



Bel-Tempel von Palmyra vor seiner Zerstörung. Er gilt als eines der wichtigsten religiösen Bauwerke des ersten Jahrhunderts im Nahen Osten. Die besondere Bauweise und Gestaltung machten den Tempel einzigartig.

Bild: Schmidt-Colinet

# SEHEN, WAS NICHT VERBORGEN BLEIBEN DARF

## Der Welt Erbe im Blick von Satelliten

Von Bernadette Jung, Gunter Schreier und Prof. Dr. Günter Strunz

Im September 2015 dokumentierten Satellitenbilder, was Beobachter vor Ort in Syrien nach ersten Vermutungen inzwischen auch bestätigten: Der Bel-Tempel, Kernstück der zweitausend Jahre alten syrischen UNESCO-Weltkulturerbestätte Palmyra, die nahegelegene Säulenreihe sowie der Baalshamin-Tempel sind zerstört. Sie wurden von der Terrormiliz „Islamischer Staat“ gesprengt. Die Veränderungen konnten im Vergleich mit älteren Satellitenbildern belegt werden. Erst einige Jahre zuvor hatten Archäologen in Palmyra mit Hilfe der satellitengestützten Fernerkundung spektakuläre Entdeckungen gemacht.

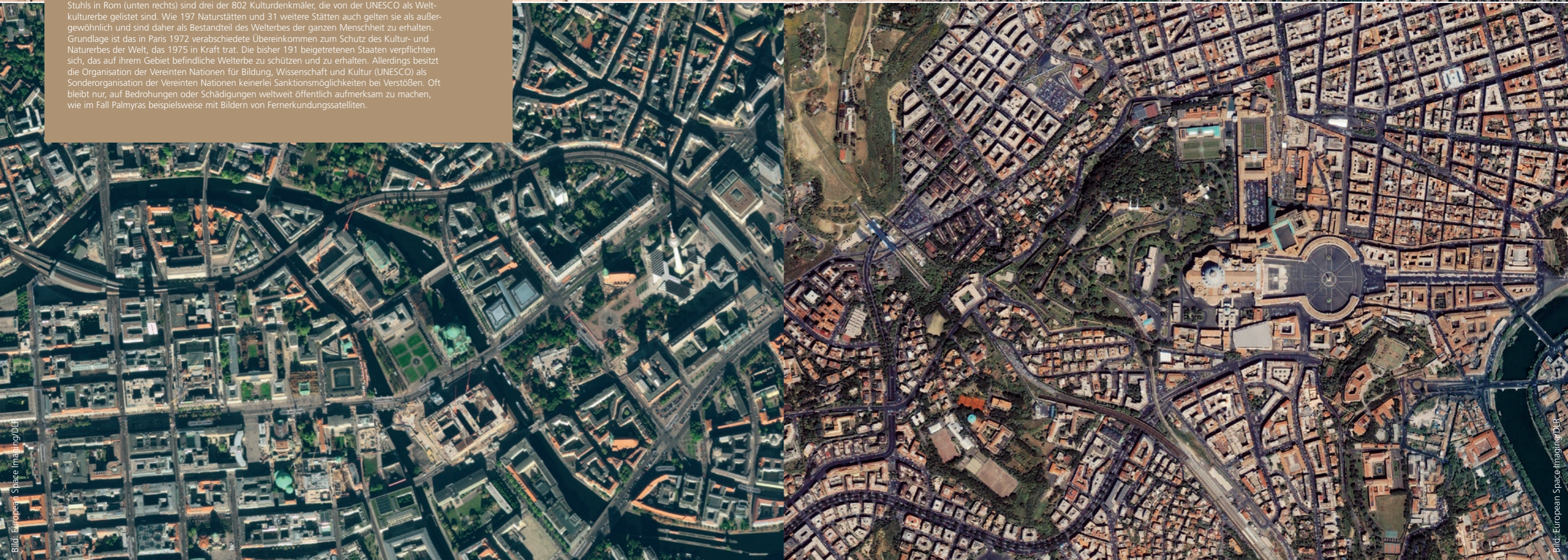
Dank seiner Wasserquelle inmitten der syrischen Wüste und seiner zentralen Lage entlang der Karawanenstraße zwischen Asien und Europa hatte sich Palmyra während der Zeit des Römischen Reichs von einer kleinen Oase zu einem globalen Handelszentrum entwickelt. Dass die Stadt bereits im 3. Jahrhundert vor Christus besiedelt war und weltweite Handelsbeziehungen pflegte, wurde lange vermutet. Prof. Dr. Andreas Schmidt-Colinet vom Institut für Klassische Archäologie der Universität Wien konnte 2008 den Beweis dafür erbringen: Bodenuntersuchungen mit dem Magnetometer und gezielte Grabungen führten sein Team zu einer unter dem Sand verborgenen Siedlung, außerhalb der bekannten Stadt. Daten des deutschen Radarsatelliten TerraSAR-X ergänzten die Auswertung. Dazu erstellten das DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme und das Earth Observation Center des DLR spezielle hochaufgelöste Radarbilder. So konnten die Archäologen im Wüstensand Bodenstrukturen erkennen, die mit bloßem Auge oder terrestrischer Vermessung nicht sichtbar sind.

Derzeit bereitet Schmidt-Colinet eine Publikation über die antiken Steinbrüche von Palmyra vor. Wieder sollen neueste Satellitenbilder zur Auswertung der Forschungsergebnisse herangezogen werden: „Dies wird umso wichtiger sein, da auch diese Steinbrüche unmittelbar von der Zerstörung durch die kriegerischen Ereignisse in Syrien bedroht sind“, so Schmidt-Colinet.

### Kulturelles Mandat

Die kulturelle Identität einer Gemeinschaft – ob regional, national oder international – ist mit ihrem kulturellen Erbe verknüpft. Monumente aus längst vergangenen Zeiten liefern der Gesellschaft den historischen Kontext und damit auch Bezugspunkte für aktuelle Herausforderungen. Die Zeugnisse alter Zivilisationen gilt es daher nachhaltig zu sichern: durch Monitoring, Dokumentation, Auswertung und Interpretation archäologischer Stätten. Entsprechende Technologien treibt das DLR in Oberpfaffenhofen voran: Das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum und das Institut für Methodik der Fernerkundung bilden zusammen das Earth Observation Center (EOC) des DLR – und bündeln ihre Kompetenzen im Gewinnen, Auswerten, Verarbeiten und beim Management von Erdbeobachtungsdaten.

Die Unterstützung archäologischer Forschungsarbeiten begann dort vor 13 Jahren – mit der Kartierung der antiken irakischen Stadt Uruk. Allein das DLR war in der Lage, dem Deutschen Archäologischen Institut (DAI) Satellitendaten zu liefern, um die Gefährdung der ältesten Siedlung der Welt durch den damaligen Irak-Konflikt abzuschätzen. Seit 2004 leistet das EOC einen besonderen kulturellen Beitrag: Es liefert Fernerkundungsdaten von DLR-Missionen für wissenschaftliche Arbeiten zur Bewahrung von Welterbestätten der UNESCO, der Organisation der Vereinten Nationen mit einem Mandat im Kulturbereich. Eine Aufgabe mit gewaltigen Dimensionen – mehr als eintausend Natur- und Kulturstätten in 163 Ländern sind derzeit als UNESCO-Welterbe gelistet. Allein in Deutschland sind 40 Stätten von „außergewöhnlichem universellen Wert“ zu schützen – darunter der Kölner Dom, die Museumsinsel in Berlin, die Grenzanlagen des Römischen Reichs (Limes), das Wattenmeer und das Opernhaus in Bayreuth.



Die Pyramiden in Ägypten, die Museumsinsel in Berlin (unten links) und die Stätten des Heiligen Stuhls in Rom (unten rechts) sind drei der 802 Kulturdenkmäler, die von der UNESCO als Weltkulturerbe gelistet sind. Wie 197 Naturstätten und 31 weitere Stätten auch gelten sie als außergewöhnlich und sind daher als Bestandteil des Welterbes der ganzen Menschheit zu erhalten. Grundlage ist das in Paris 1972 verabschiedete Übereinkommen zum Schutz des Kultur- und Naturerbes der Welt, das 1975 in Kraft trat. Die bisher 191 beigetretenen Staaten verpflichten sich, das auf ihrem Gebiet befindliche Welterbe zu schützen und zu erhalten. Allerdings besitzt die Organisation der Vereinten Nationen für Bildung, Wissenschaft und Kultur (UNESCO) als Sonderorganisation der Vereinten Nationen keinerlei Sanktionsmöglichkeiten bei Verstößen. Oft bleibt nur, auf Bedrohungen oder Schädigungen weltweit öffentlich aufmerksam zu machen, wie im Fall Palmyras beispielsweise mit Bildern von Fernerkundungssatelliten.



### Maßgeschneiderte Satellitendaten

In der Archäologie und in der Fernerkundung gilt gleichermaßen: Sorgfalt im Detail und Blick auf das Ganze. Welche Erfolge und neuen Möglichkeiten sich dabei eröffnen, wenn die beiden Forschungsbereiche ihre Kompetenzen zusammenführen, zeigt sich bei Großprojekten wie Palmyra besonders deutlich. Die Dokumentation einer historischen Stätte, etwa in Form von Grabungsarbeiten, ist mit hohem personellem, zeitlichem und finanziellem Aufwand verbunden. Solche Orte werden daher üblicherweise auch anhand von Luftbildern und Fotos analysiert. Von Satellitenbildern können die Denkmalschützer und Archäologen dabei besonders profitieren. Aus über 500 Kilometer Höhe gewähren Erdbeobachtungssatelliten freien Blick auf Gebiete, die schwer zugänglich sind oder zu gefährlich für Erkundungsflüge und Arbeiten vor Ort. Nach Bedarf liefern sie aktuelle und hochaufgelöste Aufnahmen von mehreren Quadratkilometer großen Gebieten. Weitflächige Überblicksaufnahmen helfen den Archäologen auch im Feld, schneller zu einem „Befund“ zu gelangen, also den Zusammenhang einzelner Funde zu erschließen und das historische Gesamtbild zu rekonstruieren.

Aufnahmen unabhängig von Bewölkung oder Tages- und Nachtzeiten sind mit Radarsatelliten möglich. Die vom DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme entwickelte Mission Tandem-L kann mit Hilfe von Radartomografie zukünftig sogar den

Blick durch Baumkronen und Vegetation hindurch – auf und unter die Oberfläche des Erdbodens – ermöglichen. Satelliten können archäologische Stätten auch regelmäßig, mit den exakt gleichen Einstellungen, aufnehmen – perfekt für ein Monitoring. Im Deutschen Satellitendatenarchiv des DLR sind Daten aus rund 30 Jahren griffbereit und täglich kommen neue Aufnahmen hinzu. Vergleichs- und Verlaufsaufnahmen zeigen jede Veränderung auf, seien es die plötzliche Zerstörung oder der langsame Verfall eines antiken Bauwerks oder die Bedrohung eines Naturreservats. Mit dem Betrieb des Datenarchivs stellt das EOC die Verfügbarkeit der Fernerkundungsschätze auch für zukünftige Generationen sicher.

### Fernerkundung im Detail

Wenn die UNESCO oder eine archäologische Forschungseinrichtung anfragen, kann das Earth Observation Center umgehend reagieren. Zuerst werden die passenden Satellitendaten eingeholt: Neue Daten können in Nahe-Echtzeit erstellt werden. Empfangsanlagen auf dem EOC-Gebäude sichern den direkten Zugriff auf die hochaufgelösten Daten der optischen Satelliten WorldView-2 und WorldView-3. Radardaten werden im Rahmen der DLR-Mission TerraSAR-X und TanDEM-X bereitgestellt, die von Oberpfaffenhofen aus betrieben werden. Zusätzlich kann das EOC sein Kooperationsnetzwerk aktivieren und Satellitendaten, unter anderem bei der Partnerfirma European Space Imaging, abrufen. Das gilt auch für Archivdaten, um Vergleichsbilder zu haben.

Im nächsten Schritt werten die DLR-Wissenschaftler die Rohdaten aus und bereiten sie auf. Bei besonderem Bedarf werden auch nicht-wissenschaftliche Daten aus sämtlichen Quellen herangezogen, etwa Videos und Fotos aus dem Internet. Damit aus dem Datenfundus ein verständliches Bild wird, bedarf es spezieller Tricks und Kniffe: Winkerverzerrungen werden entfernt, die Geländeinformationen lagegenau angepasst oder es wird die räumliche Auflösung geschärft. Gefragt sind auch Veränderungsanalysen. Hochgenaue Vorher-nachher-Bilder können den Denkmalpflegern und der UNESCO auf einfache Weise helfen, Maßnahmen zum Schutz einer Welterbestätte zu entwickeln oder auf ihre Wirksamkeit hin zu überprüfen.

Bei der Datenauswertung profitiert das EOC insbesondere von seiner Arbeit und Erfahrung aus dem Zentrum für Satellitengestützte Kriseninformation (ZKI). Im Fall von Naturkatastrophen oder Krisenfällen werden am ZKI auf Abruf Satellitenbildkarten und Situationsanalysen erstellt – für nationale, europäische und internationale Behörden und Einrichtungen zum Bevölkerungsschutz. So wurden auch die Palmyra-Satellitendaten durch das ZKI ausgewertet. Die Einrichtung ist rund um

die Uhr einsatzbereit und ergänzt die einzigartige Infrastruktur des EOC in Oberpfaffenhofen. Die Fernerkundungsspezialisten sind so in der Lage, alle Anfragen zuverlässig und routiniert umzusetzen.

### Globale Perspektive

Rund 60 Jahre ist es her, dass der Mensch seine Welt zum ersten Mal aus der Distanz des Alls sehen konnte. Diese Bilder veränderten die Perspektive der Menschen für immer. Die satellitengestützte Fernerkundung erweitert diese Perspektive – und das Welterbe-Programm der UNESCO nutzt diese neue Sicht. Dabei haben die Kultur- und Naturstätten nicht nur einen kulturellen Wert. Viele Regionen und Länder leben vom Tourismus rund um die einzelnen Sehenswürdigkeiten. Erdbeobachtungsdaten verschaffen den notwendigen Überblick, um hier planerisch einzugreifen – wie es etwa bei den Pyramiden von Gizeh der Fall ist. Veränderungsanalysen zeigen sehr deutlich, wie die Siedlungen immer dichter an die 4.500 Jahre alten Bauwerke herangerückt sind. Die erhöhte Beanspruchung und veränderte Umwelteinflüsse setzen den Kolossen vor den Toren Kairos zu. Andernorts, in Peru, gefährden Hangrutschungen die Welterbestätte Machu Picchu. Ob Bodenerosionen durch häufiger werdende Überflutungen oder durch Dürre, der Rückzug von Gletschern oder der Anstieg des Meeresspiegels – die Auswirkungen des globalen Klimawandels stellen Archäologen und Denkmalschützer weltweit vor immer größere Herausforderungen.

All diese Stätten zu beobachten und zu schützen gleicht einer Herkules-Aufgabe. Nur die Perspektive aus dem All gewährt den nötigen Überblick und lässt die globalen Zusammenhänge erkennen. Erdbeobachtungssatelliten können Informationen schnell, umfassend und weltweit liefern. Die Fernerkundung schafft dadurch völlig neue Datengrundlagen für Forscher und Entscheidungsträger. Das europäische Erdbeobachtungsprogramm Copernicus treibt bereits den Aufbau grundlegender Geoinformationsdienste voran, insbesondere zur Umweltüberwachung und für die zivile Sicherheit. Die Radarsatellitenmission Tandem-L könnte die Erdoberfläche künftig im Wochenrhythmus kartieren und einzigartige Informationsprodukte bereitstellen. Durch die Vielzahl der Missionen, zielgerichtete Forschung und durch neue Auswertetechnologien ist die Fernerkundung daher prädestiniert, diese globale Herausforderung anzunehmen – dazu gehört auch, wichtige Informationen über das Weltkulturerbe bereitzustellen und so zu helfen, es zu bewahren.

**Prof. Dr.-Ing. Günter Strunz** leitet am Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum des DLR die Abteilung Georisiken und zivile Sicherheit. **Gunter Schreier** ist am Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum des DLR für die Geschäftsentwicklung und die Koordination von Copernicus verantwortlich. **Bernadette Jung** ist Redakteurin in der DLR-Kommunikation.



Bild: European Space Imaging

Die Aufnahme des Satelliten WorldView-2 vom 27. August 2015 zeigt den Bel-Tempel von Palmyra, ein einzigartiges Weltkulturerbe



Bild: European Space Imaging

Nur wenige Tage später, am 2. September 2015, belegt das Satellitenbild schlimmste Befürchtungen: Der zweitausend Jahre alte Tempel wurde zerstört.



Bild: European Space Imaging

Das antike Palmyra liegt in einer von Palmen umgebenen Oase auf dem Gebiet der modernen syrischen Stadt Tadmur im Zentrum des Hochlands von Aleppo

## WERTVOLLER SATELLITENBLICK AUF DIE KULTURGÜTER DER WELT

Drei Fragen an Dr. Dr. h.c. Margarete van Ess, wissenschaftliche Direktorin des Deutschen Archäologischen Instituts (DAI)



### Frau Dr. van Ess, wie verbreitet ist eigentlich die Nutzung von Fernerkundungsmethoden in der Archäologie?

• In der Archäologie sind Fernerkundungsmethoden schon seit vielen Jahren ein wichtiges Thema. Sie werden jedoch noch immer nur zögerlich eingesetzt, hauptsächlich weil der Erwerb von hochauflösenden Bildern teuer ist und Spezialkenntnisse in der Auswertung voraussetzt. Die Bilder werden genutzt, um noch nicht ausgegrabene antike Siedlungsstrukturen zu erkennen, um auf großer Fläche längst verschüttete Überlandstraßen und Kanäle zu verfolgen, aber auch um Zerstörungen durch Raubgrabungen oder durch Infrastrukturmaßnahmen zu erkennen. Gleichzeitig werden die Analyseverfahren verfeinert und damit zu Routineverfahren in der Archäologie weiterentwickelt. Die Fernerkundung ist für uns also von immer größer werdender Bedeutung.

### Was ist das Besondere an der Zusammenarbeit des Deutschen Archäologischen Instituts mit dem DLR?

• Die Wissenschaftler im DLR können aus ihrer Alltagsarbeit mit großer Routine und Kenntnis Bewertungen zu Fernerkundungsdaten liefern, die Archäologen ohne dieses Spezialwissen nicht sofort geben können. Archäologen erkennen umgekehrt Details, die anders ausgebildeten Personen nicht auffallen. Die ständige Verfügbarkeit von Experten und die große Erfahrung beider Institutionen erlaubt es, in kürzester Zeit Daten zu evaluieren und Informationen an zuständige Institutionen weiterzugeben. Nur so haben wir eine Chance, gefährdete Stätten zu schützen.

### Was wünschen Sie sich von der Fernerkundung für Ihre weitere Forschung?

• Wir wünschen uns, dass die Methoden der Fernerkundung zur Routine in der Archäologie werden – sowohl in den wissenschaftlichen Aspekten als auch im Bereich des Kulturerhalts. Hierzu sind regelmäßige Analysen von Satellitenbildern sehr sinnvoll, die es bisher noch nicht in ausreichendem Maße gibt. Die regelmäßige Analyse wäre eine wichtige Präventionsmaßnahme zum Schutz von Kulturgut, jedoch auch in der Bewertung, beispielsweise von archäologischem Potenzial einer Landschaft oder eines Ortes.