklärt der Australier, während er parallel konzentriert Wetter- und Seekarten studiert.

10



11





12

10

Rokas Milevičius ist der erste Litauer, der am Volvo Ocean Race teilnimmt. Die Neugier seiner Landsleute an seinem Einsatz bei der härtesten Regatta der Welt ist groß. Entsprechend wächst die Fangemeinde des 26-Jährigen täglich.

11

Bouwe Bekking und Andrew Cape, Skipper und Navigator, Niederländer und Australier: Die beiden erfahrenen Segler sind schon Tausende von Seemeilen miteinander gesegelt und kennen sich in- und auswendig.

12

Rund 36.000 Arbeitsstunden sind in jede Volvo Ocean 65 geflossen. Vom initialen Handgriff bis zur ersten Wasserberührung der Yachten dauerte es jeweils sieben Monate.

13



14



Er weiß: Jeder kleine Fehler kann sein Team wichtige Seemeilen kosten – oder wie im Fall von Team Vestas die Chance auf den Sieg. Das dänische Boot war im Indischen Ozean nach einem navigatorischen Fehler auf ein Riff gelaufen. Die Crew konnte sich retten, ihre Carbon-Yacht aber wurde nahezu zerstört. Die Bilder des schwer beschädigten Bootes riefen bei Andrew Cape und Bouwe Bekking Erinnerungen an ihre eigene Havarie beim Volvo Ocean Race im Jahr 2006 wach. Auch damals war Cape Bekkings Navigator. Nachdem sie den Hafen von New York verlassen hatten, brach die Kielabhängung ihrer Yacht, Wassermassen drangen ein und alle Versuche, das Boot leer zu pumpen, scheiterten. Schließlich ging die Crew von Bord und ihre „Movistar“ sank auf den Grund des Atlantiks. „Unsere Gedanken sind bei den Männern von Team Vestas“, schrieb dann auch ein sichtlich bewegter Bekking am Tag nach der Havarie in seinem Weblog. „Das Wichtigste ist jetzt, dass sie alle sicher und gesund sind.“

Dauert die Fahrt zu lange, werden die Mahlzeiten knapp

Während Flautephasen für den Navigator Andrew Cape besonders viel Arbeit bedeuten, hat der Rest der Crew in diesen Momenten Zeit, um tatsächlich vier Stunden am Stück durchzuschlafen, die Ausrüstung zu säubern und zu pflegen oder einfach mal unter Deck für Ordnung zu sorgen. Auf dem Weg von Kapstadt (Südafrika) nach Abu Dhabi (Vereinigte Arabische Emirate) sorgte eine lang anhaltende Windstille jedoch für Unruhe an Bord. Der Grund: Sollte die Etappe länger dauern als zuvor berechnet, wird das Essen für die Mannschaft knapp. Für jeden Tag stehen dem Team 12,5 Kilogramm gefriergetrocknete Mahlzeiten zur Verfügung – drei pro Tag und Segler. „Besonders unser immer hungriger Steuermann Louis Balcaen leidet sehr, wenn das Essen rationiert wird“, lächelt Rokas Milevičius, der sich bei Heißhungerattacken gern neben

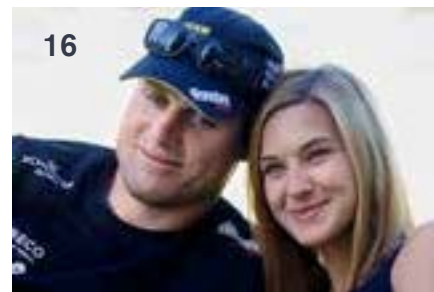
Andrew Cape an dessen Arbeitsplatz setzt. „Capey kann Geschichten erzählen – da vergisst du jeglichen Hunger oder Heimweh“, so Milevičius.

Familie und Freunde: weit weg und doch ganz nah

Heimweh: Natürlich kennen das die Männer an Bord, sie alle vermissen ihre Familien und Freunde. Das geht auch Bekking und Cape so, obwohl sie seit rund 30 Jahren im professionellen Segelsport aktiv sind. „An die Trennung von den Liebsten gewöhnst du dich nie“, sagt Capey, der seine Emotionen sonst eher für sich behält. Die Segler haben an Bord ihrer hochmodernen Yacht Zugriff auf ihre E-Mail-Postfächer und checken sie einmal täglich. Sie wissen, dass ihre Familien daheim im Geiste immer mit an Bord sind, das Rennen online verfolgen und die Taktik des Teams zu deuten versuchen – oder sich eine eigene zurechtlegen: So gibt Skipper Bekking schmunzelnd zu, dass seine Ehefrau Rikke seine taktischen Entscheidungen gelegentlich kritisiert. „Sie ist halt mit Leib und Seele dabei“, freut sich der Niederländer, „schließlich kennt sie das Segelgeschäft fast genauso lange wie ich.“ Die Verlobte seines jungen Kollegen Milevičius hingegen muss sich an die neue Situation erst noch gewöhnen – und er genauso. „Wir haben lange darüber geredet, was dieses Rennen für uns bedeuten wird. Aber Erika weiß: Das hier ist mein Traum. Sie unterstützt mich voll und ganz.“ Alle anderen Crewmitglieder wie Jens Dolmer, Gerd-Jan Poortmann, Laurent Pagès, Bouwe Bekking und Andrew Cape müssen sich in jedem Stopover neben ihren Frauen auch von ihren Kindern verabschieden – hochemotionale Momente, die immer wieder schwer für die Profisportler sind. „Aber zum Rennen gehört ja nicht nur der Abschied, sondern auch die Freude beim Wiedersehen“, sagt Andrew Cape, „und die ist jedes Mal unbeschreiblich.“



15



16

13

Bittere Enttäuschung für das Team Vestas: Auf der zweiten Etappe lief das Boot nordöstlich von Mauritius nach Einbruch der Dunkelheit auf Grund. Gegen 5 Uhr morgens gab die Crew ihren Versuch auf, die Yacht zu retten, und brachte sich auf zwei Rettungsinseln in Sicherheit. Nach Sonnenaufgang wurde sie von der Küstenwache geborgen.

14

Andrew Cape segelte 1993 das erste Mal beim Volvo Ocean Race mit, der Franzose Laurent Pagès 2008. Beide haben das gleiche Ziel fest im Blick: Das Rennen nach fünf beziehungsweise zwei Teilnahmen zu gewinnen.

15 + 16

Während Bouwe Bekking und Gattin Rikke schon viele Regatten miteinander bestritten haben – er an Bord, sie an Land –, müssen sich Rokas Milevičius und seine Verlobte Erika an diese Situation noch gewöhnen.

Codeknacker im Dienst der Sicherheit

Ob wir chatten, E-Mails abrufen oder im Internet Bankgeschäfte tätigen: Immer wenn wir uns auf einem Server einloggen, wird eine Verschlüsselung aktiv. Um deren Zuverlässigkeit zu überprüfen, haben die beiden Kryptografen Dr. Erich Wenger und Paul Wolfger von der TU Graz mit simulierten Angriffen die Sicherheit eines gängigen Verschlüsselungsverfahrens überprüft. Mit überraschend positivem Ergebnis.

Text › Robert Uhde

Nicht erst seit der NSA-Abhöraffäre im vergangenen Jahr zweifeln viele Bürger und Experten an der Sicherheit des Internets. Da überrascht es, wenn die TU Graz in einer Pressemitteilung vermeldet, dass Sie nachgewiesen hätten, das Internet sei sicher. Wie kommen Sie zu dieser gewagten These?

Unsere Ergebnisse sind von den Medien sehr verkürzt dargestellt worden. Denn um eine sichere Internetverbindung auszuführen, sind eine ganze Reihe von Verschlüsselungskomponenten nötig, die alle zusammenspielen müssen und aus denen entsprechend der bestehenden Standards ein Netzwerkprotokoll erstellt wird, das die Vertraulichkeit und Authentizität der übertragenen Daten garantiert. Als eine dieser Komponenten haben Paul Wolfger und ich ein Public-Key-Kryptografie-Verfahren (asymmetrisches

Verschlüsselungsverfahren) ausgewählt. Dabei verfügen Sender und Empfänger über unterschiedliche Schlüssel – einen öffentlichen und einen geheimen. Mithilfe dieser Schlüssel kann ein Klartext in einen Geheimtext, und daraus wieder ein Klartext gewonnen werden. Innerhalb der Public-Key-Kryptografie haben wir insbesondere elliptische Kurven untersucht: spezielle algebraische Kurven, mit denen sich sehr sichere Verschlüsselungsverfahren konstruieren lassen. Bei diesen elliptischen Kurven haben wir uns dann ausschließlich deren mathematische Funktion und nicht die praktische Umsetzung angesehen. Analog zu einem Haus könnte man sagen: Wir haben nicht danach gefragt, ob Häuser generell einbruchsicher sind, sondern ausschließlich die Zuverlässigkeit von Kellerfenstern untersucht. Ob das Kellerfenster korrekt



” In vielen Fällen
scheitert die
Sicherheit gar
nicht an der
Internetverschlüs-
selung, sondern
am menschlichen
Faktor.

“



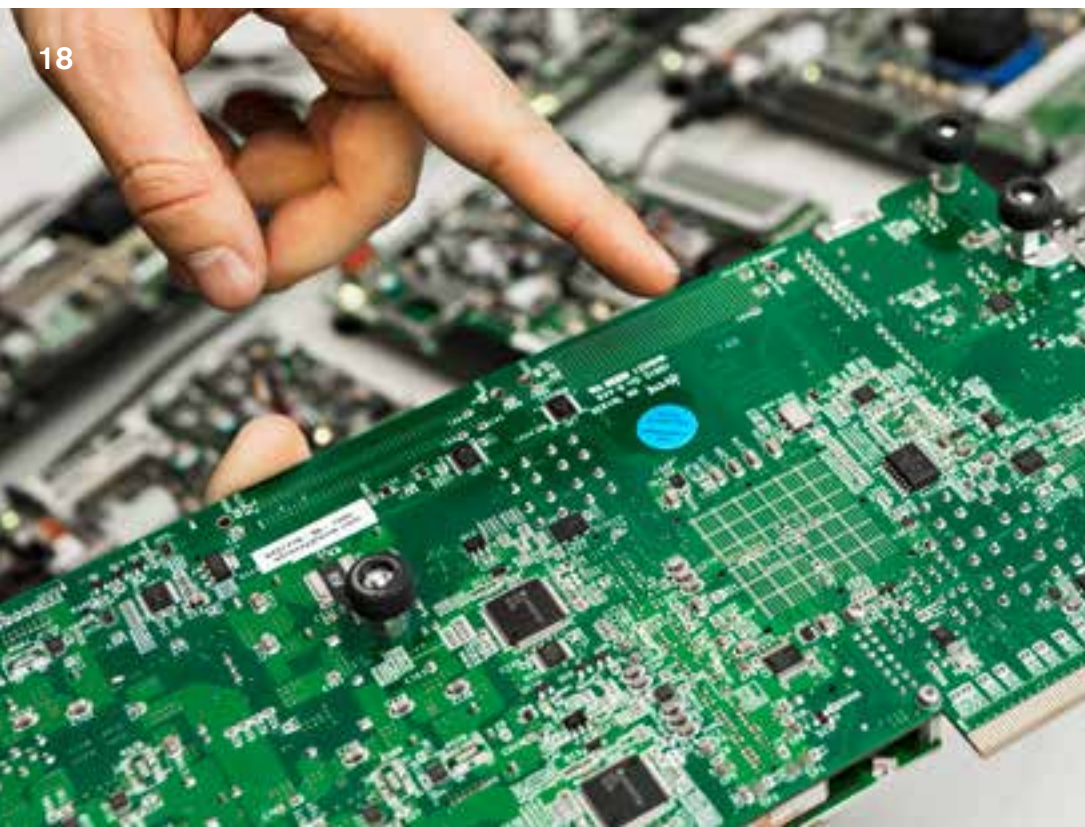
Porträt

Dr. Erich Wenger

Dr. Erich Wenger (30) arbeitet als Assistent am Institut für Angewandte Informationsverarbeitung und Kommunikationstechnologie der TU Graz. Während seines Studiums der Telematik sammelte er Erfahrung an der McMaster University im kanadischen Hamilton und an der ETH Zürich, bevor er 2013 sein Doktorat an der TU Graz abschloss.

**17**

Dr. Erich Wenger und Paul Wolfger (26, l.) untersuchten in einem gemeinsamen Forschungsprojekt die Sicherheit der Elliptische-Kurven-Kryptografie. Im Rahmen dieser Zusammenarbeit entstand Wolfgers Diplomarbeit, mit der er im Juli 2014 sein Telematik-Studium an der TU Graz abschloss. Anschließend begann er seine berufliche Laufbahn beim Consulting-Unternehmen so-logic in Wien.

18**18**

Die Kryptografen Wenger und Wolfger nutzten FPGA-Schaltungen (Field Programmable Gate Arrays) für ihre simulierten Angriffe. Einzelne Bauteile programmierten sie neu, um eine größere Rechenleistung zu erzielen.

eingebaut wurde und wie es um die Sicherheit der Haustür oder der anderen Fenster bestellt ist, darüber können wir keine Aussagen treffen.

Welche Strategie haben Sie bei Ihren Untersuchungen verfolgt?

Um die Schwachstellen eines Systems zu erkennen und zu untersuchen, ist es entscheidend, sich in die Perspektive eines potenziellen Angreifers hineinzuversetzen. Nur so erhalten wir Kryptografen den notwendigen Wissensvorsprung. Als Grundlage dafür dient uns die Bestimmung von Sicherheitslevels. Dabei gilt: Je mehr Rechenschritte nötig sind, um eine Komponente oder ein System anzugreifen, desto zuverlässiger ist es. Entsprechend haben wir anhand eines simulierten Angriffs untersucht, wie viele Rechenschritte nötig sind, um den privaten Schlüssel mittels des von uns ausgewählten Angriffspunktes der elliptischen Kurven zu ermitteln.

Sie sind also im Dienst der Sicherheit in die Rolle eines Codeknackers geschlüpft. Bedeutet das nicht, dass im Internet übertragene Daten grundsätzlich immer zu entschlüsseln sind?

Ja, theoretisch kann jede Verbindung decodiert werden. Als Kryptografen fragen wir deshalb eher danach, welche Ressourcen ein potenzieller Angreifer für diese Entschlüsselung benötigt. Die Sicherheit ist aber nur die eine Seite der Medaille. In der Praxis ist es genauso wichtig, dass die Verschlüsselungen gleichzeitig so klein wie möglich gehalten werden, um beispielsweise die geringe Rechenleistung von Smartphones so wenig wie möglich einzuschränken.

Und wie haben Sie Ihre Angriffe auf die von Ihnen untersuchten elliptischen Kurven ausgeführt?

In einem ersten Schritt haben wir zunächst eine Rechenmaschine aus 18 programmierbaren FPGA-Schaltungen (Field Programmable Gate Array) aufgebaut, die über USB mit einem Computer verbunden sind. Diese

FPGAs wurden so konfiguriert, dass sie eine bestimmte Hardware-Funktion implementieren, die sehr effizient eine bestimmte elliptische Kurve angreifen kann. Mit diesem Aufbau waren wir in der Lage, innerhalb von 45 Tagen eine 113-bit-Koblitz-Kurve zu knacken ...

... also eine Art der Verschlüsselung, die mit diskreten Logarithmen im Hintergrund operiert ...

Genau. Wobei eine 113-bit-Koblitz-Kurve in der Praxis nie zum Einsatz kommt, da sie viel zu leicht zu entschlüsseln wäre. Sie erlaubt uns aber, auf machbarem Weg eine ziemlich genaue Aussage darüber, wie lange wir benötigen würden, um eine 163-bit-Koblitz-Kurve als schwächste zugelassene Internetverschlüsselung zu dechiffrieren.

Und zu welchem Ergebnis sind Sie bei Ihren Untersuchungen gekommen?

Wir haben herausgefunden, dass es selbst bei einem Budget von einer Milliarde US-Dollar ganze 41 Jahre dauern würde, um die Verschlüsselung einer einzigen solchen Verbindung zu knacken. Berücksichtigt man zudem, dass in der Praxis meist 256-bit-Kurven zum Einsatz kommen und dass der Aufwand der Angriffe immer exponentiell komplexer wird, dann macht das deutlich, dass elliptische Kurven eine „absolute Sicherheit“ bieten. Oder, um in unserem Bild zu bleiben: Es ist unmöglich, durch das von uns untersuchte Kellerfenster einzubrechen; vorausgesetzt natürlich, es ist ordnungsgemäß eingebaut.

Dennoch kommt es immer wieder zu Hacker-Angriffen. Und unter den potenziellen Opfern befinden sich zunehmend Industrieunternehmen, Banken oder Mail-Provider, die für ihr Geschäft auf sichere Verschlüsselungen angewiesen sind. Sind manche Firmen zu arglos?

Diese Fälle gibt es natürlich. Die meisten Unternehmen haben inzwischen die Bedeutung des Themas „IT-Sicherheit“ erkannt und wollen nicht durch negative Schlagzeilen

von sich reden machen. Bei vielen kleineren Firmen, die keine eigenen IT-Abteilungen haben, besteht allerdings Verbesserungspotenzial. In vielen Fällen scheitert die Sicherheit aber auch gar nicht an der Internetverschlüsselung, sondern am menschlichen Faktor – zum Beispiel daran, dass keine ausreichend sicheren Passwörter gewählt oder diese nie geändert werden. Die Nutzer vergessen also ganz einfach, ihre Haustür zu schließen. Generelle Empfehlungen sind hier immer schwierig. Grundsätzlich rate ich dazu, vernünftige Passwörter zu verwenden und die SSL-Verschlüsselung zu aktivieren, um die Angriffsflächen für mögliche Angreifer zu minimieren.

Können Sie denn einschätzen, wie sich die Sicherheit des Internets entwickeln wird?

Das bleibt ein fortwährender Prozess, bei dem es auch in Zukunft darum gehen wird, dass wir Kryptografen den potenziellen Angreifern immer ein paar Schritte voraus sind. Eine gute Plattform für die Weiterentwicklung ist aktuell der von der internationalen Kryptografen-Community organisierte CAESAR-Wettbewerb, bei dem es darum geht, neue, bessere Algorithmen für die Internetverschlüsselung zu finden. Die besten werden ausgewählt und setzen dann hoffentlich neue Standards innerhalb der Branche.

Herr Dr. Wenger, wir bedanken uns für das Gespräch.

Für Brunel im Outback

Oliver Sterk hat als Experte für Turbinenkompressoren bereits auf vier Kontinenten gearbeitet. Trotzdem birgt jede Baustelle immer noch neue Herausforderungen – und hat ihren ganz eigenen Reiz.

Text › Jörg Riedel

Selbst entscheiden zu können – das ist es, was Oliver Sterk an seinen Auslandseinsätzen reizt. Der gelernte Energieelektroniker und Kfz-Mechaniker ist seit 2007 für Brunel in Europa, Afrika, Asien und Australien im Einsatz. Seine Aufgaben: Turbinenkompressoren aufzubauen, in Betrieb zu nehmen und zu warten. Dabei bringt der 49-Jährige neben seinem Fachwissen vor allem sehr gute Englischkenntnisse, Kommunikationsfähigkeit und Improvisationsgeschick in seine Projekte ein.

„Ein technisches Problem taucht gerne mal am Wochenende auf, wenn der normale Betrieb ruht“, schildert Sterk. „Da ich auch

dann im Einsatz bin, muss ich schnell die richtige Entscheidung treffen und mich mit den anderen Technikern vor Ort abstimmen.“ Unerwartete Situationen zu meistern, fasziniert ihn besonders an seiner Arbeit: „Jede Baustelle stellt eine neue Herausforderung dar. Jedes Land, jede Kultur, jedes multinationale Team erweitert meinen Horizont.“ Obwohl Oliver Sterks Einsätze oft sehr zeitintensiv sind und er wenig Gelegenheit zum Sightseeing hat, nimmt er so viel wie möglich von seiner Umgebung auf: „Ein Sonnenaufgang in der Wüste gehört zu den eindrucksvollsten Naturereignissen, die man sich vorstellen kann. Ein unglaubliches

Aufeinandertreffen der verschiedensten Farbtöne in Rot und Orange.“ Im Laufe seiner Karriere hat Sterk bereits viele solcher Augenblicke erlebt, zuletzt während seines 80-tägigen Einsatzes für den Technologiekonzern Siemens im australischen Outback, 500 Kilometer westlich von Brisbane. Sein Auftrag: den Kompressor einer Turbine zur Gasförderung in Betrieb zu nehmen und zu überprüfen. Mit der Turbine wird bei der Gasgewinnung das Grundwasser, das die Gasführenden Gesteinsschichten abschirmt, aus der Tiefe geholt und aufbereitet. „Australien ist der trockenste Kontinent der Erde, da kommt es auf jeden Liter Wasser an“, so



Oliver Sterk, berufliche Stationen

- 1 Pernik, Bulgarien
- 2 Seraing, Belgien
- 3 Sandouville, Frankreich
- 4 Rybnik, Polen
- 5 Busan, Südkorea
- 6 Dubai, VAE
- 7 Hanak, Türkei
- 8 Adschdabiya, Libyen
- 9 Baku, Aserbaidschan
- 10 Alexandria, Ägypten
- 11 Denia, Spanien
- 12 Brisbane, Australien

Sandouville – Frankreich

In Frankreich unterstützte Sterk den Aufbau eines Turbinenkompressors zur Pipeline-Versorgung und die anschließende Inbetriebnahme.

Busan – Südkorea

Ab März 2008 half Oliver Sterk auf mehreren Werften bei der Errichtung von Anlagen zur Wiederverflüssigung von LNG auf Schiffen.

Brisbane – Australien

Die Inbetriebnahme und Prüfung des Kompressors einer Turbine zur Gasförderung zählten zu Sterks Aufgaben im Herbst 2014.

Oliver Sterk. Die Trockenheit und vor allem die Hitze haben auch Einfluss auf seine Arbeit: „Bei Temperaturen bis zu 46°C sind die körperlichen Herausforderungen immens. Aber der Einsatz lohnt sich, weil man am Ende sieht, was man geschaffen hat.“

„Geht nicht, gibt's nicht.“

Der Energieelektroniker, der seine Zeit zu Hause in der Eifel meist bei seinen erwachsenen Kindern verbringt, ist in der Regel mehrere Monate an seinem jeweiligen Einsatzort. Ausschlaggebend für die Dauer seines Einsatzes ist die jeweilige Aufgabe: „Eine

Turbine aufzubauen, wie bei dem Projekt in Australien, dauert rund drei Wochen. Sobald das Gerät läuft, kann ich den Kompressor anfahren und bin dabei für alles verantwortlich, von der Pneumatik über die Hydraulik bis zur Elektrik. Die ganze Prüfung erstreckt sich über vier weitere Wochen.“

Sterk beschreibt seine Arbeit mit einer kurzen Formel: „Geht nicht, gibt's nicht.“ Unabhängig davon, mit welchen technischen Aufgaben er es zu tun habe, gehe es immer darum, eine neue Lösung zu finden. „Da ist neben allem fachlichen Know-how auch Improvisationsgeschick gefragt“, stellt er fest. Diese technischen Abenteuer sind das,

was den Brunel Mitarbeiter an seinem Beruf besonders begeistert. Auch in seiner Freizeit entdeckt Oliver Sterk mit seinem Motorrad gerne neue Wege. Beides hat für ihn einen gemeinsamen Nenner: „Ich finde es reizvoll, immer wieder neue Bedingungen vorzufinden und das Beste daraus zu machen.“



Wearable Computing: Zukunft oder Hype?

Computer werden immer mehr ein Teil unseres Lebens: Die Zukunft gehört den sogenannten Wearables, die direkt am Körper getragen werden. Sie beobachten unsere Bewegungen und unsere Umgebung, um automatisch passende Informationen oder Funktionen bereitzustellen. Insbesondere für Anwendungen in der Industrie, Logistik und Medizintechnik bieten tragbare Computer erhebliche Chancen für Effizienzsteigerungen und Qualitätskontrolle.

Text › Dr. Ralf Schrank

Für Aufsehen sorgte auf der diesjährigen International Consumer Electronics Show CES, der weltgrößten Messe für Unterhaltungselektronik in Las Vegas, ein kleines Flugobjekt. Nixie ist ein flexibles Armband, das sich auf Befehl zu einer Minidrohne entfaltet, aufsteigt, den Besitzer begleitet und dabei Fotos aus der Vogelperspektive schießt. Wer beide Hände für andere

Tätigkeiten benötigt, beispielsweise zum Radfahren oder Bergsteigen, weiß diese Funktionalität sehr zu schätzen. Aber auch industrielle Anwendungen sind denkbar, wenn technische Arbeiten an schwer zugänglichen Stellen dokumentiert werden sollen, etwa auf Baustellen oder Windenergieanlagen.

Nixie ist die Erfindung des jungen deutschen Physikers Christoph Kohstall, der vor Kurzem

noch als Post-Doktorand an der kalifornischen Stanford University tätig war und dort ultrakalte Atome untersuchte. Jetzt hat er im Silicon Valley zusammen mit Gleichgesinnten das Start-up Flynixie gegründet – und den mit 500.000 Dollar dotierten ersten Preis im weltweiten Wettbewerb „Make it Wearable“ gewonnen. Den hatte der Halbleiterhersteller Intel auf der CES 2014 ausgeschrieben, um



20

die Entwicklung von Computertechnologien zu fördern, die sich wie Kleidung am Körper tragen lassen. Intel-Chef Brian Krzanich selbst präsentierte die Kameradrohne am Handgelenk und versprühte dabei viel Optimismus: „Die Welt tritt in eine Ära des integrierten Computings ein, die nicht mehr durch das Gerät definiert wird, sondern durch die Integration der Technik in den Alltag der Menschen.“

Und Marktforscher geben ihm recht: Das Statistik-Portal statista.com prognostiziert für 2018 einen Wearable-Markt von 12,6 Milliarden Dollar – gegenüber 6,3 Millionen im Jahr 2010. Der Grund für den Boom: Die Hersteller beginnen, entscheidende Hürden abzubauen wie geringe Batterielaufzeiten, fehlende Anwendungssoftware sowie zu hohe Preise. Vor allem die Industrie wird

19 + 20

Der deutsche Physiker Christoph Kohstall (Bild 20) präsentierte im Januar auf der weltgrößten Messe für Unterhaltungselektronik in Las Vegas ein Armband, das sich zur Kameradrohne entfalten lässt. Intel-Chef Brian Krzanich (Bild 19, r) unterstützt das Projekt, denn die Drohne „Nixie“ nutzt den Mikrorechner Intel Edison, der sich aufgrund seiner Kompaktheit speziell für Wearable Computer eignet.



21

Sogenannte head-mounted Displays vermitteln den Nutzern das Gefühl, sich in einer realen Welt zu bewegen. Die US-Navy nutzt sie daher beispielsweise, um das Fallschirmspringen zu trainieren.

22

Anwender der Kommissionierlösung von Ubimax können sich zunächst mit einer Karte, die vor die Datenbrille gehalten wird, in das System einloggen. Im Display sehen die Nutzer daraufhin, welche Teile sie benötigen und wo sich diese befinden.

davon profitieren. Einsparungen von über einer Milliarde US-Dollar pro Jahr erwartet der IT-Analyst Gartner allein für Unternehmen, die Wearables im Außendienst einsetzen. Vielversprechende Anwendungsszenarien sieht die Consulting-Firma besonders in der Öl- und Gasbranche, denn die Arbeitskräfte, die dort an schweren Geräten arbeiten, können mithilfe eines am Körper tragbaren Computers beide Hände frei behalten und sich gleichzeitig Bedienungsanleitungen oder Videos anzeigen lassen. Die Steuerung des Wearables kann über Sprachbefehle erfolgen.

Vor allem zwei Typen von Endgeräten befinden sich heute bereits im industriellen Einsatz: Datenbrillen und Datenhandschuhe. Letztere erkennen über eine Reihe integrierter Sensoren, welche Tätigkeiten der Träger ausführt, und lesen Barcodes oder RFID-Daten (Radio Frequency Identification). Ein Minirechner wertet diese Informationen aus und stellt passende Dokumente und Anweisungen auf einem Display auf dem Handschuhrücken bereit.

Tempo der Kommissionierung mit Datenbrillen um 25 Prozent gesteigert

Datenbrillen, sogenannte Smart Glasses, sind eine Weiterentwicklung der Helmdisplays (HMD, head-mounted device), die seit den 1980er-Jahren für militärische Anwendungen – zum Beispiel für die Piloten von Kampffjets – entwickelt wurden. Sie ermöglichen unter anderem die computergestützte Erweiterung der Realitätswahrnehmung durch das Einblenden virtueller Inhalte in reale Bilder. Sie sind damit ein Paradebeispiel für erweiterte Realität (AR, augmented reality). Eine kleine Digitalkamera nimmt dabei das Sichtfeld des Trägers auf, ein Rechner analysiert die Bildinhalte und überlagert das Gesehene mit passenden Zusatzinformationen, zum Beispiel aus dem Internet. Zusätzlich kann der Träger durch

Sprachsteuerung oder bestimmte, von Sensoren erkannte Bewegungen oder Gesten weitere Informationen abrufen.

Ein junges Bremer Unternehmen arbeitet bereits mit Kunden in Europa und den USA an der Integration von Smart Glasses in die Unternehmensabläufe: Ubimax ist eine von zehn Firmen weltweit, die von Google als zertifizierte Partner im Bereich Datenbrillen anerkannt sind und somit offiziell Projekte mit Google Glass anbieten dürfen. Im niederländischen Logistikcenter Bergen op Zoom testete DHL Supply Chain kürzlich eine Ubimax-Lösung für Pick-by-Vision – dabei wird den Mitarbeitern mithilfe von optischen Signalen angezeigt, welche Waren aufgenommen und wo sie abgelegt werden sollen. Für drei Wochen verzichteten zehn Lagerfachkräfte auf Handscanner und Picklisten. Stattdessen nutzten sie die Datenbrillen von Google und Vuzix, um insgesamt 20.000 Artikel für 9.000 Bestellungen zu verarbeiten. Das Ergebnis des Pilotprojekts überzeugte die Unternehmensleitung: Die Kommissioniergeschwindigkeit wurde um 25 Prozent gesteigert und die Fehlerquote auf null reduziert. Jan-Willem De Jong, Business Unit Director Technology bei DHL Benelux, ist begeistert: „Die AR-gestützte Kommissionierung kommt ohne überflüssige Handgriffe aus und ist erheblich produktiver.“ DHL prüft jetzt den Ausbau der AR-Lösung für weitere Bereiche der Lieferkette.

Leonid Poliakov, Projektleiter bei Ubimax, beschreibt den Stand der Wearable-Integration in den Produktionsprozess so: „Immer mehr Firmen erkennen den unternehmerischen Mehrwert der Datenbrillentechnologie, weil sie drei entscheidende Variablen optimiert: Geschwindigkeit, Fehlerzahl und Total Cost of Ownership, also die Gesamtbetriebskosten.“ Der Einsatz von AR-Systemen sorge für einen Paradigmenwechsel innerhalb der Mensch-Maschine-Kommunikation: Die Interaktion mit der realen Welt rücke in den Vordergrund. Der Benutzer könne sich jetzt komplett auf seine primäre Aufgabe konzentrieren, während die Bedienung des Gerätes intuitiv im Hintergrund ablaufe.

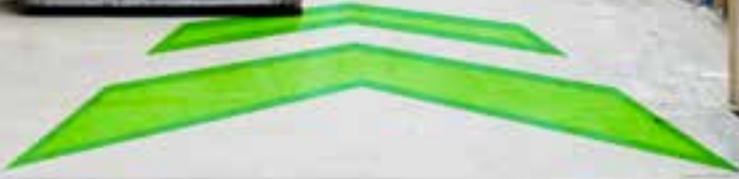
22

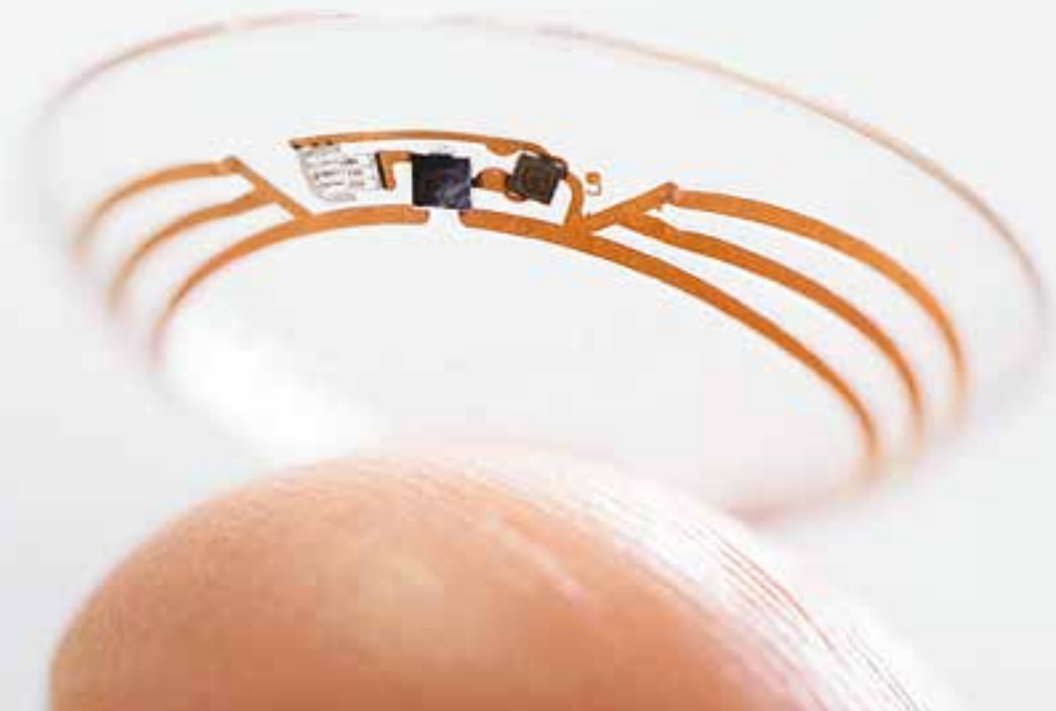
9:30

Mary Jane



-  8970-732-1
Nut, 60mm
-  8970-732-1
Nut, 60mm
-  8970-732-2
Bolt, 60mm
3 x



**23**

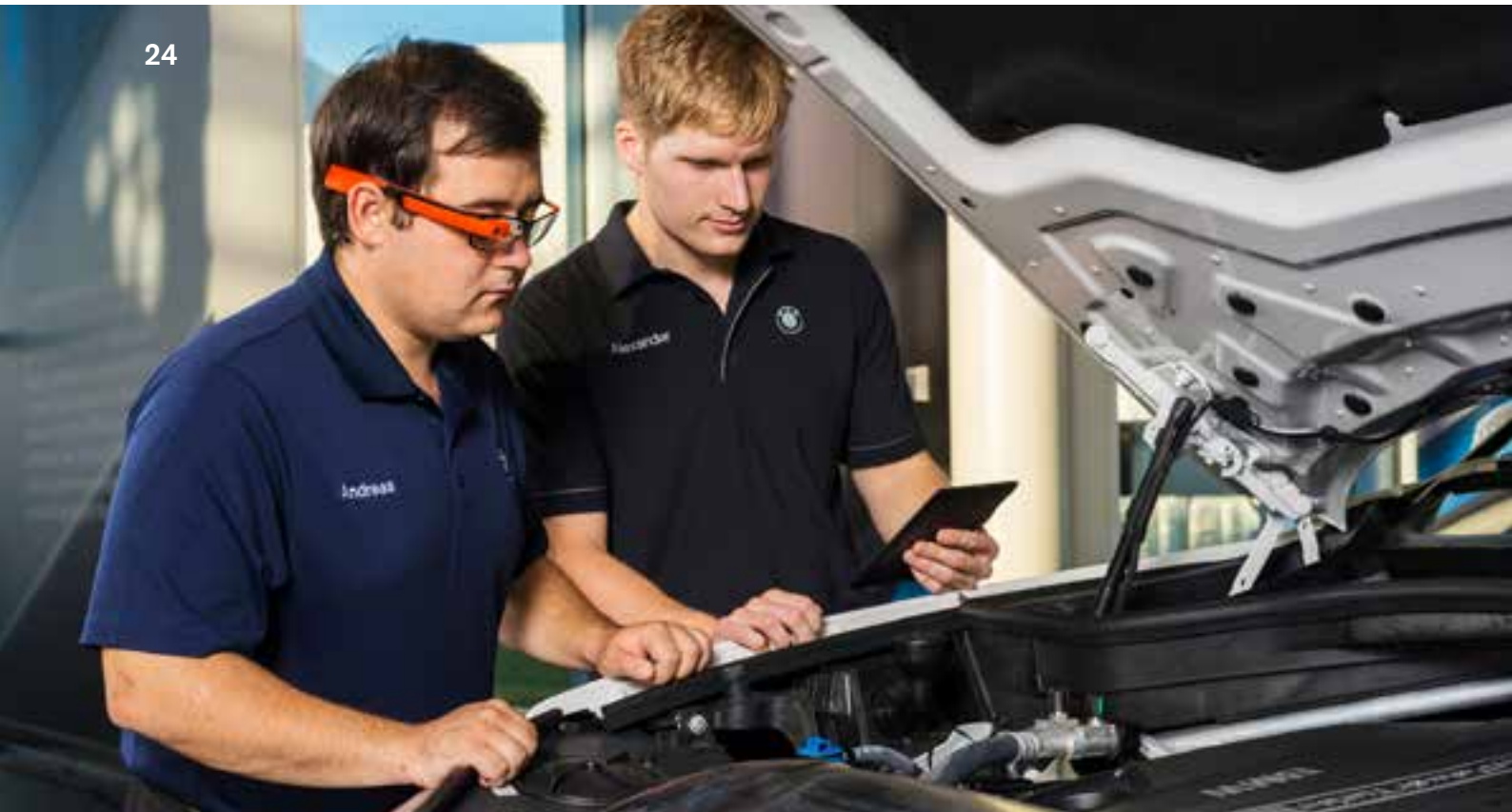
Google entwickelt derzeit Kontaktlinsen, die kontinuierlich den Glukosegehalt der Tränenflüssigkeit messen. Diabetes-Patienten sollen damit in Zukunft jederzeit ihren Blutzuckerspiegel beobachten können.

Das gilt nicht nur für die Kommissionierung. BMW testete in seinem US-Werk Spartanburg den Einsatz von Datenbrillen in der Qualitätsprüfung der Vorserienproduktion. Bisher mussten sich die Prüfer zwischen dem untersuchten Fahrzeug und einem Computerterminal, an dem die Ergebnisse eingetragen wurden, hin und her bewegen. Mit der Datenbrille können sie am Fahrzeug bleiben, sich die Prüfpläne im Display der Brille anzeigen lassen und diese per Sprachsteuerung durcharbeiten. Beide Hände sind durchgehend für die Prüftätigkeit verfügbar. Mängel können sofort per Foto oder Video an die zuständigen Entwicklungsingenieure weitergegeben werden. Per Videotelefonie soll demnächst über die Datenbrille auch die direkte Kommunikation mit den Entwicklern möglich sein. Ubimax ist hier ebenfalls dabei und Poliakov geht davon aus, dass BMW das AR-System auch in der Qualitätsprüfung von Serienautos einführen wird: „Datenbrillen werden die Abarbeitung der standardisierten Prüfpläne bei der Endkontrolle erheblich beschleunigen.“

Nikjar Saeidi, Leiter Projekt- und Prozessmanagement beim WS Kunststoff-Service in Stuhr, kommt dem Wearable-Slogan „computing anytime, anything and anywhere“ noch näher: „Mit einer an die Unternehmensprozesse angepassten Software ist die Datenbrille wirklich ein Multitalent. Wir wollen sie in Zukunft überall in der Prozesskette nutzen, von der Kommissionierung über die Montage bis zur Qualitätskontrolle, und uns damit einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil verschaffen.“

Elektronische Kontaktlinsen erhöhen Sicherheit für Diabetiker

WS produziert Baugruppen für Konsumelektronik und Automobilindustrie. Derzeit blendet die Datenbrille detaillierte Anweisungen für jeden Arbeitsschritt ins Display ein und kontrolliert über Feinwaagen, Infrarotsensoren und Videobildauswertung das Ergebnis.



Damit lässt sich die Einarbeitungszeit neuer Mitarbeiter drastisch verkürzen, die Beschäftigten sind flexibel auf jeder Produktionsstufe einsetzbar, Fehler werden sofort gemeldet und können korrigiert werden.

Als Wegbereiter für die Akzeptanz von Wearables in der Arbeitswelt dienen die mobilen Geräte für den Massenmarkt, die bereits boomen – Smartphones, Smartwatches und Fitnesstracker. Einen Eindruck von zukünftigen Entwicklungen hat der Internetreise Google im vergangenen Jahr mit der Präsentation einer elektronischen Kontaktlinse für Diabetiker ermöglicht. Sie misst ein Mal pro Sekunde den Blutzuckergehalt der Tränenflüssigkeit und warnt den Träger bei Bedarf über sein Smartphone. Bis zur Marktreife werden noch einige Jahre vergehen, aber Systeme dieser Art werden die Medizintechnik revolutionieren, glauben die Google-Entwickler. Und die übernächste Generation hat das Unternehmen auch schon zum Patent angemeldet: die Kontaktlinsenkamera mit Bildsensor und Ansteuerungselektronik, alles

in Form eines durchsichtigen dünnen Films auf der Linse. Ein Blinzeln soll die Kamera auslösen und das Bildmaterial per Funk auf das Smartphone übertragen.

Die Arbeitsgruppe „Electronics Laboratory and Wearable Computing“ am Institut für Elektronik der ETH Zürich arbeitet ebenfalls an der Realisierung solcher ultraflachen, biegsamen und transparenten Elektronikschaltungen und Miniatursensoren. Sie erprobt zum Beispiel die Herstellung von Dünnschichttransistoren aus sogenannten 2D-Materialien oder von flexiblen Sensoren, die ohne Beeinträchtigung des Tragekomforts in Textilien integrierbar sind. Prof. Gerhard Tröster, Leiter der ETH-Gruppe, skizziert die Zukunft so: „Mit solchen Bauelementen werden Wearable Computer ihren Trumpf voll ausspielen: Unseren beruflichen wie unseren privaten Alltag durchdringen und erleichtern, ohne dass wir sie überhaupt noch wahrnehmen.“

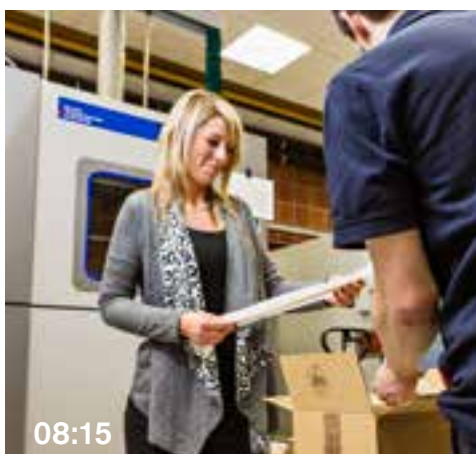
24

Das BMW-Werk in Spartanburg (USA) testet Datenbrillen für die Qualitätssicherung in der Produktion. In dem Pilotprojekt zeichnen Mitarbeiter die Testreihen an Vorserienfahrzeugen mit Google Glass auf. Wenn Probleme festgestellt werden, können sie fotografisch oder filmisch dokumentiert und daraufhin effizienter analysiert werden.





07:55



08:15



08:42

Tropische Temperaturen und eisige Kälte in Bochum

In Veronika Iwans Arbeitsalltag ist es häufig sehr kalt oder extrem warm, neblig oder staubig: Die Elektrotechnikingenieurin führt seit rund anderthalb Jahren bei Brunel Car Synergies Umweltsimulationstests durch und unterstützt ihre Kunden so bei der Entwicklung und Optimierung von Fahrzeugkomponenten.

Text › Stine Behrens

Wenn Veronika Iwan morgens um 8 Uhr bei Brunel Car Synergies in Bochum ankommt, führt ihr erster Weg ins Technikum der Prüf-, Test- und Entwicklungseinrichtung. In dem mit Temperatur- und Klimaschränken, Computern und Fotokameras ausgestatteten Raum warten ihre Prüflinge auf sie – Beleuchtungskomponenten, elektrische Bauteile oder Teile von Fahrwerken. Sie werden bei Brunel Car Synergies verschiedensten Tests unterzogen: Umweltsimulationen und chemischen Tests, Betriebsfestigkeits- und Lebensdauerprüfungen, Funktionsprüfungen oder IP-Schutzartprüfungen, die den Schutzgrad eines Gehäuses elektrischer Betriebsmittel ermitteln.

Heute liegt für die 26-Jährige bereits ein kleines Paket mit LED-Platinen für Innenraumleuchten eines Kleinwagens bereit. „Das Angebot zu den vorzunehmenden Prüfungen habe ich vorgestern mit der Produktentwicklung des Kundenunternehmens abgestimmt. Nun beginne ich mit den Klimatests, wobei ich die entsprechenden Standards und Normen beachten muss“, erläutert die gebürtige Bochumerin auf dem Weg zu ihrem Büro, in dem sie sich jedoch nicht lange aufhält: Um 8.30 Uhr kommt im Konferenzraum allmorgendlich das zwölfköpfige Team der Abteilung für Umweltsimulationen zusammen und bespricht kurz und knapp jüngst abgeschlossene, noch laufende oder anstehende Prüfungen.

07:55

Der Arbeitstag beginnt: Veronika Iwan trifft bei dem Prüf- und Testzentrum Brunel Car Synergies in Bochum ein.

08:15

Im Technikum holt sie die Fahrzeugteile ab, die auf ihre Praxistauglichkeit geprüft werden sollen.

08:42

Zunächst versammelt sich das Team der Abteilung für Umweltsimulation jedoch zu einer kurzen Besprechung, um die anstehenden Aufgaben zu koordinieren.



Nur eine halbe Stunde später dokumentiert Veronika Iwan im Technikum den aktuellen Zustand der eingetroffenen Platinen sowohl schriftlich als auch fotografisch. Rund 60 Minuten darauf trägt sie die Komponenten in den Nebenraum, in dem sich modernste Wärmeschränke zur Warmlagerung, Temperaturschränke zur Warm- und Kaltlagerung sowie für Temperaturwechselprüfungen, Klimaschränke, die Feuchte und Wärme simulieren, sowie eine Zwei-Kammer-Temperaturschockprüfkammer befinden. Mittels dieser Geräte werden die Prüflinge thermischen und klimatischen Bedingungen ausgesetzt, die während Herstellung, Transport, Lagerung und Gebrauch auf sie einwirken und deren Eigenschaften, Funktion und Lebensdauer beeinflussen können. „Die Ergebnisse helfen den Herstellern, ihre Produktqualität sicherzustellen und zu optimieren und dadurch ihre Wettbewerbsfähigkeit zu steigern“, erläutert Veronika Iwan.

Sie legt ihren Prüfling in das Innere einer Klimakammer und schließt die Platine an ein Netzteil sowie an ein Messsystem an. Denn neben der Widerstandsfähigkeit soll auch die Funktionstüchtigkeit des Bauteils unter den vorgegebenen Einflüssen – Temperatur- sowie Luftfeuchtigkeitsschwankungen – kontrolliert werden.

Prüflinge müssen sich gegen Staub und Spritzwasser behaupten

Die gelernte Elektronikerin für Automatisierungstechnik fotografiert das Bauteil ein letztes Mal und programmiert anschließend den Klimaschrank per Computer. Es dauert rund eine Stunde, bis alle Prüfbedingungen und Ansteuerungsprofile gemäß der Kundenspezifikationen eingegeben und

etwaige Temperaturänderungsgeschwindigkeiten oder -zeiten berechnet sind. Schließlich startet sie den Klimaschrank, die Messwertaufzeichnung und das Messsystem zur kontinuierlichen Parameterüberwachung – und lässt ihn anschließend seine Arbeit verrichten.

Zurück in ihrem Büro öffnet die Ingenieurin an ihrem Computer einen Testbericht zu IP-Schutzartprüfungen an elektrischen Komponenten, den sie am Vortag begonnen hatte. Auf eine Zusammenfassung der Kundenvorgaben folgen Fotos und detaillierte Beschreibungen des Prüflings sowie eine Schilderung der Versuchsdurchführung. „Dies ist neben der Zusammenfassung der Ergebnisse der umfangreichste Part, denn ich nenne hier die zu berücksichtigenden Normen und die verschiedenen Prüfungen. In diesem Falle waren dies die IP 6X und IP X6, bei denen der Prüfling Staub und Strahlwasser ausgesetzt wird. Bei der IP X7 wird er in Wasser getaucht





12:52



14:28



17:32

und bei der IP X8 in einem Druckbehälter bei einem Überdruck von 0,3 bar unter Wasser gehalten.“ In Tabellen und Kurven werden Prüfdauer und Druckverläufe, Wassertiefen und -mengen festgehalten. Zu jeder einzelnen Prüfung wird ein Fazit verfasst – und zwar in englischer Sprache: „Das Unternehmen mit Hauptsitz in Deutschland hat europaweit Niederlassungen, denen das Dokument zur Verfügung gestellt werden soll“, erläutert Veronika Iwan, die während ihres Studiums Kurse in technischem Englisch belegt hatte. Sie kommt zu dem Schluss, dass der Prüfling die Tests nur teilweise bestanden hat: „Während das Gehäuse Staub und Strahlwasser abhielt und auch beim Tauchen in einem Meter Tiefe keine signifikanten Veränderungen aufwies, war unmittelbar nach der IP X8 ein Wassereintritt ersichtlich. Meine visuelle Begutachtung zeigte als mögliche Ursache unregelmäßig aufgetragene Dichtmasse. Der Kunde weiß nun, wo er bei der Optimierung des Produktes ansetzen kann.“

80-stündige Vibrationsprüfung im „Shaker“

Bevor die Ingenieurin um kurz nach 12 Uhr mit zwei Kollegen in die Mittagspause geht, schaut sie nach ihrem Prüfling im Klimaschrank – alles in Ordnung.

Um etwa 13 Uhr sitzt sie wieder an ihrem Computer, als ihr Telefon klingelt: In Halle 7 wird sie zur Unterstützung benötigt. Auf einem Shaker sollen mehrere Automotive-Teile nebeneinander und zeitgleich einer 80-stündigen Vibrationsprüfung unterzogen werden. „Um die Kunden-Timings einzuhalten, ist die gegenseitige Unterstützung bei uns selbstverständlich“, betont Veronika Iwan, während sie ihren beiden Kollegen dabei hilft, die rund 30 Kilogramm schweren Prüflinge zur Fixierung auf die 35 Kilogramm wiegende Aufspannung und dann auf den Shaker zu montieren. Anschließend programmiert sie den Prüfstand, der zwei Stunden später seine Arbeit aufnimmt. Auf dem Weg zurück in ihr Büro macht die 26-Jährige erneut am Klimaschrank Halt. „Alles bestens“, befindet sie zufrieden und arbeitet dann bis zum Feierabend um 17.15 Uhr weiter an ihrem Bericht, der morgen Vormittag fertig werden und zusammen mit dem Bauteil an den Kunden geschickt werden soll. Anschließend wird sie mit gleicher Akribie analysieren, wie die LED-Platine der Innenraumleuchte ihre Nacht im tropischen Klima überstanden hat.

10:27

Heute müssen LED-Platinen für Innenraumleuchten den Härtestest im Klimaschrank bestehen.

11:40

Am Vortag hatte Veronika Iwan verschiedene Prüflinge auf die Staub-, Wasser- und Druckverträglichkeit getestet – der Kunde erhält einen detaillierten Bericht der Ergebnisse.

12:52

Kurz bevor sie in die zweite Tageshälfte startet, gönnt sich die Ingenieurin noch eine Tasse Kaffee.

14:28

Der „Shaker“ soll mehrere Fahrzeugteile auf ihre Vibrationstoleranz prüfen und muss für diese Aufgabe programmiert werden.

17:32

Nach einem letzten prüfenden Blick in den Klimaschrank macht Veronika Iwan sich auf den Weg in den Feierabend.





Einzigartige Wasserphänomene

Wasser ist nie gleich Wasser: Aus dem Weltall betrachtet, scheint es blau zu sein, vom Ufer eines gewöhnlichen Flusses wirkt es braun, wohingegen Leitungswasser kristallklar ist. In der Natur gibt es sogar pinkfarbene Seen und schwarze Flüsse – auf den ersten Blick wahre Farbwunder, tatsächlich sind es aber durch Algen oder Mineralien entstandene Phänomene.

Text › Nina Svensson

Lake Hillier Australien

Pretty in pink ist der 600 Meter lange und bis zu 250 Meter breite Lake Hillier im Südwesten Australiens. Der kräftig rosafarbene Salzwassersee, der 1802 vom britischen Forscher Matthew Flinders entdeckt wurde, befindet sich auf Middle Island im Pazifischen Ozean und steht unter strengem Naturschutz. Woher die Färbung stammt, ist bis heute nicht eindeutig geklärt. Eine mögliche Ursache ist das Betacarotin der Grünalge *Dunaliella salina*. Schon wenige

Mikrogramm Betacarotin pro Liter Wasser führen zu einer sichtbaren Färbung. Zudem ist der See extrem salzhaltig – die Pinkfärbung könnte auch auf Bakterien zurückzuführen sein, die sich in der Salzkruste am Ufer angesiedelt haben. Das Einzigartige: Selbst wenn dem See Wasser entnommen wird, behält es seine Farbe.



Caño Cristales Kolumbien

Der im kolumbianischen Macarena Nationalpark gelegene Caño Cristales, vom Forbes Magazine zu einem der zehn schönsten Flüsse der Welt gekürt, wird „Fluss der fünf Farben“ oder auch „Regenbogenfluss“ genannt. Er ist knapp 100 Kilometer lang und maximal 20 Meter breit. Sein prächtiges und immer wieder wechselndes Farbenspiel aus Gelb, Ocker, Grün, Blau und Rot wird durch verschiedene Algen und Wasserpflanzen hervorgerufen. Eine besondere Rolle spielt dabei die *Macarenia Clavijera*, die nur in diesem Teil von Kolumbien wächst. Bei intensiver Sonneneinstrahlung wechselt die Pflanze ihre Farbe von Grün zu leuchtend Rot.



Rio Negro/Amazonas Brasilien

Bei der brasilianischen Stadt Manaus mündet der Rio Negro mit seinem schwarzen Wasser in den milchig-braunen Amazonas, der bis zu diesem Punkt noch Rio Solimões heißt. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Eigenschaften fließen die Wassermassen mehr als zehn Kilometer nebeneinanderher, ehe sie sich mischen. So strömt der Rio Solimões dreimal so schnell wie der Rio Negro. Auch die Temperaturen unterscheiden sich: Der lehmige Solimões reflektiert das Licht und ist stets kälter als 22°C, während der Rio Negro mehr als 28°C erreicht. Dieser erscheint wegen seines hohen Gehalts an Huminsäuren und Fulvosäuren beim Betrachten aus der Ferne schwarz. Aus der Nähe ist das Wasser jedoch fast durchsichtig, weil es so gut wie keine Schwebstoffe enthält.



Champagne Pool Neuseeland

Der Champagne Pool im Natur-Freizeitpark Wai-O-Tapu Thermal Wonderland in Neuseeland hat seinen Namen von den Bläschen, die in seinem 75°C heißen Wasser aufsteigen. Mit 65 Metern Durchmesser, 62 Metern Tiefe und 50.000 Kubikmetern Wasser ist er eine der größten Thermalquellen Neuseelands. Der Champagne Pool ist vor etwa 700 Jahren durch eine hydrothermale Explosion entstanden, hervorgerufen durch überhitztes Wasser im oberflächennahen Gestein. Beeindruckend sind insbesondere die gelben, roten und orangefarbenen Uferzonen. Das Farbenspiel wird durch Metalle und Mineralien wie Schwefel (gelb) sowie Eisenoxid und Eisenoxidhydroxid (rot und braun), aber auch Stibnit und Realgar (orange) erzeugt.



Graphen: Das Wunderkind unter den Werkstoffen

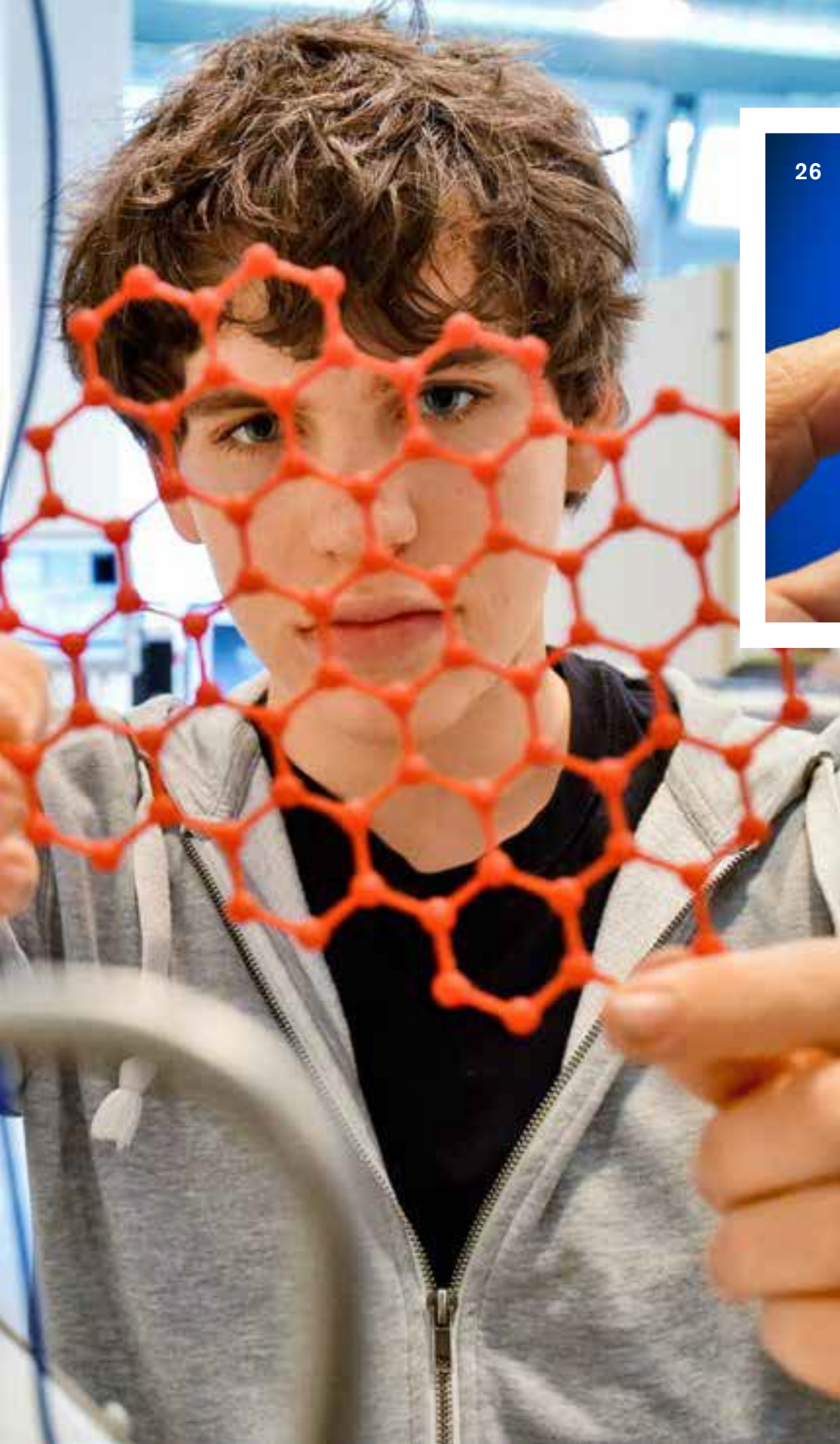
Das Material Graphen ist erst vor elf Jahren entdeckt worden, gilt aber bereits als Multitalent, das den verschiedensten Branchen künftig zu bahnbrechenden neuen Produkten verhelfen soll: Vom Computer, der sich zusammenfalten und in die Tasche stecken lässt, bis zum Weltraumlift, der den kostengünstigen Zugang zum All ermöglicht. Forscherteams arbeiten nun fieberhaft an der Entwicklung von bezahlbaren Herstellungsverfahren.

Text › Dr. Ralf Schrank

Selbst ein so exzellenter Strom- und Wärmeleiter wie Kupfer kann es mit Graphen nicht annähernd aufnehmen: Es leitet Wärme 13-mal so gut und elektrischen Strom sogar 550-mal besser. Graphen ist elementarer Kohlenstoff, ein weitverbreitetes Element, das in reiner Form in so unterschiedlichen Modifikationen wie Industrieruß, Grafit von Bleistiftminen, funkelnden Diamanten, fußballähnlichen Fulleren-Molekülen oder Nanoröhrchen auftritt. Die verblüffenden Unterschiede in den Eigenschaften ergeben sich allein aus der Lage der Kohlenstoffatome zueinander. Im Graphen sind sie in einer einatomigen, völlig ebenen Schicht dicht zu Sechsecken gepackt. Damit ist Graphen das Paradebeispiel eines 2D-Materials. Weil die Bindungsenergie zwischen den Atomen in Graphen fast doppelt so stark ist wie die in Diamant, ist eine Graphenfolie von der Dicke eines Atoms so reißfest, dass sie vier Liter Wasser tragen könnte. Die Herstellung eines 2D-Graphenkristalls

ist erstmals 2004 gelungen. Zwei Physiker der University of Manchester, Konstantin Novoselov und Andre Geim, erhielten dafür 2010 den Nobelpreis. Ihr Verfahren ist verblüffend simpel und war eigentlich eine Freizeitspielerei. Mit einem Klebestreifen lösten sie dünne Schichten von Grafit ab – das aus vielen Milliarden Graphenschichten besteht. Diesen Vorgang wiederholten sie, bis sie eine einzelne Schicht präpariert hatten. Inzwischen lassen sich im Labor ganz unterschiedliche Dimensionen und Qualitäten erzeugen: von winzigen Flocken über größere Folien mit gelegentlichen Fehlstellen bis hin zu makellosen Monolagen. Für Anwendungen besonders interessant sind relativ einfach herzustellende Graphentinten, die gelöste Graphenflocken enthalten und mithilfe von Rolle-zu-Rolle-Drucktechniken (roll-to-roll printing, R2R) im industriellen Maßstab auf flexible Träger aufgebracht werden können, etwa zur Herstellung biegsamer Elektroden oder Sensoren.





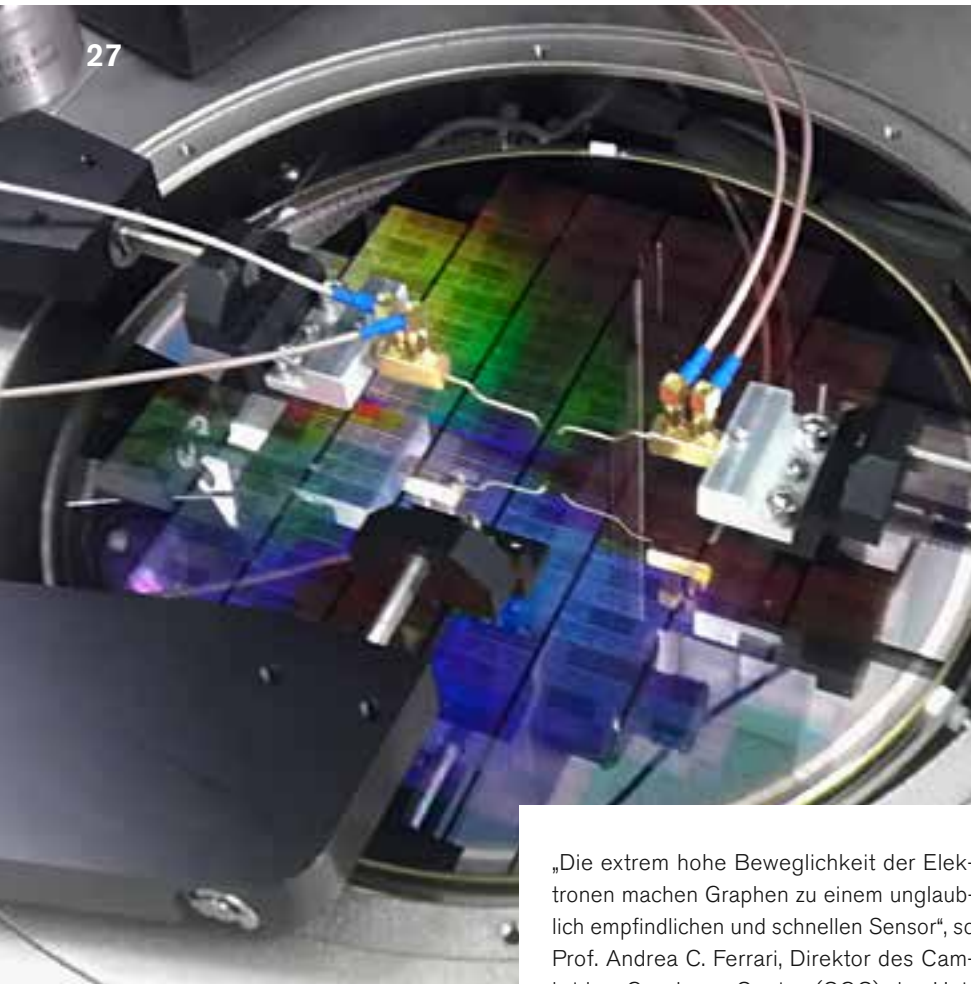
26


25

Im Schülerlabor des IHP-Leibniz-Instituts für innovative Mikroelektronik in Frankfurt (Oder) zeigt der Schüler Jakob Wendt an einem Modell die molekulare Struktur von Graphen. Der zweidimensionale Werkstoff ist extrem leicht und dennoch sehr stabil.

26

Eine neue Herstellungsmethode, die an der Rutgers University (USA) entwickelt wurde, ermöglicht das Auftragen einer Graphenschicht auf fast jedem Untergrund, beispielsweise einer biegbaren Plastikfolie. Die Folie – im Foto reflektiert sie ein Bild der Graphenstruktur – kann in Transistoren oder Solarzellen eingesetzt werden.



27
Ingenieure von IBM haben einen graphenbasierten Computerchip entwickelt, der erstmals auch in einer Größe von 10 Zentimetern gefertigt werden kann. Hier wird ein Chip im Labor von IBM Research getestet.

28
Das Unternehmen Plastic Logic mit Sitz in Cambridge (UK) entwickelt elektronisches Papier – unter anderem auch aus Graphen. Die darin enthaltene Computertechnologie ist so dünn und flexibel, dass sie sich biegen lässt.

29
Raumfahrtagenturen und Unternehmen arbeiten bereits an der Entwicklung eines Weltraumliffts – hier eine künstlerische Darstellung von der NASA. Als wichtigstes Baumaterial für den Lift wird mit Graphen geplant, weil es überaus leicht und trotzdem sehr fest ist.



Jahr 2000 gegründeten Spin-off der University of Cambridge und seither einer der Technologieführer bei flexiblen E-Papern und Displays. Die Partner entwickelten ein Graphen-Display, das biegsam, langlebig und schnell ist und im Vergleich zu den herkömmlichen Pendanten extrem wenig Energie verbraucht.

Für 2024 wird ein Marktpotenzial von 1 Milliarde Euro vorhergesagt

Auch der Nanoelektroniker Prof. Deji Akinwande von der University of Texas in Austin setzt auf die Kooperation mit industriellen Partnern: „Die größte Hürde, unsere Ideen zu kommerzialisieren, sind die hohen Kosten.“ Deshalb habe seine Arbeitsgruppe ein Laborverfahren zur Herstellung hochwertiger Graphenschichten mit der Aixtron Ltd in Cambridge/UK so weiterentwickelt, dass jetzt auch große Siliziumwafer mit fehlerfreien

„Die extrem hohe Beweglichkeit der Elektronen machen Graphen zu einem unglaublich empfindlichen und schnellen Sensor“, so Prof. Andrea C. Ferrari, Direktor des Cambridge Graphene Centre (CGC) der University of Cambridge/UK. Die Verträglichkeit mit menschlichem Gewebe ermöglicht darüber hinaus die Nutzung in der Medizintechnik. So arbeiten Wissenschaftler der Technischen Universität München beispielsweise an einer künstlichen Netzhaut, wobei der Graphensensor als Schnittstelle für eine effiziente Kommunikation zwischen dem Implantat und dem Nervengewebe im Auge dienen soll. Prof. Ferrari vom CGC betont: „Graphen zu produzieren ist heute kein Kunststück mehr. Die Herausforderung besteht darin, die Herstellung unter Industriebedingungen so zu steuern, dass die Eigenschaften des erzeugten Graphens präzise an die jeweilige Endanwendung angepasst sind.“ Gefragt ist deshalb jetzt der Schulterschluss zwischen Forschung und Industrie. Ein Beispiel dafür ist die Kooperation des CGC mit Plastic Logic, einem im



29

Graphenschichten belegt werden können. Wafer sind hauchdünne, bis zu 30 Zentimeter große Scheiben, auf denen mikroelektronische oder fotovoltaische Schaltungen aufgebaut werden, beispielsweise für Computerchips. Damit ist eine weitere Hürde auf dem Weg zur industriellen Fertigung von graphenbasierter schneller Nanoelektronik genommen. Für schnell schaltende, biegsame Elektronikbauteile besteht laut Akinwande insbesondere beim Mobilfunk ein enormer Bedarf. Hoffnungen bietet das Graphen aber auch für die Entwicklung superschneller Batterien. In Verbindung mit Metalloxiden könnte es in Zukunft das Graphit ersetzen, das zurzeit in Lithium-Ionen-Batterien genutzt wird. Graphen verfügt über eine deutlich höhere Ladekapazität – Elektroautos würden also ihre Reichweite erheblich erhöhen. Gleichzeitig würde die Aufladung von Akkus extrem beschleunigt: Optimistische Schätzungen gehen davon aus, dass ein Smartphone eines Tages innerhalb weniger Sekunden wieder aufgeladen sein wird. Sensoren, Displays, nanoelektronische Bau-

elemente: Noch ist der Sprung vom Labor in die industrielle Fertigung nicht vollzogen. Entsprechend weit streuen die Marktprognosen. Nach etwa 15 Millionen Euro im Jahr 2014 werden für 2024 Volumina zwischen 120 und 350 Millionen Euro für das Material sowie eine Milliarde Euro und mehr für den Gesamtmarkt graphenbasierter Produkte vorhergesagt (Übersicht unter: graphene-info.com). Graphen-Experte Prof. Jari Kinnari, Leiter der Condensed Matter Theory Group an der Chalmers University of Technology im schwedischen Göteborg, ist vorsichtig: „Wo sich Graphen letztlich durchsetzen wird und wo nicht, ist heute vielfach noch Spekulation.“ Weil die Potenziale aber offensichtlich sind, hat die Europäische Kommission 2013 die Forschungsinitiative „Graphene Flagship“ gestartet, in deren Rahmen bis 2023 eine Milliarde Euro in Graphen und verwandte 2D-Materialien investiert werden sollen. Kinnari ist Direktor des EU-Projekts: „Ohne Zweifel wird das Graphene Flagship die europäische Industrie in die Lage versetzen, Graphen in den nächsten Jahren vom Labor in den Alltag zu

bringen – vor allem, wenn man berücksichtigt, dass zur EU-Initiative nationale Förderprogramme kommen, die in der Summe das Flagship-Volumen noch einmal mindestens verdoppeln.“

Das Fazit: 2D-Materialien könnten in naher Zukunft in Elektronik, Sensorik, Fotovoltaik, Energie- und Fahrzeugtechnik, in der Medizin und anderen Gebieten einen Technologiesprung auslösen, der mit dem Übergang von der Elektronenröhre zum Siliziumtransistor vor 65 Jahren vergleichbar ist. Nur ein Beispiel für die Welt danach: Ein Weltraumlift mit Seilen aus Graphen könnte Lasten und Menschen auf eine geostationäre Raumbasis befördern – zu Kosten, die bis zu 400-mal niedriger wären als der Transport mit Raketen. Ein 36.000 Kilometer langes Seil aus jedem konventionellen Material würde allein durch sein Eigengewicht zerreißen, ein Graphenseil nicht. Die NASA untersucht die technische Realisierbarkeit eines Weltraumlifts ernsthaft, und das japanische Bauunternehmen Obayashi hat angekündigt, bis 2050 einen solchen Lift zu bauen.

Wunder der Ingenieurskunst

Gibt es sie noch, die modernen Weltwunder der Technik? In der Antike waren sieben spektakuläre Bauwerke aus Menschenhand Sinnbilder für das Machbare, die Spitze der Baukunst. Heute gehen Forschergeist und Ingenieurskunst in vielerlei Richtungen – Größe ist kein zwingender Faktor mehr. Dennoch faszinieren uns auch heute noch Werke durch die scheinbare Unmöglichkeit ihrer Statik, aber auch durch die ausgeklügelten Technologien, die fast wie Magie wirken. Andere Schöpfungen beeindrucken durch ihre Komplexität oder ihre Miniaturisierung. Eines haben sie jedoch gemein: Im Voraus hätte man ihr Vorhaben kaum für umsetzbar gehalten – es brauchte mutige Menschen, um sie anzugehen.

Mondlandung

Seit jeher schien der Mond unerreichbar, daher zog die Mission der Apollo 11 die ganze Welt in ihren Bann. Mehr als 500 Millionen Menschen – und damit ein Siebtel der Weltbevölkerung – verfolgten die Landung am 21. Juli 1969 vor den Bildschirmen. Neben Neil Armstrong und Buzz Aldrin haben bis jetzt nur zehn weitere Menschen den Mond betreten.



Transkontinentale Eisenbahn USA

Sie war das Vorbild für die Erschließung schier unermesslich großer, „wilder“ Räume, nicht nur in den USA, sondern auch in Russland mit der Transsibirischen Eisenbahn. Darüber hinaus diente sie als Treiber für viele weitere technische Innovationen, beispielsweise für die Luftdruckbremse.



Assuan-Staudamm

Er „bändigte“ den Vater aller Ströme, den Nil, mit seinen seit Urzeiten lebensspendenden Flutwechsel in eine weitere Form der Versorgung und erlangte damit eine hohe Symbolkraft. Der 3.840 Meter lange Damm staut den Fluss zum Nassersee auf, der sich über 500 Kilometer erstreckt und bis in den Sudan hineinreicht.





Glühlampe

Eine Ballung von Entwicklungen führte zur Erleuchtung der Welt: Nicht nur die Erfindung und Verbesserung des Glühfadens, sondern auch die Schraubfassung und vor allem die Schaffung elektrischer Netze – vorher mussten Glühlampen mit klobigen Batterien betrieben werden.



CERN

Die Anlagen der Europäischen Organisation für Kernforschung in Genf können auch ein unvorstellbar kleines Teilchen nachweisen, über das bis 2013 nur spekuliert wurde: das Higgs-Boson. Kritiker hatten zwischenzeitlich sogar befürchtet, dass die Maschine im Rahmen der Forschungsaktivitäten ein Schwarzes Loch erzeugen wird.



Hangzhou Bay Bridge

Sie steht als spektakuläres Bauwerk für den Aufstieg der Wirtschaftsmacht China. Die 36 Kilometer lange Brücke, deren Bau mehr als eine Milliarde Euro gekostet hat, verkürzt den Weg zwischen den Hafenstädten Schanghai und Ningbo um rund 120 Kilometer. Allein für die Planung wurden 600 Experten aus verschiedenen Fachrichtungen benötigt. Die Brücke hält Windgeschwindigkeiten bis zu 230 km/h stand.



Zeppeline

Die Technologie war revolutionär, auch wenn sie auf dramatische Weise scheiterte, bevor sie in die Reifephase treten konnte. Die längsten Zeppeline maßen mehr als 230 Meter und verfügten über 72 Betten für Passagiere. Zum Vergleich: Die modernsten Boeing-Flugzeuge boten damals 33 Sitzplätze. Da es unter anderem mit der Katastrophe von Lakehurst einige öffentlichkeitswirksame Verluste mit zahlreichen Todesopfern gab, wurden Zeppeline ab den 1930er-Jahren nicht mehr als führende Luftfahrttechnologie weiterentwickelt.



Porträt

Ralph Heidenreich

Ralph Heidenreich (34) ist Konstruktionsingenieur. Für seine Bachelorarbeit an der Fachhochschule Bielefeld hat er eine Biogasanlage im Labormaßstab (Inhalt 20 Liter) konstruiert. Anschließend hat er für Brunel bei einem Süßwarenhersteller sowie zwei Jahre bei einem Hersteller von Sonderbaumaschinen gearbeitet, wo er unter anderem Wärmetauscher für Baumaschinen entwickelte. Seit Dezember 2013 arbeitet er bei der Hydrogenics GmbH in Gladbeck.

Maschinenbauer leisten Perfektion für die Produktion

Fast jedes Unternehmen, das eigene Produkte herstellt, benötigt Konstrukteure – vom Automobilkonzern über Medizintechnik-Unternehmen bis zum Möbelbauer. Die passende Kompetenz ist jedoch oft schwierig zu finden. Die Hydrogenics GmbH, ein Hersteller von Wasserstofftechnik, und der Backmaschinenhersteller WP Kemper setzen daher bei aktuellen Projekten auf Ingenieure von Brunel.

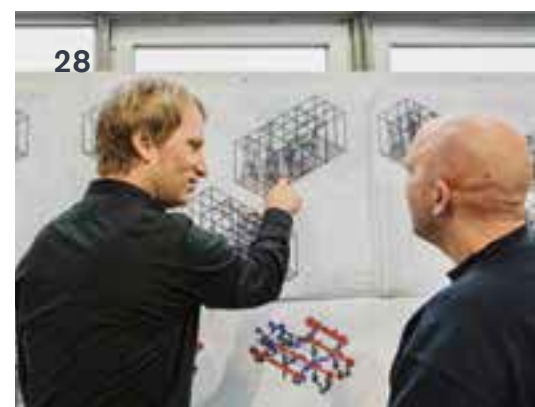
Text › Nina Svensson

Der Wirtschaft mangelt es an Konstrukteuren – zu dieser Einschätzung gelangte die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech) bereits vor fünf Jahren, daher startete sie das Projekt „Konstrukteur 2020“. Insgesamt 16 Vertreter aus zehn wissenschaftlichen Einrichtungen und Unternehmen ergriffen die Initiative und versuchen seither die Ausbildung und das Image von Konstrukteuren zu verbessern. Gefragt sind beispielsweise aktuelles Know-how rund um neue Materialien, innovative Fertigungsverfahren und effiziente Automatisierungslösungen.

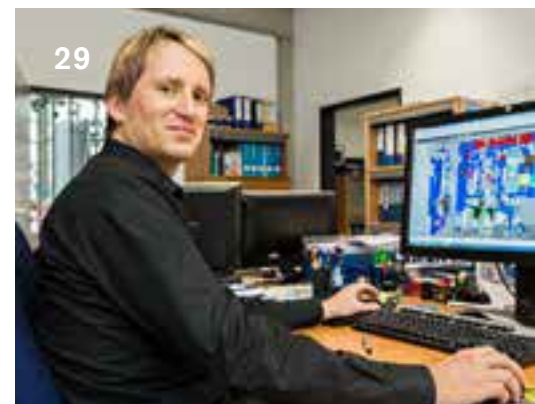
Mittelfristig sollen auf dem Arbeitsmarkt somit wieder mehr Konstrukteure zur Verfügung stehen. Häufig ergibt sich der Bedarf jedoch spontan oder nur für einen begrenzten Zeitraum. In solchen Fällen greifen Unternehmen aus unterschiedlichsten Branchen oft auf Brunel Spezialisten zurück: Denn der Ingenieurdienstleister beschäftigt rund 550 Konstrukteure allein in Deutschland. Einer davon ist Ralph Heidenreich, der zurzeit bei der Hydrogenics GmbH in Gladbeck tätig ist. Das Unternehmen, eine deutsche

Tochtergesellschaft des kanadischen Wasserstofftechnik-Herstellers Hydrogenics Corporation, baut im Auftrag des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme aktuell einen Teststand für Elektrolyseure – dabei handelt es sich um Anlagen, die Wasser mithilfe von Strom in Wasserstoff und Sauerstoff aufspalten („Power to Gas“). Die Technologie ermöglicht es, elektrische Energie im Falle eines temporären Überangebots für die spätere Nutzung in Form von Gas zu speichern. Im Teststand soll die Leistungsfähigkeit von Elektrolyseuren überprüft werden, also die Menge an Wasserstoff, die sie unter Einsatz einer bestimmten Menge von Strom aus reinem Wasser abspalten.

Heidenreich ist bei Hydrogenics in das Planungsteam des Teststands eingebunden. Die hohen konstruktiven Anforderungen, die sich aus der Größe der Anlage und der gegebenen Raumrestriktion stellten, waren eine wesentliche Herausforderung an die Konstruktion. Die circa 13 Tonnen schwere Anlage von der Größe eines Standardcontainers beinhaltet zahlreiche Messgeräte und Sensoren wie Durchflussmessgeräte,



28



29

28 + 29

Ralph Heidenreich konstruierte zunächst die äußeren Rohrverbindungen des Teststands, ehe er Messgeräte, Schaltschränke und weitere Bauelemente hinzufügte. Dabei nutzte er das CAD-Programm Solid Edge ST5.



Druckanzeigen oder Temperatursensoren. Hinzu kommen die Schaltschränke mit der SPS-Steuerung, verschiedene Behälter und die Rohrleitungen.

„Die Herausforderung war, alle Komponenten in einem begrenzten Raum unterzubringen und wie im P&ID vorgegeben fertigungstechnisch sinnvoll zu verbinden“, schildert Heidenreich. Diese Vorgabe erfüllte er zunächst virtuell in seinem CAD-Programm Solid Edge ST5, damit später alle Bauteile des Teststands genau zusammenpassen. Besonders die vielen langen Rohrverbindungen erforderten erhebliche Detailarbeit.

Backmaschine produziert 40.000 Donuts pro Stunde

Die Erstellung von präzisen 3D-Konstruktionen zählt auch zu den Aufgaben von René Kemper, Konstrukteur bei Brunel. Im Februar 2014 hat er seine Arbeit bei der WP Kemper GmbH aufgenommen – die Namensgleichheit ist dabei reiner Zufall. Das Unternehmen mit Sitz in Ostwestfalen-Lippe gehört zur WP Bakery Group, einem der weltweit führenden Produzenten von Maschinen zur Teigherstellung und Teigweiterverarbeitung. Die Backmaschine „Donut Line“ kann beispielsweise je nach Ausführung bis zu 12.000 Berliner oder 40.000 Donuts pro Stunde produzieren. Für diese Maschine erforderte ein individueller Kundenauftrag im vergangenen Jahr die Konstruktion einer rund fünf Meter langen Vereinzelungseinheit – eines sogenannten Absetzers. Sie soll die Berliner so in Position bringen, dass sie anschließend verworfen und mit Puderzucker bestreut werden können. Als Vorbild diente ein bereits bestehendes Gerät, das jedoch nur nach zweidimensionalen Zeichnungen erstellt worden war, während mittlerweile die moderne 3D-Technik erhebliche Vorteile bei der Effizienz von Entwicklungsprozessen bietet. Die Konstruktion musste demnach den neuesten Stand der Technik ebenso berücksichtigen wie auch einige vom Vorgängermodell abweichende Kundenwünsche.

Brunel Mitarbeiter René Kemper wurde aufgrund seiner Erfahrungen in der Konstruktion für die Aufgabe ausgewählt, denn er hatte bereits für andere Unternehmen bei der Entwicklung einer Verpackungsmaschine für Butter und einer Etikettiermaschine mitgearbeitet. Bei der Konstruktion des neuen Absetzers kooperierte Kemper eng mit seinen Kollegen bei WP Kemper, weil das Bauteil mit den angrenzenden Segmenten der Berliner-Backmaschine vollständig kompatibel sein musste. Eine wichtige Komponente waren die Führungsachsen, auf denen der Absetzer über das folgende Transportband hin und wieder zurückgeschoben wird. „Zwischen dem Absetzer und dem folgenden Band darf nicht zu viel Luft sein. Berliner haben einen Durchmesser von etwa 90 Millimetern und dürfen nicht tiefer als 30 Millimeter fallen, sonst können sie kippen oder springen“, erklärt Kemper. „Andererseits darf der Absetzer auch nicht auf dem Band oder gar über die Berliner schleifen.“ Neben der präzisen Platzierung der Führungsachsen waren der begrenzte Platz für die Zusammensetzung des fünf Meter langen Absetzers, die strenge Einhaltung der Hygienevorschriften und die Reinigungsmöglichkeiten zentrale Herausforderungen. Die Konstruktion setzte Kemper dann mit dem CAD-Programm Solidworks um. „Es gibt leider keine Formel, mit der man die richtige Position der Berliner berechnen kann. Aber dafür haben meine Kollegen und ich unser Wissen und unsere Erfahrungen mit eingebracht. Wir haben gemessen, gerechnet und letztendlich einige Versuche durchgeführt, bis wir die optimale Höhe und Position gefunden hatten.“ Die Berliner-Anlage ist mittlerweile an den Kunden ausgeliefert worden, auch der Teststand des Elektrolyseurs soll noch im zweiten Quartal 2015 in Betrieb genommen werden. Für die Brunel Konstrukteure Kemper und Heidenreich boten die Projekte hervorragende Gelegenheiten, ihre Branchenkenntnisse in Kombination mit ihrem technischen Know-how einzusetzen. Viel Erfahrung und ein Schuss Kreativität haben ihnen geholfen, die Konstruktionsaufgaben optimal zu lösen.



Porträt René Kemper

René Kemper (26) ist gelernter Verfahrensmechaniker und hat sich zum Maschinenbautechniker weitergebildet. Seit Februar 2014 arbeitet er für Brunel bei WP Kemper in Rietberg, einem Unternehmen der WP Bakery Group, das sich auf Knetgeräte und Fettbackanlagen spezialisiert hat. Parallel zu seiner Tätigkeit studiert Kemper seit Herbst 2013 Maschinenbau im Verbundstudium an der Fachhochschule Bielefeld.

30

René Kemper musste bei der Konstruktion des Absetzers neben dem begrenzten Platz auch die strengen Hygienevorschriften und Reinigungsmöglichkeiten berücksichtigen.

31

Beim Absetzen der Berliner ist Präzision gefordert: Wenn sie mehr als drei Zentimeter fallen, können sie kippen oder springen, sodass der gesamte Prozess gestoppt werden muss.



Reisen mit der Rohrpost

Text › Jörg Riedel

Für das Jahr 1888 ist es eine kühne Vision: Ein Zug rast mit 1.800 Stundenkilometern durch eine Stahlröhre unterhalb der Meeresoberfläche. Er braucht für die 5.000 Kilometer lange Strecke zwischen Boston und Liverpool weniger als drei Stunden. Wie bei einer Rohrpost beschleunigt Druckluft die zylinderförmige Passagierkabine. So beschrieb Michel Verne, Sohn von Jules Verne und ebenfalls Schriftsteller, seinen „Schnellzug der Zukunft“ in der gleichnamigen Kurzgeschichte.

Diese Idee kann in ähnlicher Form bald Realität werden, denn der US-Milliardär Elon Musk hat sich ihrer angenommen. Der Unternehmer entwickelte bereits das Internet-Bezahlsystem PayPal, gründete das Raumfahrtunternehmen SpaceX und Tesla, den ersten Serienhersteller emissionsfreier Sportwagen. Sein jüngstes Vorhaben heißt nun Hyperloop. Damit will

er die Vision des Reisens in einer Druckluft- röhre verwirklichen, die Michel Verne vor mehr als 100 Jahren angeregt hatte.

Der Hyperloop soll die Strecke zwischen San Francisco und Los Angeles mit bis zu 1.220 Stundenkilometern zurücklegen und für die 570 Kilometer nur 35 Minuten benötigen. Der 2,20 Meter breite Schnellzug, in dem 28 hintereinander sitzende Passagiere Platz finden sollen, rast durch eine Stahlröhre, die von erdbebensicheren Stelzen gestützt und fast luftleer gehalten wird, um den Widerstand zu minimieren. Die verbleibende Luft wird von einer Turbine, die sich an der Spitze des Zuges befindet, angesogen und zwischen Kabine und Röhre gepresst. Dies ermöglicht es, den Hyperloop auf hauchdünnen Luftpolstern gleiten zu lassen. Beschleunigt und gebremst wird der Zug durch Elektromotoren, die denen eines Transrapid-ähnelt. Der dafür

benötigte Strom soll von Solarmodulen eingespeist werden.

Mit Kosten von weniger als sechs Milliarden US-Dollar soll Musks Hyperloop rund 60 Milliarden Dollar günstiger werden als die Hochgeschwindigkeitszugverbindung, die zurzeit auf gleicher Strecke geplant ist. Wann das Projekt realisiert wird, ist allerdings unklar. Im Gegensatz zu seinen anderen Visionen treibt Musk diese Idee als Open-Source-Projekt voran, bei dem jeder mitwirken und offene technische Fragen lösen kann. Beispielsweise existieren noch Sicherheitsbedenken: Bei einer Geschwindigkeit von 1.220 Kilometern pro Stunde beträgt der Bremsweg rund zwei Kilometer und dauert 15 Sekunden. Aber für Musk, der parallel an der Besiedelung des Mars arbeitet, ist solch eine Hürde nur der Ansporn für die Lösungssuche.

Infos im Web: <http://bit.ly/hyperloop-info>



Wer hat's erfunden? Der Kaffeefilter

Text › Anne-Katrin Wehrmann

In einer Fünzimmerwohnung in Dresden tritt eine einfache, aber bahnbrechende Idee im Jahr 1908 ihren Siegeszug an. Schon 300 Jahre zuvor hat der Kaffee in Europa die ersten Anhänger gefunden, aber die Zubereitung des anregenden Heißgetränks lässt noch zu wünschen übrig: Die bisher bekannten Filtermethoden erfüllen ihren Zweck nur unzureichend. Die 35-jährige Hausfrau Melitta Bentz will den zurückbleibenden Kaffeesatz in ihrer Tasse nicht länger hinnehmen. Nach einigem Tüfteln findet sie eine überzeugend einfache Lösung, indem sie den Boden einer alten Blechdose mit Hammer und Nagel durchlöchert. Anschließend legt sie ein Löschblatt aus dem Schulheft ihres ältesten Sohnes hinein: Der Kaffeefilter ist geboren. Die Mutter von drei Kindern meldet ihre Entdeckung beim Kaiserlichen Patentamt zu

Berlin an und erhält laut Patentblatt Nummer 28 vom 8. Juli 1908 Gebrauchsmusterschutz für einen Kaffeefilter „mit auf der Unterseite gewölbtem Boden sowie mit schräg gerichteten Durchflusslöchern“. Ihr Mann Hugo Bentz kündigt zugunsten der Erfindung seiner Gattin, die von ihren Zeitgenossen als tatkräftig und pflichtbewusst mit gesundem Temperament beschrieben wurde, seinen Job in einem Kaufhaus. Gemeinsam nehmen sie daraufhin die Herstellung in der heimischen Wohnung auf. Das Ur-Modell ihres Kaffeefilters ist ein 13 Zentimeter hoher Messingbehälter, später fertigt die Firma M. Bentz auch Rundfilter aus Aluminium, Porzellan und Steingut. Das Unternehmen wächst, zieht in eigene Räume und siedelt 1929 mit 55 Mitarbeitern nach Minden um, weil dort auf dem Gelände einer ehemaligen Schokoladenfabrik geeignete

Industriegebäude für eine erneute Erweiterung bereitstehen. Hier erhält der Filter drei Jahre später erstmals eine konische Form, bevor 1937 schließlich der bis heute gängige unten keilförmig zulaufende Filterkörper mit passenden Filtertüten auf den Markt kommt.

Mittlerweile ist die Melitta-Gruppe ein international tätiges Unternehmen, das mehrere Tausend Mitarbeiter beschäftigt. Und auch wenn Pads und Kapseln, Espresso, Latte macchiato und Co. dem Filter inzwischen Konkurrenz machen: Das Aufbrühen von Filterkaffee ist laut Deutschem Kaffeeverband mit 72 Prozent des zu Hause konsumierten Kaffees (Stand 2013) auch heute noch die beliebteste Form der Kaffe Zubereitung in Deutschland.



Henrich Focke, Vater des Hubschraubers

Seine Flugzeugkonstruktionen machten Henrich Focke zu einem der bedeutendsten Pioniere der Luftfahrtgeschichte. Die größte Erfindung des Bremers war dabei ein Fluggerät, das sich senkrecht fortbewegen konnte und damit einen Verzicht auf lange Start- und Landebahnen ermöglichte: Mit der FW 61 konstruierte Focke den ersten funktionierenden Hubschrauber der Welt.

Text › Anne-Katrin Wehrmann

Küchenwaagen, Ofenrohre, Gardinen: Diese schlichten Geräte zählen zu der Ausstattung eines kleinen Windkanals, der das Herzstück des Fluglabors von Henrich Focke bildet. In einem Hinterhofschuppen mitten in der Bremer Innenstadt lässt sich das Labor, das der „Vater des Hubschraubers“ zwischen 1963 und 1979 für die Forschung und Entwicklung nutzte, noch heute besichtigen. Mit einfachen Mitteln analysierte Focke dort auch im hohen Alter noch die Flugeigenschaften von Helikoptern.

140 Flugzeuge in den Gründungsjahren

Schon in jungen Jahren hatte Focke, der 1890 in Bremen geboren wurde, seine Leidenschaft für die Luftfahrt entdeckt. Er experimentierte bereits als Schüler mit dem Bau von Gleitern im Stile Otto Lilienthals und schaffte später als Maschinenbaustudent an der Technischen Hochschule Hannover bereits kleinere Flüge von bis zu 25 Metern auf dem Weserdeich. 1912 gelang ihm sogar der erste Motorflug mit einem selbst gebauten Flugzeug, allerdings wurden die Versuche und sein Studium vom Ersten Weltkrieg unterbrochen – Focke diente bei der Fliegertruppe. Erst 1923 konnte er hauptberuflich seiner Leidenschaft nachgehen: Gemeinsam mit seinem Freund Georg

Wulf gründete er die Focke-Wulf Flugzeugbau AG, um sich vollständig der Fliegerei zu widmen.

Das Unternehmen schrieb von Anfang an Erfolgsgeschichte: In den ersten zehn Betriebsjahren entstanden insgesamt 140 Flugzeuge unterschiedlicher Typen, unter ihnen das Passagierflugzeug FW A 16, das in einer damals bemerkenswerten Auflage von 22 Stück gebaut wurde und bei einer Geschwindigkeit von bis zu 136 Stundenkilometern drei Personen befördern konnte. Doch an einem Herbsttag 1927 erteilte Focke, dem Sicherheit stets das oberste Gebot war, die erste Tragödie: Bei einem Testflug mit einem neuen Modell stürzte sein Partner Georg Wulf ab und starb noch am Unfallort. Nur wenige Jahre später folgte ein weiterer Rückschlag: Die Nationalsozialisten verdrängten Focke aus der Leitung seines eigenen Unternehmens, weil er sich weigerte, in den Serienbau von Kampfflugzeugen einzusteigen. Als Konstrukteur blieb er der Firma jedoch zunächst erhalten.

Wieder weitgehend auf sich allein gestellt, begann Focke damit, sich intensiv einer ungelösten Herausforderung der Luftfahrt zu widmen: der Entwicklung eines Fluggeräts, das senkrecht starten und landen kann. Zahlreiche Erfinder und Wissenschaftler hatten dies bereits versucht, allerdings waren ihre Modelle nicht praxistauglich. Während der Quadrocopter des Franzosen



33

32

In seinen Memoiren schrieb Henrich Focke, dass ihn schon als Kind „die Besessenheit, den menschlichen Flug verwirklichen zu wollen“, angetrieben habe. Hier zeigt er ein Modell seines ersten kommerziell erfolgreichen Hubschraubers, die FA 223, die ab 1939 gebaut wurde und erstmals über die Kapazität zum Transport von Lasten verfügte.

33

Das Unternehmen Focke-Wulf experimentierte auch mit sogenannten Entenflugzeugen, deren Rumpfaufbau umgedreht ist – sie scheinen in der Luft rückwärtszufliegen.

Meilensteine

1912

Focke und seinen Freunden Hans Kolthoff und Georg Wulf gelingt ihr erster Motorflug. Das mit einem 50-PS-Motor ausgestattete Fluggerät ist komplett selbst gefertigt und schafft anfangs 300 bis 500 Meter in bis zu fünf Metern Höhe.

1936

Mit der FW 61 hebt zum ersten Mal ein Hubschrauber ab, der senkrecht starten und in der Luft schweben kann. Luftfahrtpioniere wie Charles Lindbergh und Igor Sikorsky reisten nach Bremen, um die Entwicklung zu begutachten.

1937

Focke und sein neuer Kompagnon Gerd Achgelis gründen die Focke, Achgelis & Co. GmbH und entwickeln die FW 61 zur FA 223 weiter. Das Fluggerät mit dem Beinamen „Drache“ bleibt jahrelang der tragfähigste und schnellste Hubschrauber der Welt (Höchstgeschwindigkeit: 182 km/h). Den aktuellen Rekord hält der Eurocopter X3 von Airbus mit einer Geschwindigkeit von 472 km/h.

1938

Das Reichsluftfahrtministerium will der Bevölkerung die neue Technologie präsentieren und führt die FW 61 bei einer Revue in der Berliner Deutschlandhalle vor. Beim Publikum kommt die Flugshow nicht gut an, da der Hubschrauber ihnen viel Staub und kalte Luft ins Gesicht bläst.

1942

Der erste Prototyp der FW 61 wird in der Nacht vom 3. auf den 4. Juni bei einem Bombenangriff auf das Bremer Werk von Focke und Achgelis zerstört. Der zweite Prototyp, mit dem mehrere Flugrekorde aufgestellt wurden, wird zuletzt in Ochsenhausen bei Biberach gesehen, ehe sich gegen Kriegsende die Spur verliert.

1963

Nach rund zweijähriger Arbeit stellt Focke seinen Windkanal fertig, in dem er unter anderem aerodynamische Studien zur Stabilität von Hubschraubern betreibt.



Étienne C hmichen beispielsweise wegen seiner vier Haupt- und fünf Hilfsrotoren zu aufwendig zu betreiben war, benötigte der „Autogiro“ des Spaniers Juan de la Cierva zu viel Anlauf beim Start.

Zweiter Prototyp bricht alle Rekorde

Focke wollte dafür eine Lösung finden. In einem stetigen Wechsel aus wissenschaftlicher Berechnung und praktischer Erprobung konstruierte er zwischen 1935 und 1937 mit der FW 61 eine Maschine, die zwar optisch noch eher einem Flugzeug ähnelte, aber letztlich als erster funktionierender Hubschrauber in die Geschichtsbücher einging. Links und rechts vom Rumpf waren auf Auslegern zwei gegenläufig drehende Dreiblatt-Rotoren angebracht, die für den Auftrieb sorgten und deren Drehmomente sich gegenseitig aufhoben. Ein 160-PS-Motor sorgte für den Antrieb, Flugwinkel und -richtung steuerte der Pilot über die Neigung der Rotorblätter. Am 26. Juni 1936 hob der Prototyp der FW 61 zu seinem Jungfernflug ab – und nur ein Jahr später brach die weiterentwickelte Version FW 61 V2 sämtliche bis dahin vorhandenen Weltrekorde für Drehflügler: So schaffte der Hubschrauber eine Entfernung von 80 Kilometern und übertraf damit nicht nur den vorherigen Rekord von 960 Metern bei Weitem, sondern erreichte erstmals eine Distanz, die den Hubschrauber als Verkehrsmittel interessant machte. Auch den H henrekord schraubte die V2 von anfänglichen 158 Metern auf 2.439 Meter drastisch nach oben.

Der technische Durchbruch war damit gelungen, aber die kommerzielle Nutzung wurde erst mit einer weiteren Entwicklungsstufe attraktiv: Die 1939 erstmals erprobte FA 223 war in der Lage, Lasten zu transportieren. Der Fachwelt war sofort klar, welch bahnbrechende Erfindung Henrich Focke gelungen war. Auch die Nationalsozialisten erkannten, dass sich der Hubschrauber vielfältig – und damit auch militärisch – einsetzen ließ: beispielsweise zur Bergung

abgeschossener Flugzeuge oder zum Transport von Gebirgsgesch tzen. Einen Auftrag zur Serienfertigung konnten Focke und sein neuer Kompagnon Gerd Achgelis bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs aufgrund häufiger Bombenangriffe nur noch teilweise abarbeiten.

Als Hubschrauber-experte auch im Ausland gefragt

Nach Kriegsende arbeitete der Luftfahrt-pionier zunächst als Kriegsgefangener für die französische Regierung, ehe er private Aufträge als beratender Ingenieur in Großbritannien, den Niederlanden und Brasilien annahm. Schließlich kehrte er 1956 in seine Heimat zurück, um für den Bremer Autobauer Borgward einen kostengünstigen Hubschrauber zu entwickeln. Der „Kolibri“ sollte den Verkehr von der Straße holen und schneller sein als ein Auto, ging aber letzten Endes nicht in Serie, weil Borgward 1961 Konkurs anmelden musste.

Henrich Focke blieb als beratender Ingenieur der Luftfahrt treu und starb 1979 im Alter von 88 Jahren. Bis kurz vor seinem Tod forschte er regelmäsig in seinem Windkanal, doch zu welchen Ergebnissen er dabei kam, ist nicht bekannt. Eindringendes Regenwasser zerstörte in den Folgejahren, in denen der Schuppen ungenutzt blieb, fast alle seine Unterlagen. „Wir wissen nur, dass seine Formeln die Tragfl chenentwicklung des A380 von Airbus entscheidend beeinflusst haben“, berichtet der Ingenieur Kai Steffen, der das flugtechnische Labor 1998 wiederentdeckte, nachdem er Fockes Memoiren gelesen und dessen Familie kontaktiert hatte. Anschließend renovierte er den Windkanal, sodass er heute für die Öffentlichkeit zugänglich ist und für Messungen genutzt werden kann.



36

34

Die Testpilotin Hanna Reitsch führte den Hubschrauber FW 61 im Rahmen einer Revue in der Berliner Deutschlandhalle vor.

35

Henrich Focke testete zunächst ein Modell, ehe er den FW 61 in Lebensgr e fertigte. Eine maßstabsgetreu nachgebaute Version des Modells startete der Flugzeugbauer Wilhelm Brinkmann 2011 in den Räumlichkeiten des Focke-Windkanals.

36

Im Zweiten Weltkrieg produzierte Focke-Wulf auch Kampfflugzeuge im Auftrag der Nationalsozialisten – hier ein Blick ins Cockpit der FW 190.



Bakterien im Einsatz gegen Schwermetalle

Die Gymnasiasten Lisa Schuchhardt und Maximilian Seidel haben ein Verfahren zur Sanierung belasteter Böden entwickelt, mit dem sie ein Naturschutzgebiet in der Nähe ihres Heimatortes in Sachsen-Anhalt retten wollen. Ihre Forschungsarbeit wurde mit dem Bundessieg bei „Jugend forscht“ belohnt und könnte als Vorbild für andere ehemalige Industriegebiete dienen.

Text › Insa Lohmann

Die Region Bitterfeld war seit Mitte des 19. Jahrhunderts ein wichtiges Zentrum des Bergbaus und der chemischen Industrie, litt aufgrund der Emissionen allerdings bis in die 1990er-Jahre hinein unter erheblichen Schadstoffbelastungen. Ein Bakterium soll jetzt helfen, die Böden zu sanieren: Mit Unterstützung von *Aneurinibacillus migulanus* wollen Maximilian Seidel (20) und Lisa Schuchhardt (19) das Naturschutzgebiet Salegaster Aue retten. „Der Boden dort ist durchsetzt mit Schwermetallen wie Blei“, erklärt Lisa Schuchhardt. Das Gift hindere die Wurzeln der Bäume am Wachsen, sodass sie manchmal ohne äußere Einwirkung einfach umfielen, erzählt sie. Die Idee zum Projekt kam Maximilian Seidel bei einem Austauschjahr in den USA. Er lebte dort in einer Bergbauregion und durfte aufgrund von Altlasten nicht in den kontaminierten Seen baden. Nach der Rückkehr gewann er seine Mitschülerin für das Vorhaben, etwas gegen ähnliche Umweltschäden in Bitterfeld zu unternehmen. Auf der Suche nach einer Lösung entnahmen sie zunächst Bodenproben und entdeckten darin eiweißhaltige Bakterien. „Und Eiweiß kann Blei binden“, wusste Lisa Schuchhardt.

Die Gymnasiasten beobachteten daraufhin den Einfluss der eiweißhaltigen Bakterienart *Aneurinibacillus migulanus*, die sie in ihren

Bodenproben gefunden hatten, auf die Entwicklung von Pflanzen, indem sie Bohnen und Kresse auf Böden mit verschiedenen Eigenschaften aussäten. Sie stellten fest: Dort, wo die Bakterien in großer Zahl im Erdreich vorhanden waren, wurden die Pflanzen grün, während die anderen verkümmerten. Daraus schlossen sie, dass die Salegaster Aue durch eine dichte Besiedelung mit *Aneurinibacillus migulanus* gerettet werden könnte.

„Diese biologische Sanierung wäre eine einfache und kostengünstige Methode“, betont Maximilian Seidel. Er und Lisa Schuchhardt wurden im vergangenen Jahr beim Wettbewerb Jugend forscht gemeinsam zu Bundessiegern gekürt. Die beiden hatten neben ihren Forschungsergebnissen auch eine Kostenkalkulation für eine mögliche Massenproduktion des Bakteriums vorgelegt. Mittlerweile haben sie sogar ein Patent für ihre Idee angemeldet. Sobald es ihnen erteilt wird, wollen sie *Aneurinibacillus migulanus* in den Kampf gegen die Umweltgifte schicken, allerdings kann die Prüfung des Patentantrags zwei Jahre dauern. In der Zwischenzeit suchen die beiden Jungforscher, die mittlerweile Biologie (Seidel) und Wirtschaftsingenieurwesen (Schuchhardt) studieren, ein Unternehmen, das die Bakterien in großer Menge züchtet und in der Fläche verbreiten kann.

Internationale Branchenkompetenz – Brunel vor Ort



16.–18. Juni 2015: Automotive Testing Expo Stuttgart

Die Automotive Testing Expo Europe fokussiert sich auf Qualität, Sicherheit und Zuverlässigkeit von Fahrzeugen. Auch Brunel ist vor Ort und präsentiert sein Leistungsspektrum für die Automobilindustrie in Halle 1, Stand 1268. Fordern Sie gerne kostenlose Eintrittskarten bei uns an.

www.testing-expo.com/europe



15.–18. September 2015: Husum Wind

Auf der Fachmesse Husum Wind stellt Brunel seine umfangreichen Kompetenzen in dieser Zukunftsbranche vor – sowohl Onshore als auch Offshore (Messestand 4D09).

www.husumwind.com



28. Juli – 2. August 2015: Formula Student Germany am Hockenheimring

Auch in diesem Jahr unterstützt Brunel als Sponsor des Events sowie einzelner Rennteams die Formula Student Germany 2015. Verfolgen Sie das Rennen auf dem Hockenheimring, wenn unsere Teams um den Sieg kämpfen.

www.formulastudent.de



27. Juni 2015: Volvo Ocean Race Göteborg

Erleben Sie die einzigartige Atmosphäre, wenn die sechs Segelteams des Volvo Ocean Race nach neun Monaten bei dem letzten Innenhafenrennen in Göteborg gegeneinander antreten. Seien Sie live dabei und feuern Sie das Team Brunel an!

www.volvooceanrace.com

Impressum

Redaktionsanschrift

Brunel GmbH | Redaktion Der Spezialist
Franz-Rennefeld-Weg 4 | 40472 Düsseldorf
der-spezialist.de@brunel.net
T +49 211 695 600-43

Herausgeber und Erscheinungsweise

Brunel GmbH / 2 Ausgaben pro Jahr, Auflage 28.000 Stück

Verantwortlicher Redakteur (v.i.S.d.P.)

Johan Arie van Barneveld, CEO, Brunel International N.V., Brunel GmbH

Redaktion und Gestaltung

GfG / Gruppe für Gestaltung GmbH, Bremen

Fotografie (Copyrights)

Sofern nicht abweichend, alle Angaben als Bildnummern:

GfG / Gruppe für Gestaltung (Titel, S.3, S.4, S.5, 01–03, S.9, S.10, S.21, 17-18, S.32–35, S.44, 28–30, S.47), Team Brunel Photos (S.5, 10, 12, 14–16), dpa Picture-Alliance (S.5, 23, S.36, 25, S.42, S.48, S.49, 34), Brunel Communications, Hildesheim (S.9, 05–07), ThinkStock (04), Carbon Engineering Kanada (S.12, 08–09), Eliza Grinnell, Harvard SEAS (S.15), Sander van der Borch (11), Getty Images (13, 19–20, S.37, 26, S.42, S.43, 32–33, 36), Oliver Sterk (S.24), Wikimedia Commons (21, S.48), Ubimax GmbH (22), Fred Rollison Photography, BMW Group (24), Caño Cristales (S.37), laif Agentur für Photos & Reportage GmbH (S.37), AP Images (27), Plastic Logic Germany (28), NASA Wikimedia (29), ddp images (S.42, S.43, 35), Reimelt GmbH/Stefan Stark PhotoProduction (31), Dirk Mahler (S.54)

Druck

Druckerei Girzig + Gottschalk GmbH, Bremen

Brunel



INFOPOST
Ein Service der Deutschen Post

ALLEMAGNE Port payé

Brunel GmbH | Franz-Rennefeld-Weg 4 | 40472 Düsseldorf

Brunel GmbH
Franz-Rennefeld-Weg 4
40472 Düsseldorf

T +49 211 695 600-43
brunel.de
der-spezialist.de@brunel.net