

The background of the cover is a satellite image of a coastline, likely the Gulf of Mexico. The land is highlighted in a vibrant red, while the surrounding water is in shades of blue. White clouds are scattered across the water. The overall aesthetic is high-tech and scientific.

JÖRG RÖMER UND
CHRISTOPH SEIDLER (HG.)

VON OBEN

DIE SCHÖNSTEN
GESCHICHTEN,
DIE SATELLITENBILDER
ÜBER DIE ERDE UND
UNS MENSCHEN
ERZÄHLEN

DVA

SPIEGEL
Buchverlag

Jörg Römer und Christoph Seidler (Hg.)

Von oben

Jörg Römer und Christoph Seidler (Hg.)

Von oben

Die schönsten Geschichten,
die Satellitenbilder über die Erde
und uns Menschen erzählen

Ein SPIEGEL-Buch mit Beiträgen von Susanne Götze, Julia Köppe,
Matthias Maurer, Julia Merlot, Jörg Römer, Christoph Seidler

Deutsche Verlags-Anstalt



Tarawa, das Hauptatoll der Republik Kiribati im Pazifik

Inhalt

Über dieses Buch	7
Geleitwort von Esa-Astronaut Matthias Maurer	9
Die Welt im Blick – Wie Satelliten vom Werkzeug der Spione und Militärs zum Pulsmesser der Erde wurden	13
1 Stadt, Land, Fluss – Das wundersame Antlitz der Welt	30
2 Die sieben Weltmeere – Wo die wilden Wellen wogen	108
3 Wie im Urlaub – Die schönsten Orte des Planeten	138
4 Achtung, Achtung – Hier droht Gefahr	190
5 Bleibt alles anders – Wie der Mensch die Erde prägt	222
Dank	285
Bildnachweis	287

Sollte diese Publikation Links auf Webseiten Dritter enthalten,
so übernehmen wir für deren Inhalte keine Haftung,
da wir uns diese nicht zu eigen machen, sondern lediglich
auf deren Stand zum Zeitpunkt der Erstveröffentlichung verweisen.



Penguin Random House Verlagsgruppe FSC® N001967

1. Auflage

Copyright © 2021 by Deutsche Verlags-Anstalt, München
in der Penguin Random House Verlagsgruppe GmbH,
Neumarkter Straße 28, 81673 München,
und SPIEGEL-Verlag Rudolf Augstein GmbH & Co. KG,
Ericusspitze 1, 20457 Hamburg

Umschlaggestaltung: Büro Jorge Schmidt

Umschlagabbildung: © contains modified Copernicus Sentinel data (2019),
processed by ESA, CC BY-SA 3.0 IGO; <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>

Satz: DVA/Andrea Mogwitz

Repro, Druck und Bindung: Mohn Media Mohndruck GmbH

Printed in Germany

ISBN 978-3-421-04891-2

www.dva.de

Über dieses Buch

Das »Satellitenbild der Woche« erscheint jeden Montag auf SPIEGEL.de. Es ist die älteste Kolumne des Wissenschaftsressorts auf Deutschlands großer Nachrichtenwebseite. Auf die Idee, einmal pro Woche ein Bild zu präsentieren, das allein schon wegen seiner einzigartigen Optik die Neugier der Leserinnen und Leser weckt, kam vor vielen Jahren der damalige Ressortleiter Markus Becker.

Jedes Mal, wenn die Redakteurinnen und Redakteure seither nach einer Aufnahme aus dem All fahnden, unternehmen sie eine kleine Reise. Natürlich schickt der SPIEGEL seine Mitarbeiter nicht wöchentlich auf Satellitenbild-Recherche rund um die Welt. Aber zumindest in Gedanken hat sich wohl jeder von uns, die im Wechsel die Texte zu den Satellitenbildern schreiben, schon einmal vom Schreibtisch auf und davon gemacht. Die ungewöhnlichsten und manchmal auch schönsten Orte der Erde aus dem All zu sehen, weckt einfach das Fernweh.

Und nun können Sie mit uns auf Reisen gehen. Die Idee zu diesem Buch entstand, als wir, die Wissenschaftsredakteure Christoph Seidler und Jörg Römer, darüber nachdachten, wie lange es die Rubrik schon gibt und wie viele unterschiedliche Bilder schon vorgestellt wurden. Wir beide fungieren bei »Von oben« nun als Herausgeber und Autoren. Doch im Grunde steht hinter diesem Buch das gesamte Wissenschaftsressort des SPIEGEL. Dass die Redakteurinnen Julia Merlot, Julia Köppe und Susanne Götze, die auch einige ihrer Texte zu dem Projekt beigesteuert haben, nicht auf dem Cover stehen, liegt eher an Platzgründen. Wir möchten diesen drei Kolleginnen an dieser Stelle ausdrücklich

unseren herzlichsten Dank aussprechen, ebenso allen anderen, die an diesem Buch beteiligt waren.

Wir Herausgeber haben mehr als 50 besonders faszinierende Aufnahmen aus dem All und deren Geschichten ausgewählt. Manche davon wurden bereits in der Kolumne veröffentlicht, andere haben wir exklusiv für dieses Buch geschrieben.

Uns fasziniert die wunderbare Vielfalt der Bilder. Eigentlich kann man fast jede Geschichte mit einer Aufnahme aus dem All erzählen: Egal, ob es um Umweltzerstörung im Amazonas geht, die Narben auf einem Atomtestgelände im Westen der USA oder riesige Braunkohlelitagebaue in Brandenburg.

Die fünf Kapitel des Buches fassen die Geschichten der Bilder thematisch zusammen. Mal geht es einfach um Traumziele, an denen wohl jeder gerne Urlaub machen möchte. Mal geht es um die Meere, die den größten Teil unserer Erde bedecken. Und in einem weiteren Kapitel widmen wir uns Satellitenbildern von besonderen Städten und Flüssen. Welche Kräfte die Natur entwickeln kann, wie Erdbeben oder Vulkanausbrüche das Antlitz der Erde prägten und wie dies aus dem Orbit gut sichtbar ist, zeigt ein weiterer Teil dieses Buches. Im letzten Abschnitt geht es um den Menschen, der auf der Erde längst deutlich sichtbare Spuren hinterlassen hat.

Wenn Sie nun durch die Bilder und Geschichten in diesem Buch stöbern und sie hoffentlich genießen, müssen Sie sich keinesfalls an die Reihenfolge halten. Blättern Sie am besten einfach ganz nach Interesse durch und lesen dort, wo Ihnen ein schönes Bild ins Auge sticht. In diesem Sinn wünschen wir viel Spaß beim Bestaunen der Eindrücke unserer Erde von oben.

Jörg Römer und Christoph Seidler

Geleitwort

von Esa-Astronaut Matthias Maurer

Die Worte des ersten Menschen im All sind legendär und begeistern mich bis heute: »Ich sehe die Erde! Sie ist so wunderschön!«, beschrieb Juri Gagarin am 12. April 1961 das, was nach ihm auch viele andere Raumfahrerinnen und Raumfahrer berichteten. Aus der Erdumlaufbahn sehen wir eindrücklich, wie verwundbar unsere Erde ist, wie fragil die sie umgebende Lufthülle – und wie sehr wir Menschen auf unseren Heimatplaneten achtgeben müssen. Zu einem Gefühl der Demut kommt eine große Verantwortung. Was man dagegen nicht sieht, sind menschengemachte Grenzen, wirtschaftliche oder politische Machtblöcke.

»Overview-Effekt« nennt man das Phänomen, wonach der Aufenthalt im All die Perspektive auf die Erde und die darauf lebende Menschheit tiefgreifend verändert. Viele Raumfahrerinnen und Raumfahrer haben mir schon davon berichtet, wie sie der Blick auf die kleine blaue Kugel jeden Tag aufs Neue bewegt hat, so auch mein Kollege Alexander Gerst.

Ich hoffe sehr darauf, diesen besonderen Blick in Kürze ebenfalls genießen zu können: Als Astronaut der Europäischen Weltraumorganisation Esa werde ich, wenn alles nach Plan läuft, im Herbst 2021 in einer Kapsel des US-Unternehmens SpaceX zur Internationalen Raumstation ISS fliegen und dort meinen französischen Kollegen Thomas Pesquet ablösen. Das ist die Erfüllung meines Traums, auf den ich viele Jahre

hingearbeitet habe. Wenn dieses Buch in den Druck geht, bin ich bei den finalen Reisevorbereitungen. Wenn Sie es lesen, befinde ich mich hoffentlich auf der Raumstation.

Meine Mission trägt den Namen »Cosmic Kiss«. Ich möchte damit auf die Bedeutung der ISS als Bindeglied zwischen den Bewohnern der Erde und dem Universum aufmerksam machen, auf den Wert der partnerschaftlichen Erkundung des Alls – und vor allem darauf, wie lebenswichtig im wahrsten Sinne des Wortes ein respektvoller und nachhaltiger Umgang mit unserem Heimatplaneten für uns ist.

Einmal die Erde von ganz weit oben sehen zu dürfen, ist ein immenses Privileg. Dessen bin ich mir sehr bewusst. Auf der Raumstation gibt es dafür einen ganz besonderen Aussichtspunkt: das in Europa gebaute Cupola-Modul. Dort ermöglichen gleich sieben Fenster einen Rundumblick auf unseren Planeten, das größte von ihnen hat einen Durchmesser von 80 Zentimetern. Ich werde wohl viel Zeit dort verbringen, so wie es zahlreiche Kolleginnen und Kollegen schon getan haben. Und ich werde einfach staunen. Ein paar Fotos werde ich wohl auch machen, vielleicht findet sich ja eines davon in der nächsten Ausgabe dieses Buches.

Den unmittelbaren, sinnlichen Eindruck, sich jenseits unserer Erde zu befinden, sie von oben bestaunen zu können – das ist nur wenigen Menschen vergönnt. Doch ich glaube, dass man den Overview-Effekt im Grunde genommen auch erleben kann, ohne ins All zu fliegen: indem man sich in die Bilder der zahlreichen Erdbeobachtungssatelliten vertieft, von denen sich mehr als 50 besonders faszinierende in diesem Band finden.

Wer die dazugehörigen Geschichten liest, lernt abgelegene Orte kennen, wie die antarktische Insel Südgeorgien oder die Vulkaninseln der Kapverden vor der Nordwestküste Afrikas. Er erfährt, was ein Wüstental in Israel mit meinem verstorbenen Astronautenkollegen Ilan Ramon zu tun hat, und lernt, wie Asteroiden in Kanada, aber auch in Deutschland Narben in die Kruste unserer Erde geschlagen haben.

Die Leserinnen und Leser bekommen aber auch mit, wie sehr wir Menschen unseren Planeten längst prägen. Das zeigen Bilder von riesi-



Matthias
Maurer

gen Fischfangflotten auf Asiens Meeren, abgeholzten Regenwaldgebieten in Südamerika oder riesigen Braunkohletagebauen in unserem eigenen Land.

Nicht zuletzt europäische Satelliten liefern jeden Tag aufs Neue riesige Mengen an aktuellen Erdbeobachtungsdaten. Das von Esa und Europäischer Union getragene »Copernicus«-Programm ist das ambi-

tionierteste Erdbeobachtungsprogramm aller Zeiten. Besonders interessant ist dabei, dass die Daten der »Sentinel«-Satelliten für jedermann zugänglich sind. Und ein halbes Dutzend neuer fliegender Observatorien ist gerade in der Entwicklung, nicht zuletzt auch in Deutschland. Bis zum Ende des Jahrzehnts sollen insgesamt rund 30 »Sentinel«-Satelliten im Orbit sein. Dann wird es eine ganze Fülle neuer Messdaten geben, unter anderem zum Treibhausgas Kohlendioxid, zu den Oberflächentemperaturen der Erde oder zum Zustand des polaren Meereises.

Die Erde dauernd im Blick zu haben, das bedeutet auch: Das wichtigste Ziel der Raumfahrt sind keine fernen Himmelskörper, es ist immer unser eigener Planet. Und dennoch: In den kommenden Jahren werden wir Menschen uns spannende kosmische Reiseziele suchen. Wir werden zum Mond zurückkehren, der sich übrigens auch im Logo meiner Mission findet: Ein menschlicher Herzschlag verbindet in der Darstellung Erde und Mond, dazwischen fliegt die Internationale Raumstation in Herzform. Und wir werden unsere Blicke auf den Mars richten, ein faszinierendes Reiseziel! Doch so spannend diese Plätze sind, so viel wir an diesen fernen Orten lernen und entdecken können, dürfen wir eines nicht vergessen: Unser Zuhause in diesem unendlich großen, wunderbaren Kosmos ist und bleibt die Erde.

Entscheidend helfen uns dabei die Erdbeobachtungssatelliten, die unserem Planeten den Puls fühlen. Mit der Beobachtung ist es aber nicht getan. Die faszinierenden Bilder und Messergebnisse allein lösen keine Probleme. Um die Erde zu schützen, dürfen wir sie nicht nur bestaunen. Wir müssen auch, jeder auf seine Art, in diesem Sinne handeln. Auch daran soll dieses Buch erinnern. Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Entdecken!

Ihr Matthias Maurer

Die Welt im Blick

Wie Satelliten vom Werkzeug der Spione und Militärs zum Pulsmesser der Erde wurden

Die Luft am Startkomplex 17A bebt an diesem Morgen des 7. August 1959. Von der Cape Canaveral Air Force Station in Florida steigt unter großem Getöse eine »Thor Able«-Rakete in den Himmel, so wie sie es in den vergangenen Monaten schon mehrmals getan hat. Nach einigen peinlichen Rückschlägen zu Beginn des Programms ist der rund 30 Meter lange, dreistufige Träger zu einem einigermaßen zuverlässigen Weltraum-Transportvehikel geworden.

Zwei Jahre zuvor hat ein Piepen aus dem All die amerikanischen Weltraumexperten aufgeschreckt, nein, eigentlich die ganze westliche Welt. Es stammte vom sowjetischen Satelliten »Sputnik 1«, der ab dem 4. Oktober 1957 einmal alle 96 Minuten die Welt umrundete und Kurzwellensignale aus dem All funkte. Das Gerät sandte zwar nur Radiosignale aus, es zeigte den Amerikanern aber, wie verwundbar sie gegenüber möglichen Angriffen aus dem Weltraum waren – und wie schwach die eigenen Leistungen im Bereich der Raumfahrt bis zu diesem Zeitpunkt ausfielen.

Der »Sputnik-Schock« saß tief. Zum ersten Mal hatten Menschen einen Satelliten ins All geschossen. Dass die Sowjets damit ein ganz neues Zeitalter beginnen würden, war ihnen damals möglicherweise noch gar nicht bewusst. Heute schwirren Tausende Satelliten aus vielen Nationen auf Umlaufbahnen um unseren Planeten. Und beinahe wöchentlich kommen neue hinzu, bald werden es Zehntausende sein.



Start des US-Satelliten »Explorer 6« am 7. August 1959

Die meisten Satelliten betreiben derzeit die USA. Das war in den Fünfzigerjahren noch nicht zu ahnen. Zumal die Sowjets im November 1957 sogar das erste Lebewesen ins All geschossen hatten: die Hündin Laika, die in ihrer Kapsel qualvoll an Stress und Hitze verendete, wie später bekannt wurde. Das Satellitenprogramm der Amerikaner nahm dagegen nur langsam Fahrt auf. Der Start des ersten eigenen Satelliten, »Vanguard TV-3«, floppte Ende 1957 vor den Augen der Öffentlichkeit: Die Rakete explodierte noch auf der Startrampe.

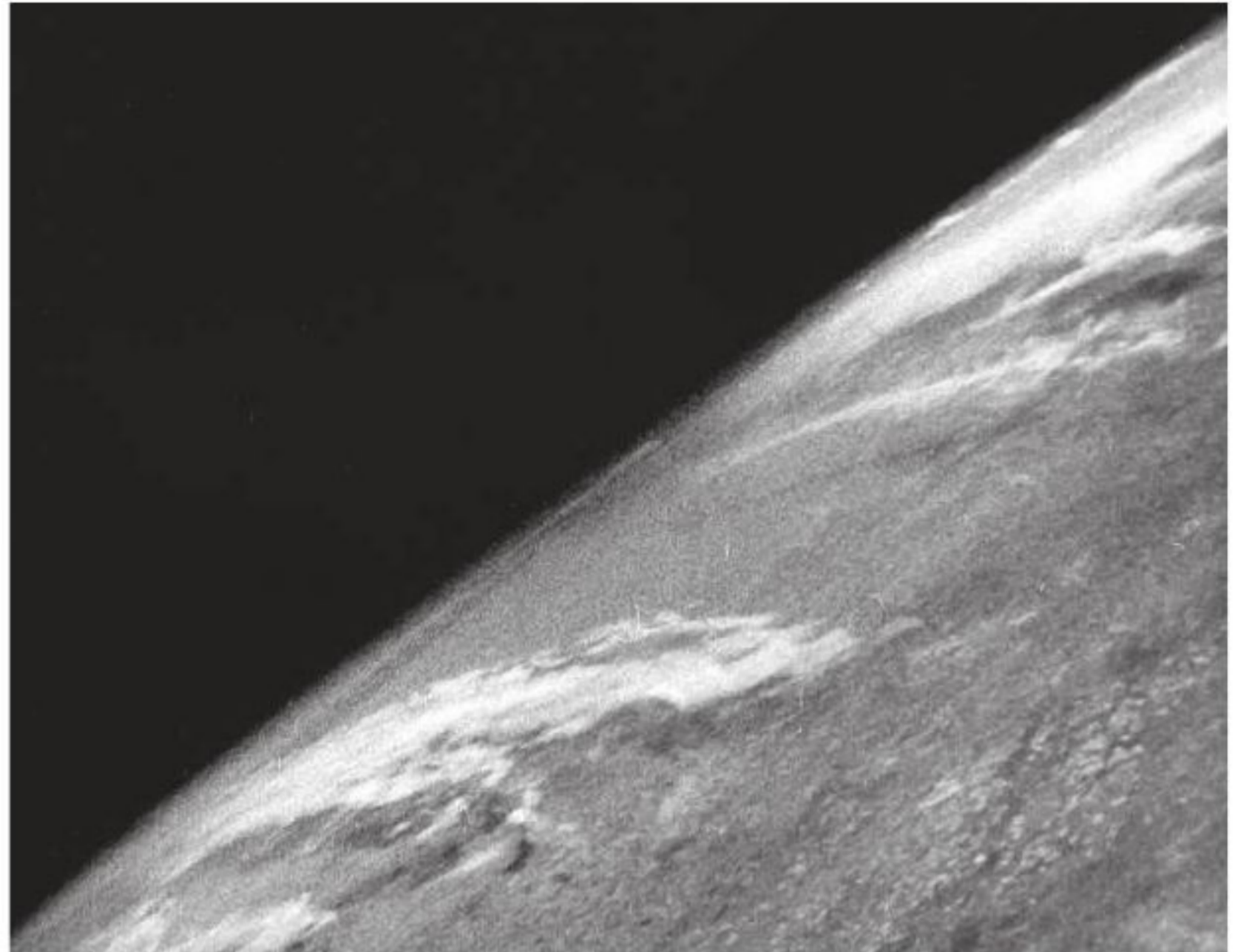
Im Februar 1958 stieg der erste US-Satellit in den Orbit, der an einen riesigen Bleistift erinnernde »Explorer 1«, damals noch unter Federführung des Militärs. Im Oktober 1958 nahm dann die zivile Weltraumbehörde Nasa den Betrieb auf.

Die Bilanz des »Explorer«-Programms war durchwachsen: Die Mis-

sionen drei und vier verliefen erfolgreich, während die zweite und die fünfte scheiterten. »Explorer 6« musste 1959 wieder ein Erfolg werden. Der Satellit würde auf einer extrem elliptischen Umlaufbahn ausgesetzt werden und käme der Erde an einem Punkt bis auf rund 240 Kilometer nahe, würde sich andererseits aber auch rund 42 000 Kilometer von ihr entfernen.

An Bord des kleinen, kugelförmigen Satelliten war ein Gerät, das Geschichte schreiben sollte: »Explorer 6« würde nicht nur das Magnetfeld der Erde vermessen, so der Plan, sondern auch die ersten Bilder unseres

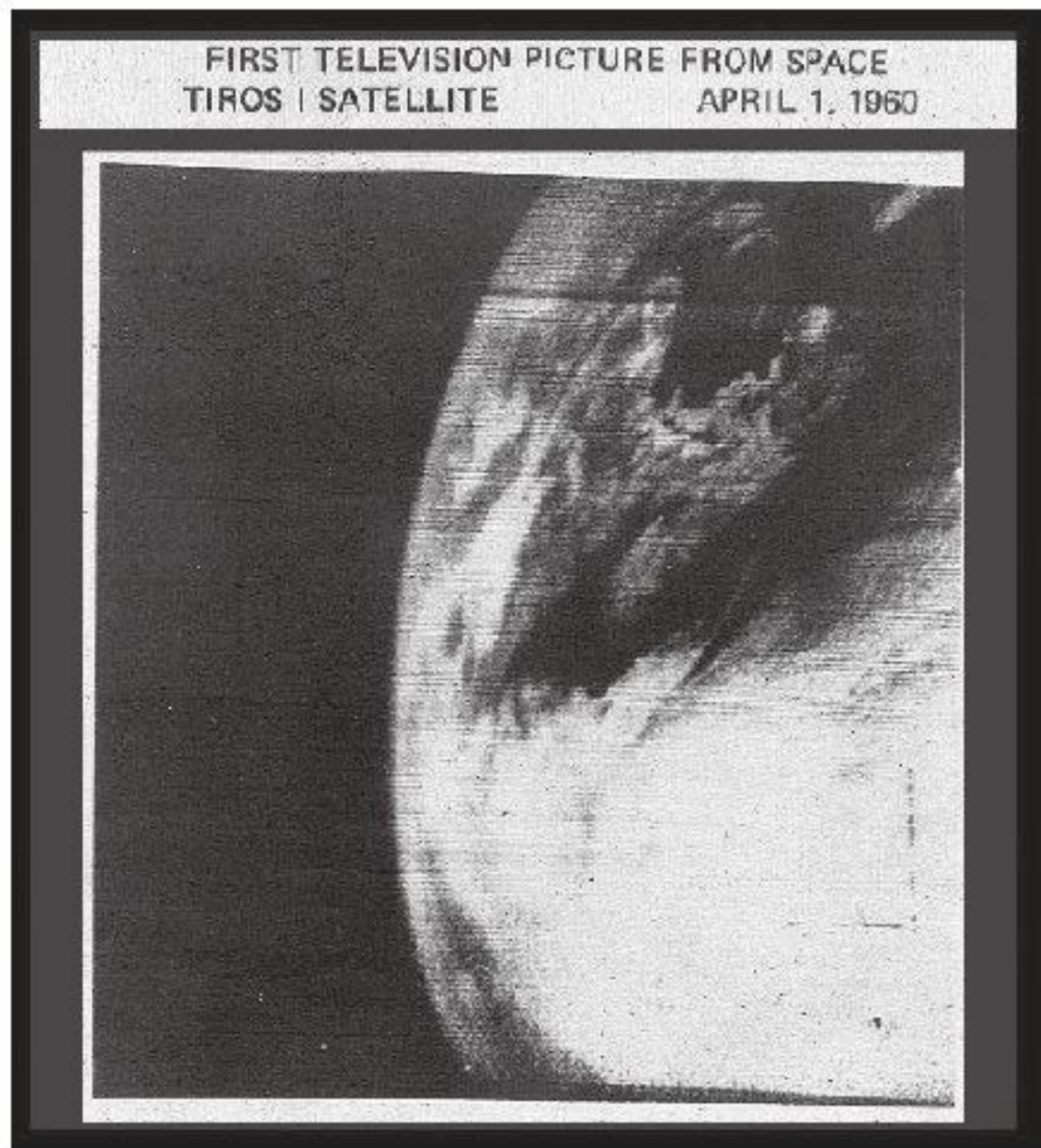
Das erste Foto
der Erde aus
dem All



Planeten aus der Umlaufbahn senden. Schon zwölf Minuten nach dem Start fing das riesige Radioteleskop Jodrell Bank im britischen Manchester tatsächlich die Signale des Satelliten auf. Zwar hatte sich eines der Solarpaneele für die Energieversorgung nicht entfaltet, doch sein Bild konnte er machen.

Bis der Satellit es schickte, verging aber noch einige Zeit: Am 14. August 1959, also eine Woche nach dem Start, »Explorer 6« war gerade hoch über Mexiko unterwegs, wurde schließlich eine kleine Fernsehkamera an Bord angeschaltet. Über 40 Minuten scannte sie den Boden. Weil sich der Satellit währenddessen drehte, ging das nur nach und nach. Die Daten wurden dann zu einer Bodenstation auf Hawaii geschickt. Dort wurden die Informationen gespeichert und die Datenträger schnellstmöglich zur Weiterverarbeitung nach Los Angeles gebracht.

Das Ergebnis war ein Bild von Wolkenformationen über dem Pazifik. Es wurde auf einer Pressekonferenz am 28. September 1959 vorgestellt. Ästhetisch macht die Schwarz-Weiß-Aufnahme aus rund 30 000 Kilome-



Aufnahme des Wettersatelliten »Tiros 1« vom 1. April 1960

tern Höhe weniger. Auch der wissenschaftliche Wert dürfte überschaubar gewesen sein. Ein Foto der Erde, das eine »V2«-Rakete schon 13 Jahre zuvor aufgenommen hatte, war deutlich detaillierter gewesen. Diese erreichte allerdings nicht den Erdorbit, und somit war das Bild von »Explorer 6« das erste Satellitenfoto der Weltgeschichte.

Weitere Daten, die der Satellit noch geliefert hatte, wurden dagegen nicht einmal mehr zu Bildern zusammengesetzt. Die Amerikaner hatten etwas vorzuweisen im »space race«. Allein das zählte. Wen interessierte es da, dass die erste Aufnahme ziemlich mau aussah?

Auf »Explorer 6« folgten bald schon weitere, leistungsfähigere Satelliten zur Erdbeobachtung. Die Menschheit bekam mit »Tiros 1« im Frühjahr 1960 die ersten Live-Fernsehbilder aus dem All. Doch nicht nur das: Innerhalb von zweieinhalb Monaten lieferte das fliegende Observatorium rund 23 000 Fotos unseres Planeten. Und etwa 19 000 davon konnten für die Wettervorhersage eingesetzt werden. Erstmals war es damit möglich, komplette Wolkensysteme und Stürme im Blick zu haben. Diese Nutzung von Satelliten mag uns heute selbstverständlich erscheinen. Damals war sie eine Sensation: Die Weltraumtechnik hatte bewiesen, dass sie auch ganz praktischen Nutzen für die Erde bringen konnte. Sie war nicht mehr nur ein teures Spielzeug von Militärs und Wissenschaftlern.

Außerdem ließen die Fotos aus dem All die Menschen staunen, so zum Beispiel im Mai 1966, als ein sowjetischer »Molnija-1«-Satellit das erste Foto der gesamten Erde machte und zur Erde schickte, zunächst



Der erste deutsche Forschungssatellit »Azur« vor dem Start

noch als Schwarz-Weiß-Bild. Das erste Farbfoto dieser Art kam dann ein Jahr später vom US-Satelliten »Dodge«. In den USA druckte der Aktivist Stewart Brand, der sowohl in der Hippieszene von San Francisco als auch in der Tech-Community des Silicon Valley zu Hause war, ein Bild der Erde aus dem Weltraum auf den Titel seines ersten »Whole Earth Catalog«, der gleichsam einflussreiches Gegenkulturmagazin wie Shoppingkatalog war – und, wie Steve Jobs später feststellte, eine Art »Google in Paperback-Form«. Fotos unserer Heimat mit ihrer dünnen Lufthülle, die unser Schutz gegen die Lebensfeindlichkeit des Alls ist, halfen auch der sich bildenden Umweltbewegung an Popularität zu gewinnen. Wer weiß, wie die Erde von außen aussieht, kann sich besser vorstellen, was es heißt, dass wir sie nur von unseren Kindern geborgt haben.

Der erste deutsche Forschungssatellit »Azur« startete im November 1969 auf einer amerikanischen »Scout-B«-Rakete in Kalifornien. Ge-



Auf dem Bild des Satelliten »DSCOVR« ist die Seite des Monds zu erkennen, die wir von der Erde aus nie zu sehen bekommen.

steuert wurde er von der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt, inzwischen als Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) bekannt. Fotos gab es damals keine, dafür Untersuchungen zur kosmischen Strahlung.

Heute können wir tagesaktuelle Bilder unseres kompletten Planeten im Netz bewundern. Besonders faszinierend sind die hochauflösenden Fotos des »Deep Space Climate Observatory«, kurz »DSCOVR«. Dieser US-Satellit, das Projekt wurde Ende der Neunziger vom damaligen Vizepräsidenten Al Gore ins Leben gerufen, befindet sich im Abstand von 1,5 Millionen Kilometern zu uns. Er umrundet die Sonne synchron

mit der Erde. Besonders faszinierend sind dabei die Aufnahmen, bei denen sich von links nach rechts eine hellgraue Kugel mit dunkelgrauen Flecken durchs Bild schiebt: der Mond.

Neben Meteorologen und Geoforschern gab es schon in der Anfangszeit der Satelliten weitere Interessenten für diese Technologie: Militärs und Geheimdienste hatten schnell den Nutzen der fliegenden Augen erkannt. Aus dem Weltraum ließen sich ungekannte Informationen über Truppenstärke und -bewegungen der Gegenseite gewinnen, ließen sich neue technische Entwicklungen am Boden verfolgen und sogar Nuklearexplosionen nachweisen. Im Kalten Krieg konnte solches Wissen womöglich lebensrettend sein.

Gewiss, solche Informationen ließen sich zum Teil auch mit Flugzeugen beschaffen. Doch spätestens der Abschuss des US-Aufklärungspiloten Gary Powers mit seinem U2-Spionagejet über der Sowjetunion am 1. Mai 1960 zeigte klar auf, welche Vorteile weit jenseits der Atmosphäre arbeitende, unbemannte Späher boten. Die Bilder mochten zunächst vielleicht nicht so hoch aufgelöst sein wie Fotos von Flugzeugen aus – aber sie kamen unter geringerem Risiko zustande. Und die Satelliten schickten ständig Nachschub, wenngleich die Raumfahrtprogramme nicht eben billig waren.

Und so forschten sich die Supermächte aus, wo es nur ging: Die ersten Bilder der amerikanischen Spionagesatelliten »Corona« – ja, die hießen wirklich so – beziehungsweise »Keyhole« wurden auf Film gemacht, in kleinen Behältern in Richtung Erde abgeworfen und dort mit dem Flugzeug aufgefangen. Bis in die Siebziger wurde diese Technik genutzt, später wurden die Daten dann digital übertragen. Die Sowjets nutzten für ihre »Zenit«-Späher zunächst große Rückkehrkapseln, wie sie auch im bemannten Raumfahrtprogramm zum Einsatz kamen. Auch sie setzten später auf die drahtlose Übertragung.

Bereits im Jahr 1963 gelangen einem amerikanischen »KH-7 Gambit«-Satelliten Fotos der Erdoberfläche, auf denen selbst einen Meter kleine Objekte noch auszumachen waren. Der Satellit hatte gut 900 Meter Film an Bord. Seine Aufnahmen waren Verschlussache, erst 2002 wurden 19 000 Bilder freigegeben. Sie zeigen vor allem chinesische und

sowjetische Nuklearanlagen und Raketenstellungen, aber auch Städte und Häfen.

Doch man machte nicht nur Fotos: Satelliten fahndeten nach Raketenstarts im Feindesland, lauschten nach Funksignalen, spähten mit Radar sogar nachts und durch dicke Wolkendecken. Die Technik an Bord wurde immer ausgefeilter. Und das alles, so beteuerte US-Präsident Jimmy Carter bei seiner Rede zur Lage der Nation im Jahr 1980, nur mit den besten Absichten: »Fotoaufklärungssatelliten zum Beispiel sind enorm wichtig für die Stabilisierung des Weltgeschehens und leisten damit einen wesentlichen Beitrag zur Sicherheit aller Nationen.«

Nicht mehr allein die USA und Russland nutzen heute Aufklärungssatelliten, auch Länder wie Frankreich (»CSO«), Japan (»IGS«), China (»Yaogan Weixing«), Israel (»Ofeq«) und Deutschland (»Sar-Lupe«, soll zeitnah abgelöst werden durch »SARah«) setzen auf sicherheitskritische Informationen aus dem All. Wie diese Satelliten technisch im Detail funktionieren und was sie tatsächlich leisten können, darüber erfährt die Öffentlichkeit nur selten etwas. Auch was die mögliche Nutzung von Satelliten als Waffen im All angeht, fehlen belastbare Informationen.

Doch manchmal gibt es Momente, in denen die Welt zumindest einen kleinen Einblick in die Fähigkeiten der Spionagesatelliten erhält. Das war zum Beispiel Ende August 2019 der Fall. Und nicht etwa ein Whistleblower war verantwortlich dafür, sondern der damalige US-Präsident Donald Trump. Der Republikaner hatte ein hochauflösendes Foto einer Startanlage des Imam Khomeini Spaceport in der iranischen Provinz Semnan getwittert. Darauf waren die Reste einer »Safir«-Rakete zu sehen, die offensichtlich vor dem Abheben explodiert war. Hätte nicht der Commander-in-Chief, der oberste militärische Kommandant, höchstselbst die Aufnahme bekannt gemacht, hätten die Amerikaner ein Bild dieser Qualität und Schärfe kaum mit ihren Alliierten geteilt, geschweige denn veröffentlicht.

»Viele von uns Außenstehenden hatten ihre Vermutungen, aber in vielerlei Hinsicht geht dies weit über das hinaus, was die meisten angenommen hatten. Ich war überrascht von der Klarheit und den Details«, so

Analyst Brian Weeden von der US-Denkfabrik Secure World Foundation. Trump wollte nach eigenem Bekunden klarstellen, dass die Amerikaner nichts mit der Detonation der iranischen Rakete zu tun hatten.

Das von ihm veröffentlichte Foto zeigte, so das Urteil von Experten, Details bis zu einer Auflösung von zehn Zentimetern. Es belegte damit, mit welcher Präzision die US-Sicherheitsbehörden beinahe jeden Punkt der Erde fotografieren können. Außerdem ließ sich mit Hilfe der Schattenwürfe auf dem Bild und mit Informationen von Amateur-Astronomen rekonstruieren, dass die Aufnahme wohl mit dem im Januar 2011 gestarteten Spionagesatelliten »USA-224« gemacht wurde. Die technischen Fähigkeiten des milliardenteuren Gerätes waren bis dahin nicht öffentlich bekannt. Als sicher gilt jedoch, dass der Hauptspiegel an Bord einen Durchmesser von 2,4 Metern hat – damit ist er genauso groß wie der des »Hubble«-Weltraumteleskops. Nur dass die Spionagesatelliten eben nicht in die Tiefen des Alls spähen – sondern auf die Erde. Wobei Bilder, die vor wenigen Jahren nur Militärs und Mitarbeitern von Geheimdiensten vorbehalten waren, längst für uns alle erhältlich sind: Zahlreiche kommerzielle Anbieter betreiben mittlerweile Erdbeobachtungssatelliten, mit denen Fotos mit Auflösungen von teils weit unter einem Meter möglich sind.

Den Start in dieses Zeitalter markierte ein Schwarz-Weiß-Bild, das die »New York Times« am 13. Oktober 1999 in der linken oberen Ecke ihrer Titelseite abdruckte. Darauf zu sehen war ein Teil der US-Hauptstadt Washington in bisher nicht gekannter Auflösung, aufgenommen aus 680 Kilometern Höhe. Das Foto stammte vom Satelliten »Ikonos«, der im September des gleichen Jahres mit einer »Athena II«-Rakete von der Vandenberg Air Force Base in Kalifornien gestartet war. Betreiber des vom Rüstungs- und Technologiekonzern Lockheed Martin gebauten Gerätes war zunächst das Privatunternehmen Space Imaging, im Zuge von Übernahmen und Fusionen später auch die Firmen GeoEye und DigitalGlobe.

Innerhalb von 15 Jahren lieferte »Ikonos« – benannt nach dem griechischen Wort für »Bild« – nicht weniger als 597.802 öffentlich zugängliche Fotos. Die beste Auflösung lag dabei bei 82 Zentimetern. Zusam-



Rohöltanks in Cushing, US-Bundesstaat Oklahoma

mengenommen decken die Bilder 400 Millionen Quadratkilometer ab, vier Fünftel der Fläche der Erde. Der kommerzielle Pionier hat viel gesehen: die Rauchwolken über Manhattan nach dem Einsturz der Zwillingstürme des World Trade Center, von Erdstößen zerstörte Gebäude in Nepal, illegal abgeholzte Regenwaldflächen im Amazonas.

Aktuelle kommerzielle Erdbeobachtungssatelliten machen Aufnahmen mit einer Auflösung von 30 Zentimetern und weniger. Außerdem gibt es mittlerweile so viele von ihnen, dass Anbieter wie Planet, Digital Globe oder Airbus ihren Kunden eine Abdeckung beinahe in Echtzeit anbieten. So können Analysten anhand der Parkplatzauslastung vor großen Einkaufszentren nach Anzeichen für nachlassende Kaufkraft und damit eine schwächere Konjunktur suchen. Sie können durch den Schattenwurf der schwimmenden Deckel in den wichtigsten Öllagern auf deren Füllstand – und damit die Wirtschaftslage – schließen. Und wir alle nutzen das Bildmaterial in Kartendiensten wie Google Maps.

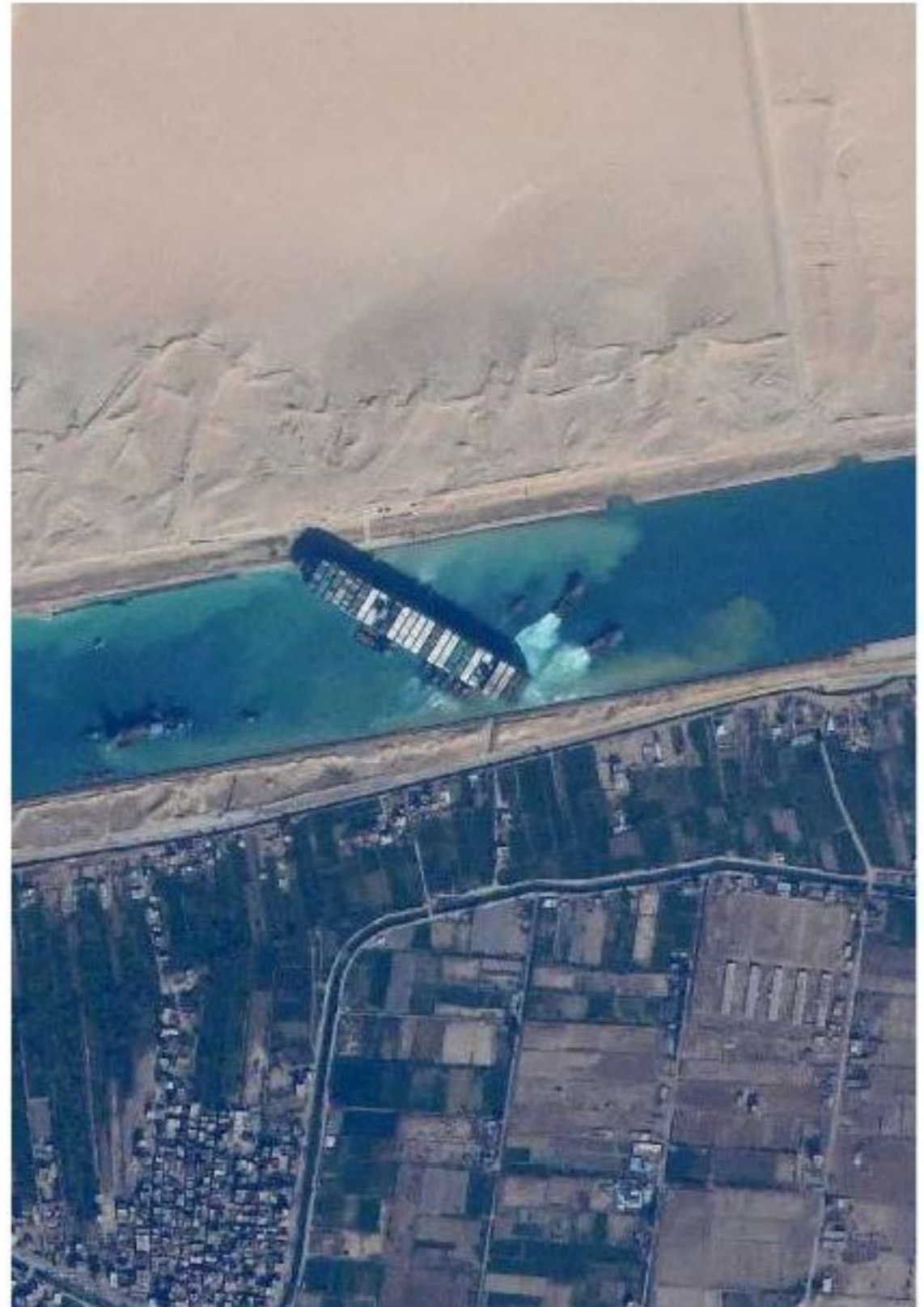
Wie leistungsfähig kommerzielle Erdbeobachtungssatelliten mittlerweile sind, zeigte sich exemplarisch im März 2021. Damals war der 400

Meter lange Containerfrachter »Ever Given« infolge eines Sandsturms im Suezkanal in Ägypten zunächst in den flachen Uferbereich gesteuert und dann dort stecken geblieben. Eine der wichtigsten Schifffahrtsrouten der Welt war für rund eine Woche blockiert. Hunderte Frachter stauten sich, globale Lieferketten waren unterbrochen. Die Arbeiten zum Flottmachen des Schiffes waren mühsam und zogen sich ein paar Tage hin.

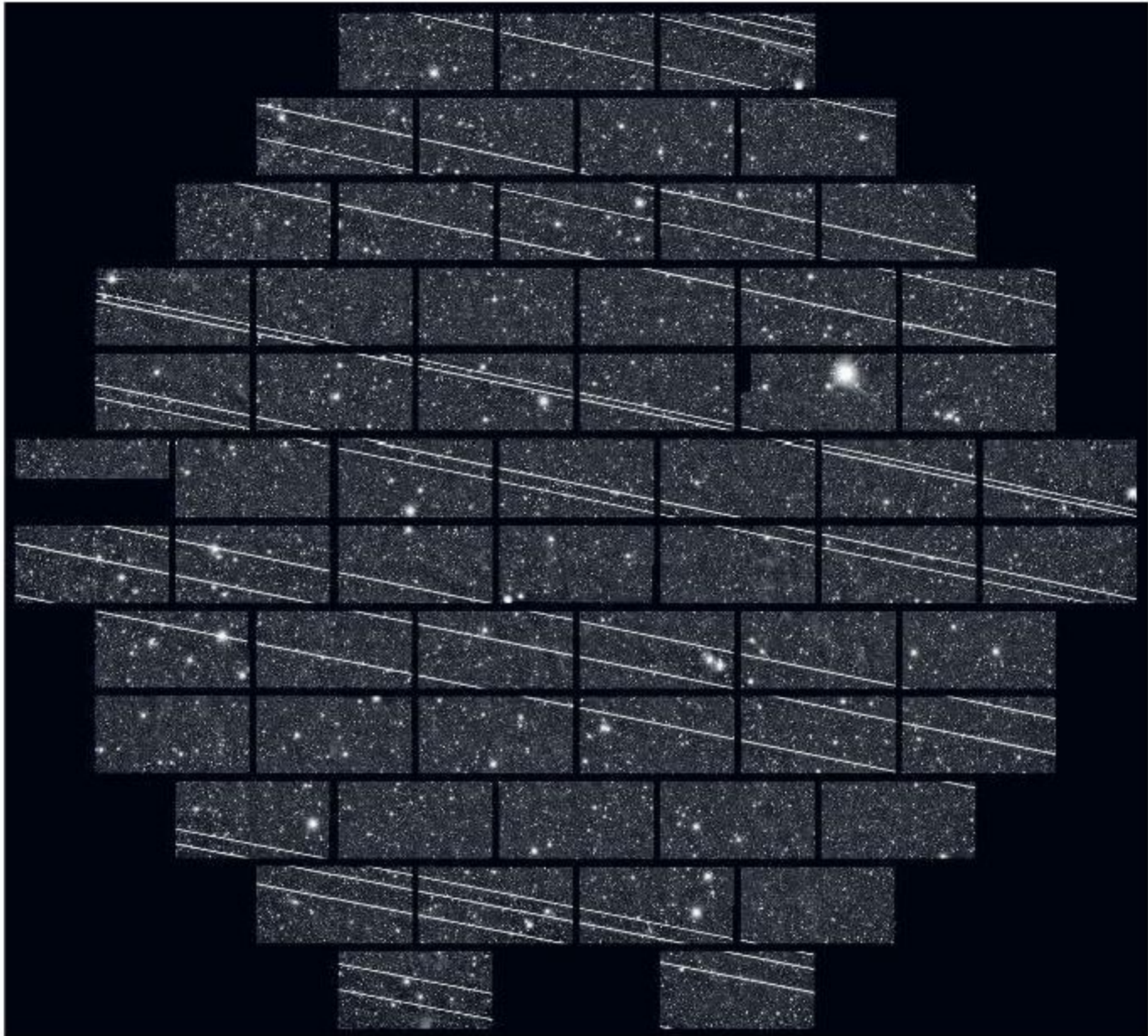
In den sozialen Medien fanden sich binnen kürzester Zeit hochauflösende Satellitenaufnahmen des auf Grund gelaufenen Schiffes. Sie stammten einerseits von etablierten Weltraumagenturen: von einem europäischen »Sentinel-2«-Satelliten, dem russischen Erdbeobachter »Kanopus V« sowie dem Kosmonauten Sergei Kud-Swertschkow auf der Internationalen Raumstation.

Andererseits gab es aber auch eine Flut kommerzieller Bilder.

So ließ Airbus seine »Pléiades«-Konstellation zeigen, was sie konnte, Maxar trumpfte mit Aufnahmen von »WorldView-2« auf, dazu kamen Bilder von Firmen wie Planet, Satellogic oder BlackSky. Auf ihnen waren das Schiff und seine Umgebung in bester Schärfe zu erkennen: der Schriftzug der Reederei Evergreen, jeder einzelne Container, die Krananlage, die Schlepper in der Nähe, die eilig herbeigeschafften Baugeräte, mit denen der Wulstbug aus dem Rand des Kanals freigelegt werden sollte. Sogar nachts gab es Radaraufnahmen, etwa von der kanadischen Firma MDA, von e-GEOS aus Italien, der amerikanischen Capella Space und dem chinesischen Weltraumunternehmen Spacety.



Der Frachter »Ever Given«, fotografiert von der Internationalen Raumstation



Diese Himmelsaufnahme des chilenischen Cerro Tololo Inter-American Observatory wurde 333 Sekunden belichtet, die »Starlink«-Satelliten auf ihren Bahnen sind als Spuren zu sehen.

Keine Sorge, Sie müssen sich all diese Namen nicht merken. Die Aufzählung hilft aber vielleicht zu verstehen, dass längst nicht mehr nur Staaten Satelliten betreiben. Das All ist privatisiert worden, was nicht immer ganz einfach ist, da etwa verbindliche Verkehrsregeln zur Vermeidung von Zusammenstößen in der Umlaufbahn bis heute fehlen.

In manchen Bereichen wird das Satellitengeschäft schon seit vielen Jahren von privaten Akteuren dominiert, zum Beispiel beim Fernsehen und der Telekommunikation. Privatfirmen sind es auch, die gerade riesige Konstellationen zur Versorgung der Welt mit Breitbandinternet aus

dem All aufbauen. Am bekanntesten ist ohne Zweifel das »Starlink«-Projekt von SpaceX-Gründer Elon Musk. Die Firma ist bereits jetzt der mit Abstand größte Betreiber von Satelliten weltweit. Insgesamt will sie um die 40 000 fliegende Internet-Stationen in den Orbit bringen. Das wären fast siebenmal so viele Satelliten, wie insgesamt zwischen 1957 und 2019 gestartet wurden.

Viele Astronomen – egal, ob sie den Himmel im Bereich des sichtbaren Lichtes oder der Radiowellen in den Blick nehmen – sind auf das Projekt nicht gut zu sprechen, weil die Satelliten ihre Beobachtungen stören können. SpaceX hat versprochen, die Bedenken der Wissenschaftscommunity ernst zu nehmen. Die Satelliten würden beständig angepasst, so das Unternehmen, um die Störungen mehr und mehr zu minimieren. Aber ob das Problem sich auf diese Weise tatsächlich lösen lässt, wird man sehen.

»Starlink« ist die bekannteste und größte der Konstellationen, wie man solche Anordnungen von Satelliten nennt, die einem gemeinsamen Ziel dienen. Aber längst nicht die einzige: »OneWeb« und Amazons »Project Kuiper« sind ernst zu nehmende Konkurrenten, auch viele weitere Firmen bauen gerade Satellitenverbände auf. Und selbst wenn man die Sterne nicht mit wissenschaftlichem Interesse, sondern allein zur seelischen Erbauung betrachtet, muss einem klar sein: Unser Nachthimmel wird durch die Megakonstellationen nie wieder so aussehen wie vorher. Wir laufen Gefahr, irgendwann vor lauter Satelliten keine Sterne mehr zu sehen.

Klar ist aber auch: Satelliten machen unser Leben in vielen Fällen einfacher. Das Internet aus dem All ist für strukturschwache Gegenden interessant. Während bandbreitenverwöhnte Großstädter darauf vielleicht nicht zwingend angewiesen sind, nutzen ihre Handys einen weiteren satellitenbasierten Dienst, ohne den unser modernes Leben kaum noch denkbar wäre: die Navigationsfunktion, über die so gut wie jedes Smartphone heutzutage verfügt. Am bekanntesten ist das amerikanische »Global Positioning System«, kurz »GPS«, dessen erste Satelliten in den Achtzigerjahren noch militärisch genutzt wurden. Damals und auch noch in den Neunzigern wurden die Signale

für zivile Nutzer zunächst künstlich schlechter gemacht – aus militärischen Gründen.

Doch etwa seit der Jahrtausendwende ist das vorbei. Präzisionsnavigation hilft uns beim Auto- und Fahrradfahren genauso wie beim Bergwandern. Sie ist auch aus Industrie und Landwirtschaft nicht mehr wegzudenken. Das amerikanische »GPS« hat außerdem längst Gesellschaft im All bekommen, vom europäischen »Galileo«, dem russischen »Glonass« und dem chinesischen »Beidou«-System. Ohne dass wir Nutzer es wissen, nutzen viele Geräte inzwischen auch mehr als ein System, sollte ein Verbund doch einmal ausfallen. Dass dieses Risiko besteht, mussten etwa die Europäer im Juli 2019 erleben. Damals gab das »Galileo«-System tagelang den Geist auf. Grund waren Probleme in einem der Kontrollzentren am Boden, die sich im bayerischen Oberpfaffenhofen und im italienischen Fucino befinden.

Für den Aufbau und den Unterhalt eines Navigationssystems ist staatliches Geld nötig, viel staatliches Geld. Auch das haben die Europäer inzwischen lernen müssen. Ursprünglich sollte das milliardenteure Galileo-System nämlich gemeinsam von öffentlicher Hand und Industrie aufgebaut werden. Doch eine öffentlich-private Partnerschaft (PPP) zerbrach. Das Projekt wurde am Ende durch Umschichtungen im EU-Haushalt vor dem Scheitern gerettet. Und auch ein anderes wichtiges europäisches Satellitenprojekt existiert nur, weil man bei der EU-Kommission in Brüssel und der Europäischen Weltraumorganisation Esa in Paris verstanden hat, dass man wichtige Infrastrukturen im All notfalls auch mit staatlichem Geld aufbauen sollte, in der Hoffnung, dass sich aus der Nutzung der Daten dann wirtschaftliche Aktivität entwickelt.

Die Rede ist vom Erdbeobachtungsprogramm »Copernicus« mit seinen »Sentinel«-Satelliten. Die Flotte dieser Wächter aus dem All wächst ständig. Zu ihr gehören Radarsatelliten, denen auch Nacht und Wolken nichts ausmachen, optische Satelliten, die Informationen zu Pflanzenzustand und Bodenfeuchte liefern, Späher für die Meeresoberfläche und die Atmosphärenqualität. Weitere »Sentinels« sollen in den kommenden Jahren folgen, die sich zum Beispiel der Überwachung von Treibhausgasen und der Erdtemperatur widmen sollen.

Die Satelliten »Sentinel-2A« und »Sentinel-2B« bilden das Herzstück der Familie. Die beiden identischen kühlschrankförmigen Kisten sind rund dreieinhalb Meter groß und haben eine Masse von jeweils 1,1 Tonnen. Die 2015 und 2017 gestarteten Zwillingssatelliten tasten die Erdoberfläche aus einer Höhe von knapp unter 800 Kilometern detailliert ab. Von dort schicken sie ihre Daten per Laser zur Erde. Sie erreichen theoretisch alle fünf Tage jeden Punkt der Erde. Ihre Energie beziehen die »Wächter«, so die Übersetzung des Namens, von einem Solarsegel.

Die Navigation an Bord der goldfarbenen Präzisionsgeräte übernimmt ein GPS-Gerät, Sternenkameras unterstützen die Orientierung. Diese sogenannten »star tracker« nutzen die Positionen von Fixsternen.

Zur bildgebenden Technik gehört ein multispektrales Aufnahmegerät. Es liefert Bilder mit einem 290 Kilometer breiten Abtaststreifen und einer Auflösung von zehn Metern nicht nur im Bereich des sichtbaren Lichtes, sondern auch im infraroten Spektrum. Der sogenannte MSI, der multispektrale Imager, sammelt das von der Erde und der Atmosphäre reflektierte Licht mit einem Teleskop aus drei Spiegeln. Dabei wird die Strahlung in Spektralkanäle mit unterschiedlichen Wellenlängenbereichen aufgeteilt – je nachdem, was man auf der Erde beobachten möchte.

Das »Copernicus«-Programm ist nicht nur für Umweltwissenschaftler interessant. Auch Landwirtschaft, Verkehrsplanung und Katastrophenhilfe können die Satellitendaten des wohl ambitioniertesten Erdbeobachtungsprogramms aller Zeiten nutzen. Was dabei möglich ist, zeigt exemplarisch auch die Zusammenarbeit zwischen europäischen »Sentinel«-Satelliten und solchen des kanadischen Unternehmens GHGSat. Durch die gemeinsame Auswertung der Daten wird es nämlich möglich, Lecks in Pipelines sowie Öl- und Gasanlagen zu finden, durch die Methan in die Erdatmosphäre gelangt. Das Treibhausgas wirkt 25-mal stärker als Kohlendioxid. Durch die Satellitentechnik ist es möglich, Methanlecks räumlich stark einzugrenzen und die Verantwortlichen zu identifizieren, egal ob es um chinesische Kohleminen oder Ölanlagen im texanischen Permbecken geht.

Die »Copernicus«-Daten dürfen von jedermann weltweit verwendet



Ein »Sentinel-2«-Satellit im All (künstlerische Darstellung)

werden, egal ob Behörde, Firma, Privatperson oder NGO. Auch zahlreiche Bilder in diesem Buch stammen von den »Sentinel«-Satelliten. Manche der Aufnahmen muten merkwürdig an: Sie zeigen beispielsweise eine unnatürliche Rotfärbung, die von einer fotorealistischen Darstellung deutlich abweicht. Dann handelt es sich meist um ein sogenanntes Falschfarbenbild. Sie entstehen durch die nachträgliche Bearbeitung der Bilddaten. Bestimmte Bereiche werden dann einer Farbe zugeordnet – so sind sie besser zu erkennen. Beispielsweise zeigen die Bilder der »Sentinel-2«-Satellitenmission Vegetation üblicherweise in Rot. Das liegt daran, dass Pflanzen Nahinfrarot und grünes Licht reflektieren, während sie rotes Licht absorbieren.

Erdbeobachtungsprogramme wie das amerikanische »Landsat«-Programm zeigen, welche Rolle der Blick aus dem All auf unseren Planeten heute spielt. Satelliten vermessen das Schwerefeld der Erde, die Größe des Ozonlochs über den Polen, die Entwaldung der Regenwälder. Der weltweite Flugzeugverkehr wird mittlerweile aus dem All genauso verfolgt wie das Schmelzen des Eises in Arktis und Antarktis.

Ebenso lässt sich unerlaubte Fischerei präzise mit Satelliten verfolgen. Illegaler, und unregulierter Fischfang ist ein Milliardengeschäft, das weltweit nach Schätzungen ein Drittel aller Fänge ausmacht. Die Folgen für die Ökosysteme sind dramatisch. Radarsatelliten können helfen, dagegen vorzugehen. Sie lassen sich nicht durch Nacht und Wolken stören. Und wer diese Beobachtungen in den Weiten der Weltmeere mit den Daten abgleicht, die ebenfalls häufig auf Satelliten angebrachte AIS-Empfänger liefern, die Abkürzung steht für »Automatic Identification System«, kann all die Boote herausfiltern, die ihre Identität bewusst verschleiern. Bei ihnen lohnt es sich auf jeden Fall, genauer hinzuschauen.

Das muss man dann allerdings am Boden tun, zum Beispiel mit Booten der Fischereiaufsicht. Ohnehin, Satelliten können uns aus dem All auf Probleme aufmerksam machen. Lösen müssen wir sie auf der Erde. Daran erinnert auch Esa-Astronaut Matthias Maurer in seinem Geleitwort für dieses Buch.

In den kommenden Jahren werden sowohl die schiere Anzahl als auch die Qualität der Satellitenbilder weiter stark zunehmen. Wir werden in Echtzeit sehen können, wie der Mensch seine Heimat prägt und verändert. Und wir werden beinahe schmerzlich erkennen, wie schön und schützenswert die Erde ist. In der Daten- und Bilderflut den Überblick zu behalten, ist nicht einfach. Wir haben genau das für dieses Buch versucht.

Jörg Römer und Christoph Seidler