Bundesamt für
Kartographie und Geodäsie

BKG
Wir geben Orientierung.

Jahresbericht 2023

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

Annual report 2023

Federal Agency for Cartography and Geodesy

Jahresbericht 2023

Wir geben Orientierung

Annual report 2023

Leading the way

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

das Jahr 2023 war für das BKG ein besonderes Jahr. Wir hatten Geburtstag! Das BKG wurde, wenn man die Vorgängerorganisationen mit betrachtet, 70 + 1 Jahre alt. In diesen 71 Jahren wurde viel erreicht. Und wir sind zurecht stolz darauf. Viel Zeit für einen Rückblick blieb in dieser bewegten Zeit trotz der schönen Feier aber nicht. Die vielfältigen gesellschaftlichen und technischen Herausforderungen der heutigen Welt verlangten auch im vergangenen Jahr vom BKG harte Arbeit.

Von ganz besonderer Bedeutung waren die Arbeiten für die Satellitennavigation. Ohne diese Systeme kann man sich unsere heutige Welt kaum mehr vorstellen. Dafür ist das reibungslose Funktionieren einer internationalen Zusammenarbeit zwingend notwendig. Um die Fortschritte und vor allem auch die Prozesse nachhaltiger zu gestalten, wurde im März 2023 nach mehreren Jahren intensiver Planung und Vorbereitung das UN Global Geodetic Centre of Excellence (UN-GGCE) in Bonn eingerichtet. Insbesondere freut es mich, dass mit dem Australier Nicholas Brown eine versierte und international hoch angesehene Persönlichkeit als Leiter gefunden werden konnte.

Neben den Arbeiten zur Satellitennavigation haben wir uns im vergangenen Jahr auch wieder intensiv dem Klimawandel gewidmet. Dabei standen diesmal historische Karten und gravimetrische Messungen des Bodenwassergehaltes im Fokus.

Im Rahmen der Forschungen zum Klimawandel kommt immer wieder die Frage auf, ob historische Karten Beiträge zur Klimaforschung leisten können. Sind beispielsweise Landnutzungsänderungen an Hand der Karten erkennbar? Zusammen mit dem Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) konnten wir erste Ergebnisse auch unter Nutzung künstlicher Intelligenz erzielen, die durchaus ermutigend sind. Natürlich bleibt noch viel zu tun.

Ein weiteres Klimamonitoring-Thema, welches uns im vergangenen Jahr beschäftigt hat, war die Messung des Bodenwassergehaltes mit Hilfe der Gravimetrie. Die hierfür hauptsächlich eingesetzten Satellitenmissionen bieten mit ihrer Fähigkeit zu flächendeckenden Aussagen eine vielgenutzte Quelle. Gleichwohl besteht Bedarf an einer unabhängigen zweiten Quelle, um die Aussagen der Satelliten zumindest punktuell zu verifizieren.

Ein weiteres spannendes Arbeitsfeld war und ist das Bereitstellen von Bildmaterial von extremen Lagen. Dieses Thema ist nicht nur vor dem Hintergrund des fortschreitenden menschengemachten Klimawandels interessant. Das Erstellen und Übertragen von nicht bodengebundenem Bildmaterial, z. B. von Waldbränden oder Überflutungen in nahezu Echtzeit, stellt dabei eine besondere Herausforderung dar. Der Einsatz von Hubschraubern ist für diese Aufgabe besonders geeignet. Hier arbeiten wir eng mit den Kolleginnen und Kollegen der Bundespolizei zusammen.

Auch der Weltraum hat uns wieder beschäftigt. Neben dem Thema Weltraumwetter, welches wir ebenfalls vorangetrieben haben, wurde an der Detektion und Verfolgung von Weltraumschrottteilen mit lasergestützten Verfahren gearbeitet.

Natürlich standen noch viel mehr Herausforderungen auf unserer To-do-Liste. Aber lesen Sie bitte selbst. Ich lade Sie wieder herzlich ein, in unserem Jahresbericht zu stöbern. Dabei wünsche ich Ihnen schon jetzt viel Freude und freue mich natürlich über Fragen und Anregungen.

Ihr

Prof. Dr. Paul Becker
Präsident und Professor

Preface

Dear reader,

2023 was a special year for BKG. It was our birthday! Considering the predecessor organisations, BKG was 70 + 1 years old. A lot has been achieved in these 71 years. And we are rightly proud of it. However, despite the wonderful celebrations, there was not much time to look back on this eventful time. The diverse social and technical challenges of today's world also demanded hard work from BKG last year.

The work on satellite navigation was of particular importance. Without these systems, it is hard to imagine the world we live in today. The smooth functioning of international cooperation is absolutely essential for this. To make progress and, above all, processes more sustainable, the UN Global Geodetic Centre of Excellence (UN-GGCE) was established in Bonn in March 2023 after several years of intensive planning and preparation. I am particularly pleased that with the Australian Nicholas Brown an experienced and internationally highly respected personality has been found to head the centre.

In addition to our work on satellite navigation, last year we once again focused intensively on climate change. This time, the focus was on historical maps and gravimetric measurements of soil water content.

In the context of research on climate change, the question of whether historical maps can contribute to climate research arises time and again. For example, can changes in land use be identified from maps? Together with the Leibniz Institute of Ecological Urban and Regional Development (IOER), we have been able to achieve initial results also using artificial intelligence, which are very encouraging. Of course, there is still a lot to do.

Another climate monitoring topic that kept us busy last year was the measurement of soil water content using gravimetry. The satellite missions mainly used for this purpose offer a much-used source with their ability to provide comprehensive information. Nevertheless, there is a need for an independent second source in order to at least selectively verify the information provided by the satellites.

Another exciting field of work was and is the provision of image material of extreme situations. This topic is not only interesting against the background of advancing man-made climate change. The creation and transmission of non-ground-based image material, e.g. of forest fires or flooding in near real time, poses a particular challenge. The use of helicopters is particularly suitable for this task. Here we work closely with our colleagues from the Federal Police.

Space has also kept us busy again. In addition to the topic of space weather, which we also pushed ahead with, we worked on the detection and tracking of space debris using laser-based methods.

Of course, there were many more challenges on our to-do list. But please read for yourself. Once again, I invite you to browse through our Annual Report. I hope you enjoy reading it and, of course, I welcome any questions or suggestions you may have.

Yours

Prof. Dr. Paul Becker
President and Professor

Inhaltsverzeichnis

Table of contents

6

Im Rückblick: Das war das BKG-Jahr 2023

Im Jahr 2023 hatte das BKG viele gute Gründe zum Feiern. Es gibt uns bereits seit 70 Jahren, das Geodätische Observatorium in Wettzell ist seit 50 Jahren in Betrieb und in Bonn haben wir das neue UN Zentrum für Geodäsie eröffnet. Darüber hinaus haben die Mitarbeitenden in verschiedenen Forschungsschwerpunkten innovative Lösungen entwickelt. Ein paar davon stellen wir in diesem Jahresbericht vor.

Looking back: This was BKG´s year 2023

In 2023, BKG had many good reasons to celebrate. We have been around for 70 years, the Geodetic Observatory in Wettzell has been in operation for 50 years and we have opened the new UN Centre for Geodesy in Bonn. In addition, our employees have developed innovative solutions in various key research areas. We present a few of these in this annual report.

14

Analyse historischer Karten für ein nachhaltiges Ökosystem

Karten können so viel mehr als nur den Weg weisen. Sie sind Zeitzeugen ihrer Epoche und geben Auskunft über topografische Gegebenheiten vergangener Jahre. Geeignetes historisches Kartenmaterial finden und nach den gleichen Kriterien zu analysieren, gibt beispielsweise Aufschluss über die Entwicklung von Waldgebieten. Mit diesem Projekt trägt das BKG zur Verbesserung von Klima- und Erdsystemmodellen bei.

Analysing of historical maps for a sustainable ecosystem

Maps can do so much more than just point the way. They are contemporary witnesses of their era and provide information about the topographical conditions of years gone by. Finding suitable historical map material and analyzing it according to the same criteria provides information about the development of forest areas, for example. With this project, BKG is contributing to the improvement of climate and earth system models.

22

In Bonn laufen die Fäden der Geodäsie zusammen

Einen globalen geodätischen Referenzrahmen zu schaffen, das ist nur eine Aufgabe des neuen Exzellenzzentrums der Vereinten Nationen (UN Global Geodetic Centre of Excellence). Ende März 2023 fand die offizielle Eröffnung in Bonn statt und jetzt arbeiten die Mitarbeitenden rund um den Leiter Nicholas Brown auf Hochtouren, um bald erste Ergebnisse zu erzielen.

The threads of geodesy come together in Bonn

Creating a global geodetic reference frame is just one of the tasks of the new UN Global Geodetic Centre of Excellence (UN-GGCE). The official opening took place in Bonn at the end of March 2023 and now the staff around Nicholas Brown are working at full speed to achieve the first results soon.

28

Im Fadenkreuz des Laserteleskops

In den unendlichen Weiten des Universums ist es voll geworden. Rund 36.500 Teile Weltraummüll, die größer als 10 cm sind, kreisen im Orbit und bergen das Risiko, mit einem Satelliten zusammenzustoßen. Oder der Weltraumschrott verglüht nicht in der Atmosphäre und fällt in ein Wohnviertel. Am Geodätischen Observatorium Wettzell behalten wir den Weltraumschrott im Auge.

In the crosshairs of the laser telescope

The infinite expanse of the universe has become crowded. Around 36,500 pieces of space debris larger than 10 cm are in orbit and carry the risk of colliding with a satellite. Or the space debris does not burn up in the atmosphere and falls into a residential area. We keep an eye on space debris at the Wettzell Geodetic Observatory.

32

Deutschlands Wasserressourcen im Auge behalten

In den letzten 20 Jahren hatte es der Wasserhaushalt in Deutschland nicht immer leicht. Dürresommer machten nicht nur dem Grundwasserspiegel, sondern der natürlichen Wasserspeicherung insgesamt zu schaffen. Durch Messungen der Erdanziehungskraft können Aussagen zu den Wasserressourcen in Deutschland getroffen werden.

Keeping an eye on Germany‘s water resources

In the last 20 years, the water balance in Germany has not always been easy. Droughts not only affected the groundwater level, but also natural water storage as a whole. Measurements of the Earth’s gravitational force can be used to make statements about water resources in Germany.

38

DOPDirekt: Digitale Lagebilder in nahezu Echtzeit

Der Satellitengestützte Krisen- und Lagedienst am BKG hat ein neues Produkt in Entwicklung: Digitale Orthophotos, kurz DOP, welche direkt zur Verfügung stehen. Es handelt sich um hochaufgelöste Luftbilder, die mithilfe von Satelliten, Drohnen und an Hubschraubern angebrachten Kameras entstehen.

DOPDirekt: Digital situation reports in near real time

The Satellite-Based Crisis and Spatial Information Service at BKG has a new product in development: Digital Orthophotos, DOP for short, which are directly available. These are high-resolution aerial images that are created using satellites, drones and cameras attached to helicopters.

Im Rückblick: Das war das BKG-Jahr 2023

März 2023

QM-Zertifizierung

Geschafft! Das Qualitätsmanagementsystem des BKG ist nach ISO 9001:2015 zertifiziert. Die externen Audits konnten an allen drei Standorten (Frankfurt, Leipzig und Wettzell) erfolgreich durchgeführt werden. Damit gehört das BKG zu den ersten Behörden, die eine ISO-Zertifizierung haben.

QM certification

It's done! BKG's quality management system is certified in accordance with ISO 9001:2015. The external audits were successfully carried out at all three locations (Frankfurt, Leipzig and Wettzell). This makes BKG one of the first authorities to be ISO-certified.

29.03.2023

Eröffnung des UN-GGCE

Wichtiger Meilenstein für die weltweite Kooperation in der Geodäsie, der Wissenschaft von der Vermessung und der Abbildung der Erdoberfläche: Das Exzellenzzentrum der Geodäsie der Vereinten Nationen (United Nations Global Geodetic Centre of Excellence – UN-GGCE) auf dem UN Campus in Bonn wurde eröffnet. Die wichtigste Aufgabe des UN-GGCE ist es, den Aufbau einer dauerhaft weltweit staatlich abgestimmten geodätischen Infrastruktur zu koordinieren.

Opening of the UN-GGCE

An important milestone for global cooperation in geodesy, the science of surveying and mapping the Earth's surface: the United Nations Global Geodetic Centre of Excellence (UN-GGCE) has been opened on the UN Campus in Bonn. The most important task of the UN-GGCE is to coordinate the development of a permanently, globally state-coordinated geodetic infrastructure.

Looking back: This was BKG´s year 2023

27.- 29.04. 2023

BKG auf der Leipziger Buchmesse

Der Stand des BKG auf der Leipziger Buchmesse war auch im Jahr 2023 sehr gut besucht. Das Interesse an analogen Karten ist ungebrochen. Fragen zu den Aufgaben, Produkten und Dienstleistungen des BKG wurden beantwortet und zahlreiche Landkarten direkt am Stand verkauft. Vor allem das beliebte Deutschland-Quiz sorgte für eine lange Besucherschlange vor dem Stand.

BKG at the Leipzig Book Fair

The BKG stand at the Leipzig Book Fair was also very well attended in 2023. The interest in analog maps is unbroken. Questions about BKG's tasks, products and services were answered and numerous maps were sold directly at the stand. The popular Germany quiz in particular led to a long queue of visitors in front of the stand.

BKG erhält Auszeichnung als „National Geospatial Agency of the Year"

Die Jury des Geospatial World Leadership Awards hat einstimmig beschlossen, die Auszeichnung „National Geospatial Agency of the Year" (Nationale Geodatenbehörde des Jahres) an das BKG zu vergeben. Sie würdigt damit die „hervorragende Arbeit bei der Verankerung des Projekts ‚Digitaler Zwilling Deutschland' und die Unterstützung der Nachhaltigkeit und Qualität des Globalen Geodätischen Referenzrahmens (GGRF)".

BKG receives „National Geospatial Agency of the Year" award

The jury of the Geospatial World Leadership Awards has unanimously decided to present the "National Geospatial Agency of the Year" award to BKG. In doing so, it recognized the "outstanding work in anchoring the "Digital Twin Germany" project and supporting the sustainability and quality of the Global Geodetic Reference Frame (GGRF)".

03.05.2023

05.06.2023

Das BKG feiert Geburtstag

70+1 Jahre, so lange existiert das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) zusammen mit seiner Vorgängerorganisation, dem IfAG, dem Institut für Angewandte Geodäsie. Ein Anlass, der am 5. Juni 2023 feierlich begangen wurde. Zahlreiche hochrangige Gäste waren der Einladung nach Frankfurt am Main gefolgt. Nach dem offiziellen Teil, bei dem auch das Jubiläumsvideo zur Geschichte und Arbeit des BKG großen Anklang fand, ging es bei herrlichem Wetter zum Empfang auf die Terrasse der Villa Mumm.

BKG celebrates its birthday

70+1 years - that's how long the Federal Agency for Cartography and Geodesy (BKG) has existed together with its predecessor organization, the IfAG, the Institute for Applied Geodesy. An occasion that was celebrated on June 5, 2023. Numerous high-ranking guests accepted the invitation to Frankfurt am Main. After the official part, during which the anniversary video on the history and work of BKG was very well received, a reception was held on the terrace of Villa Mumm in glorious weather.

Bevölkerungsschutztag

Zum ersten Mal fand der Tag des Bevölkerungsschutzes in Potsdam statt. Interessierte Bürgerinnen und Bürger konnten hautnah erfahren, wie sich Behörden, aber auch jeder Einzelne auf Krisensituationen vorbereiten können und welche Vorsorgemaßnahmen es für den Katastrophenfall gibt. Neben dem BKG waren 39 weitere Akteure aus dem Brand-, Zivil- und Katastrophenschutz im Stadtzentrum von Potsdam vertreten.

Civil Protection Day

The Civil Protection Day took place in Potsdam for the first time. Interested citizens were able to experience first-hand how authorities and individuals can prepare for crisis situations and what precautionary measures are available in the event of a disaster. In addition to BKG, 39 other players from the fire, civil protection and disaster control sectors were represented in Potsdam's city centre.

24.06.2023

Quelle: © BMI/Henning Schacht

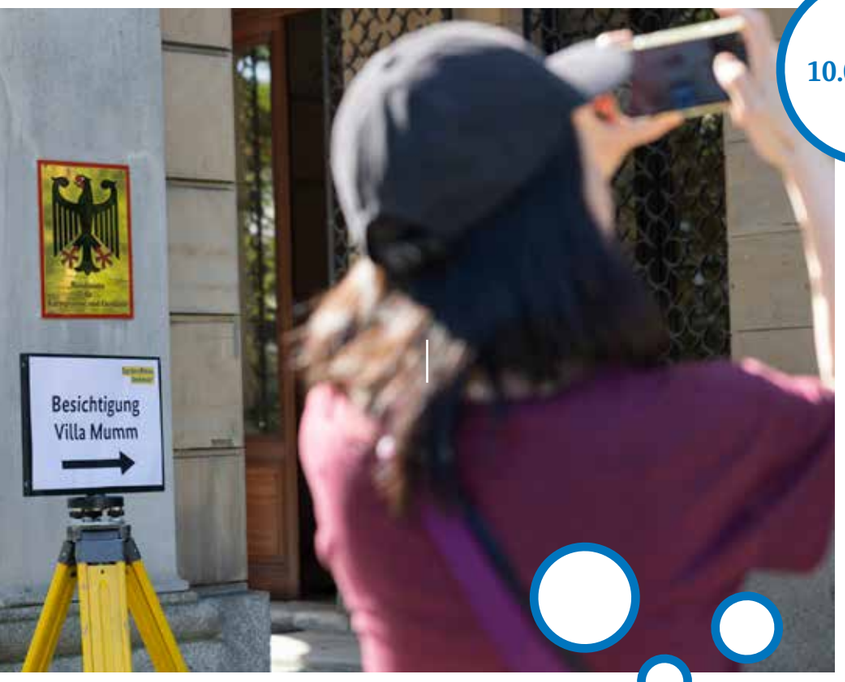
Mit dem Helikopter im Allgäu

04. - 15.09. 2023

Anfang September führte das BKG Messungen der Schwerebeschleunigung im Allgäu durch. In den Hochlagen wurden die Messpunkte mit einem Helikopter angeflogen. Die Messungen tragen zur Verbesserung der Höhenbestimmung mittels Satellitenverfahren bei.

With the helicopter in the Allgäu

At the beginning of September, BKG carried out gravity acceleration measurements in the Allgäu region. At high altitudes, the measuring points were flown to by helicopter. The measurements contribute to the improvement of height determination using satellite methods.



10.09.2023

Tag des offenen Denkmals

Einmal im Jahr organisiert und koordiniert die Stiftung Denkmalschutz den bundesweiten Tag des offenen Denkmals. Auch das BKG hatte im Rahmen dieses Events wieder seine Türen geöffnet und ca. 250 Besucherinnen und Besuchern die Möglichkeit gegeben, die Villa Mumm in Frankfurt am Main für einen Nachmittag genauer in Augenschein zu nehmen.

Open Monument Day

Once a year, the Foundation for Monument Protection organizes and coordinates the nationwide Open Monument Day. BKG also opened its doors as part of this event and around 250 visitors took the opportunity to take a closer look at the Villa Mumm in Frankfurt am Main for an afternoon.

BKG auf der INTERGEO in Berlin

10. - 12.10. 2023

Alle Jahre wieder geht es auf die INTERGEO, die internationale Leitmesse für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement. Mit zwei Schwerpunktthemen präsentierte sich das BKG an seinem Stand: dem Digitalen Zwilling Deutschland und einer bundesweit einheitlichen Karte mit Hinweisen zu Starkregengefahren.

BKG at the INTERGEO in Berlin

Every year, we go to INTERGEO, the leading international trade fair for geodesy, geoinformation and land management. BKG presented two main topics at its stand: the Digital Twin Germany and a uniform nationwide map with information on heavy rain hazards.

18. - 22.10. 2023

BKG auf der Frankfurter Buchmesse

Die Frankfurter Buchmesse ist ein Publikumsmagnet. Auch im Jahre 2023 war das BKG mit einem Messestand vertreten. Neben den beliebten Klassikern, den Faltkarten, gab es auch zahlreiche neue Kartenprodukte und Innovationen zu bestaunen. Als neue Mitmach-Aktion dabei: eine Deutschlandkarte im Maßstab 1:500.000, auf der jeder mit einer Pinnadel seinen Heimatort kennzeichnen konnte.

BKG at the Frankfurt Book Fair

The Frankfurt Book Fair is a crowd puller. BKG was also represented with a stand at the fair in 2023. In addition to the popular classics, the folding maps, there were also all kinds of new map products and innovations to marvel at. One new hands-on activity was a 1:500,000 scale map of Germany, on which everyone could mark their home town with a pin.

15.11.2023

BKG-Pressekonferenz

Das BKG veranstaltete seine jährliche Pressekonferenz im Tagungszentrum im Haus der Bundespressekonferenz in Berlin und online per Livestream. Themen waren der Digitale Zwilling Deutschland und wie das BKG den Küstenschutz bei der Beobachtung des Meeresspiegels unterstützen kann.

BKG press conference

BKG held its annual press conference at the conference centre in the Haus der Bundespressekonferenz in Berlin and online via livestream. Topics included the Digital Twin Germany and how BKG can support coastal protection in monitoring sea levels.

2023
Zahlen – Daten – Fakten

5.337

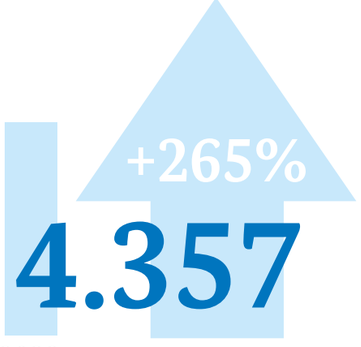
Summe der Betriebsstunden der Radioteleskope, an denen das BKG beteiligt ist (RTW *), Twin-Teleskope, AGGO *) und O'Higgins)

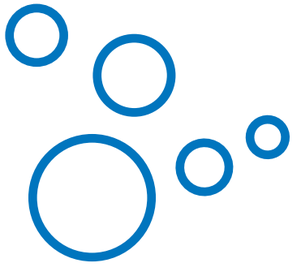
Total operating hours of the radio telescopes in which BKG is involved (RTW *), twin telescopes, AGGO *) and O'Higgins)

LinkedIn

Followerzahl

followers





Beschäftigte (inkl. Azubis) hatte das BKG Ende 2023

employees (including trainees) at BKG at the end of 2023

Im Geoportal.de recherchierbare Metadaten zu Geodatensätzen und -diensten

Metadata on geodata sets and services searchable in Geoportal.de

Über 640.000

More than 640,000

59 **Themen sind in unseren Points of Interest (POI) enthalten**

Topics are included in our Points of Interest (POI)

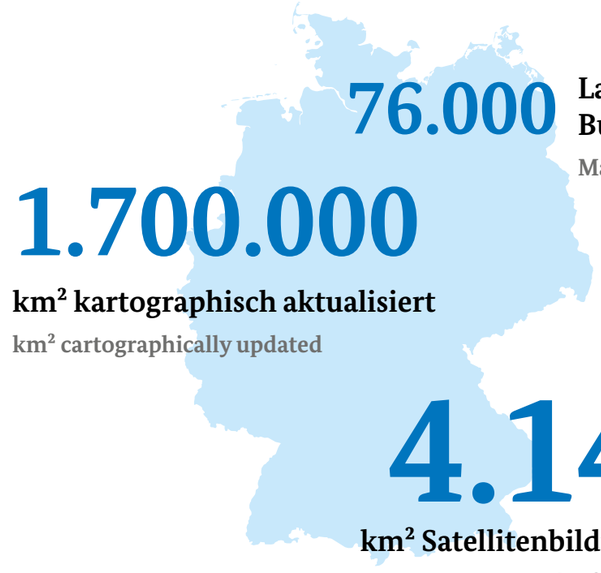
mit insgesamt 1.332.877 Punktobjekten

with a total of 1,332,877 point objects

*)

AGGO = Argentinian-German Geodetic Observatory
GNSS = Global Navigation Satellite Systems
RTW = Radioteleskop Wettzell
SKD = Satellitengestützter Krisen- und Lagedienst

2023
Numbers – Data – Facts



76.000

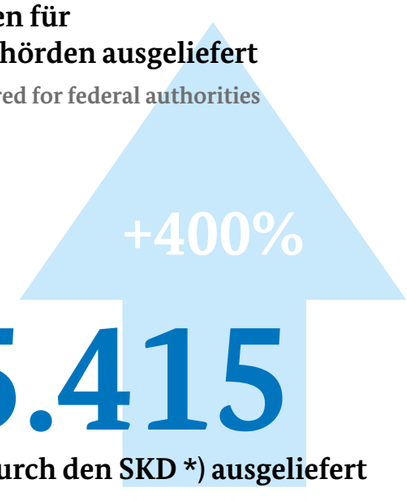
Landkarten für Bundesbehörden ausgeliefert

Maps delivered for federal authorities

1.700.000

km² kartographisch aktualisiert

km² cartographically updated



4.145.415

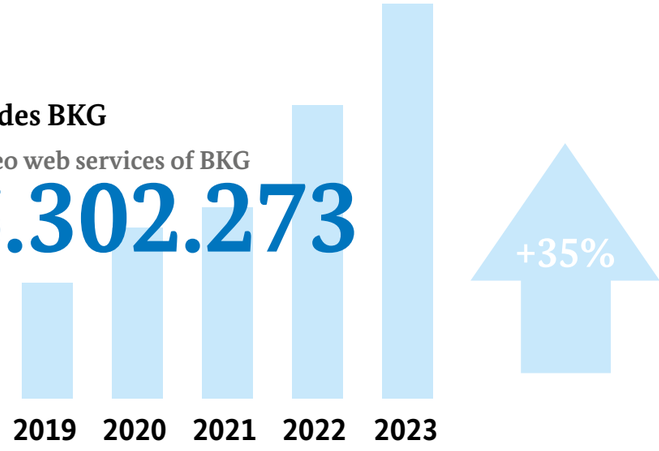
km² Satellitenbildfläche durch den SKD *) ausgeliefert

km² of satellite image area delivered by the SKD *)

Anzahl der Zugriffe auf Geo-Webdienste des BKG

Number of accesses to geo web services of BKG

10.856.302.273



592

GNSS *) Echtzeit Beobachtungsdatenströme

GNSS *) Real-time observation data streams

Anzahl der TopPlusOpen Zugriffe

Number of TopPlusOpen accesses

3.477.355.191

Frankfurt am Main 1895
Quelle/Source: Institut für Stadtgeschichte und Stadtvermessungsamt Frankfurt am Main

Analyse historischer Karten für ein nachhaltiges Ökosystem

Das Titelblatt des BKG-Jahresberichtes 2023 zeigt Karten der Stadt Frankfurt am Main zu verschiedenen Zeitpunkten. Im Hintergrund sind Klimastreifen zu sehen, die die Entwicklung der Temperaturwerte in einer Region veranschaulichen. Auf diese Weise lässt sich ein dramatisch schneller Temperaturanstieg auf einen Blick erkennen.

Historische Karten können zum Verständnis unterschiedlicher Entwicklungsprozesse, wie zum Beispiel dem der Urbanisierung oder auch der Entwicklung der Landbedeckung, herangezogen werden. Der Zusammenhang zwischen der Veränderung der Vegetationsbedeckung und dem Klima mag selbst für den Laien offensichtlich sein. Und tatsächlich, der Landnutzungskomponente und speziell dem vom Menschen verursachten Landwandel fallen bei der globalen Erwärmung eine bedeutende Rolle zu, insbesondere seit dem Beginn der Industriellen Revolution im 18. Jahrhundert.

Ähnlich wie Eisbohrkerne in der Paläoklimaforschung als langfristige, eingefrorene Klimakalender gelten, könnten flächendeckende Daten zur Landbedeckung der letzten Jahrhunderte der Klimaforschung wichtige Informationen liefern. Derzeit fehlen viele dieser Daten noch in den entsprechenden Klimamodellen.

Das BKG kann mit einer systematischen, flächendeckenden Erhebung und Auswertung der Landbedeckungsdaten über längere Zeiträume zur Verbesserung der Klima- und Erdsystemmodelle beitragen.

Förderung des Dekarbonisierungsprozesses

In einem Gemeinschaftsprojekt zwischen dem BKG und dem Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) werden Methoden entwickelt und erste Daten bereitgestellt, um Klimamodelle und daraus abgeleitete Prognosen sukzessiv zu verbessern. Ziel des Projektes ist es festzustellen, wie sich die Landbedeckung in Deutschland seit Anfang des 19. Jahrhunderts bis heute verändert hat.

Eine besondere Rolle für den Klimaschutz spielt die Dekarbonisierung. Dekarbonisierung ist die Reduzierung von CO_2-Emissionen. Das Ziel ist die Schaffung einer nachhaltigen CO_2-freien Wirtschaft. Daher wird besondere Aufmerksamkeit auf Daten gelegt, die den Dekarbonisierungsprozess unterstützen. Wie Forschungen der letzten Jahre belegen, stellen nicht nur Moorgebiete, sondern auch alte Waldbestände wichtige Kohlenstoffsenken dar, da sie mehr Kohlenstoff absorbieren als sie abgeben. Aus diesem Grund sind Waldgebiete von besonderer Bedeutung. Die Darstellung ihrer Entwicklung und ihre Altersbestimmung stehen daher im Fokus unserer Studie. Um die Renaturierung zu fördern, werden zudem verlässliche Informationen über ehemalige Moorflächen geliefert.

Analysing historical maps for a sustainable ecosystem

The cover page of this BKG Annual Report 2023 shows maps of the city of Frankfurt am Main at different points in time. Warming stripes can be seen in the background, illustrating the development of temperature values in a region. In this way, a dramatically rapid rise in temperature can be recognised at a glance without much background knowledge or explanation.

Historical maps can be used to understand different development processes, such as urbanisation or the development of land cover. The connection between changes in vegetation cover and climate may be obvious even to the layman. And indeed, the land use component, and specifically human-induced land change, has played a significant role in global warming, especially since the beginning of the Industrial Revolution in the 18th century.

Just as ice cores are considered long-term, frozen climate calendars in palaeoclimate research, comprehensive data on land cover over the last few centuries could provide important information for climate research. At present, much of this data is still missing from the relevant climate models.

The Federal Agency for Cartography and Geodesy (BKG) can contribute to improving climate and Earth system models by systematically collecting and analysing land cover data over longer periods of time.

Promotion of the decarbonisation process

In a joint project between BKG and the Leibniz Institute of Ecological Urban and Regional Development (IOER), methods are being developed and initial data provided in order to successively improve climate models and the forecasts derived from them. The aim of the project is to determine how land cover in Germany has changed from the beginning of the 19th century to the present day.

Decarbonisation plays a special role in climate protection. Decarbonisation is the reduction of CO_2. The aim is to create a sustainable, CO_2-free economy. Special attention is therefore being paid to data that supports the decarbonisation process. As research in recent years has shown, not only peatlands but also old forest stands are important carbon sinks, as they absorb more carbon than they emit. For this reason, forest areas are of particular importance. Our study therefore focuses on visualising their development and determining their age. In order to promote renaturalisation, reliable information on former peatlands is also provided.

Historical maps as contemporary witnesses

In recent decades, until the middle of the 20th century, aerial or satellite images regularly provided large-scale geodata on landscape change. Before the advent of these modern Earth observation technologies, topographic maps were the most important images of the Earth‘s sur-

Historische Karten als Zeitzeugen

In den letzten Jahrzehnten bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts lieferten Luft- oder Satellitenaufnahmen regelmäßig großflächig Geodaten über den Landschaftswandel. Vor dem Aufkommen dieser modernen Erdbeobachtungstechnologien waren topographische Karten die wichtigsten Abbildungen der Erdoberfläche und lieferten Informationen über die Merkmale der Landschaft.

Der räumliche und zeitliche Vergleich des sehr unterschiedlichen Kartenmaterials stellt eine große Herausforderung dar. Diese reicht von der Beschaffung der Karten (einschließlich der Klärung von Lizenzrechten) über den semantischen Abgleich bis hin zur automatisierten Analyse.

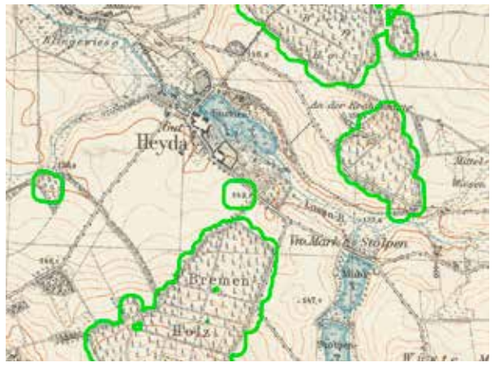
Eine Schwierigkeit liegt darin, geeignetes, d. h. auswertbares Kartenmaterial zu finden. Im Prinzip können nur Karten verglichen werden, die auf einer verlässlichen Vermessungsmethode, der sogenannten trigonometrischen Vermessung basieren. Solche Landesaufnahmen wurden in Deutschland ab Ende des 18. Jahrhunderts bzw. Anfang des 19. Jahrhunderts durchgeführt. Zu dieser Zeit bildete Deutschland keine administrative Einheit. Es wird schnell klar, dass die Landesaufnahmen für die jetzige Landesfläche Deutschlands unter diesen Bedingungen nicht flächendeckend vorliegen können. Die Landesvermessungen wurden in den Fürstentümern und Königreichen zu unterschiedlichen Zeiten vorgenommen. Deswegen ist es schwierig, für ganz Deutschland vor 1871 zeitgleiche, flächendeckende und einheitliche Kartenwerke zu finden.

Archive und Bibliotheken haben eine Vielzahl historischer Karten in ihren Beständen. Aufgrund der großen Datenmenge stellt deren zeitnahe digitale Erschließung aber eine große Herausforderung dar.

Automatisierung bei großen Datenmengen

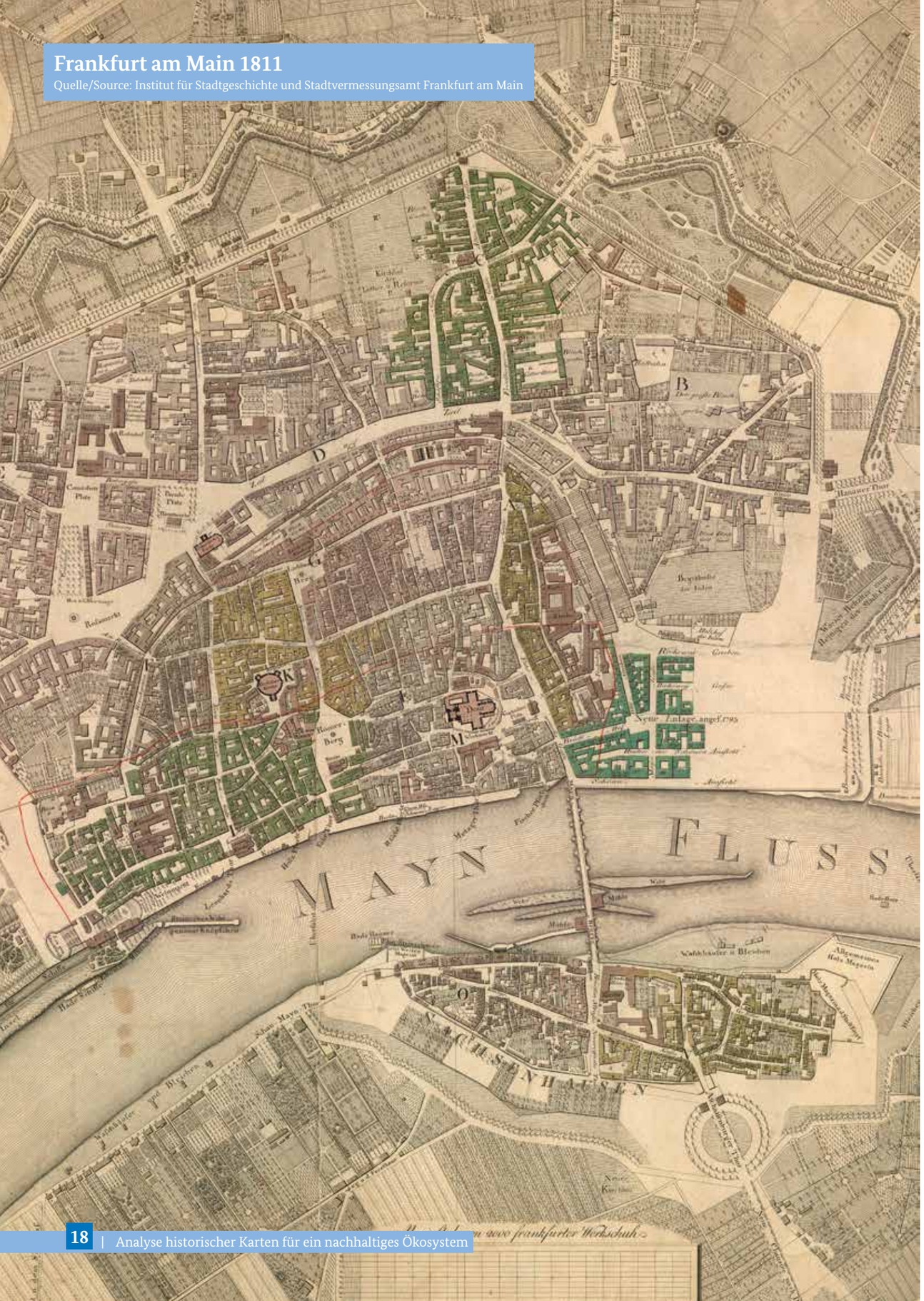
Nach Anschaffung der topographischen Kartenwerke in digitaler Form folgen weitere digitale Aufbereitungsschritte: Die Erschließung und Klassifizierung der Landbedeckungsformen, wie beispielsweise Wälder oder Wasserflächen verschiedener Zeitabschnitte, bilden die Grundlage für die vergleichenden Analysen. Der Analyseprozess selbst ist aufgrund der großen Datenmengen nur automatisiert wirtschaftlich durchführbar.

Das aktuelle Pilotprojekt ist „methodenoffen“ angelegt, das heißt, dass mehrere Verfahren getestet werden, aus allen Bereichen der Computer Vision bis hin zu maschinellen Lernverfahren. Bei Computer Vision handelt es sich um eine Technologie, bei der Bilder oder Grafiken (hier speziell die Kartensignaturen) automatisch erkannt und exakt beschrieben werden.



Frankfurt am Main 1852

Quelle/Source: Institut für Stadtgeschichte und Stadtvermessungsamt Frankfurt am Main



Frankfurt am Main 1811
Quelle/Source: Institut für Stadtgeschichte und Stadtvermessungsamt Frankfurt am Main

face and provided information about the characteristics of the landscape. The spatial and temporal comparison of the very different map material poses a major challenge. This ranges from the procurement of the maps (including the clarification of licence rights) to semantic comparison and automated analysis.

One difficulty lies in finding suitable, i.e. analysable map material. In principle, only reliable maps based on a special surveying method, the so-called trigonometric survey, can be compared. Such land surveys were carried out in Germany from the end of the 18th century and the beginning of the 19th century. At this time, Germany did not form an administrative unit. It quickly becomes clear that the land surveys for the current land area of Germany could not have covered the entire country under these conditions. Land surveys were carried out in the principalities and kingdoms at different times. For this reason, it is difficult to find a uniform set of maps covering the whole of Germany at the same time before 1871. Archives and libraries have a large number of historical maps in their collections. However, due to the large amount of data, the timely digital indexing of this data represents a major challenge.

Automation for large amounts of data

Once the topographical maps have been acquired in digital form, further digital processing work will follow: The development and classification of land cover types, such as forests or water areas, from different time periods form the basis for the comparative analyses. The analysis process itself can only be carried out economically in an automated manner due to the large volumes of data involved.

The current pilot project is „open-method“, which means that several methods are being tested, from all areas of computer vision to machine learning methods. Computer vision is a technology in which images or graphics (here specifically the map signatures) are automatically recognised and precisely described.

Machine learning is a sub-area of artificial intelligence. Based on training data and algorithms, the computer imitates the human learning process. As a result, the computer continuously improves its recognition accuracy instead of being programmed explicitly and „hard-wired“ for this task.

In order to expand the area of methodological research, BKG is carrying out further research work at the Gauss Centre for Geodesy and Geoinformation with the participation of universities. In collaboration with Leibniz Universität Hannover and Jade Hochschule Oldenburg, BKG is developing AI technologies for the automated classification, storage and analysis of geodata of different ages and quality. Data storage in datacubes is also being tested. Datacubes are robust multidimensional databases that enable particularly powerful data management, analysis and visualisation of big data.

The project partner IOER operates a research data infrastructure of settlement and open space development, the IOER Monitor. This analyses Germany‘s geotopographic data, which has been available in digital form since 2000, and makes the derived information available in the form of interactive maps, among other things. Land cover information originating from historical maps is supplemented in the IOER Monitor as part of the co-operation project, going backwards in time.

Data sets and methods for all

As this is a relatively new field and a complex task, there are currently no fully automated solutions or established workflows. The project is currently in the feasibility study phase, which is being carried out using the federal states of Saxony, Bavaria, Hesse and North Rhine-Westphalia as examples. The established project will later be extended to the whole of Germany, and there is also a strong interest in Europe-wide data. BKG is using the pilot phase of the study to establish further partnerships with interested federal authorities and research institutes.

This innovative joint project is forward-looking pioneering work. To ensure that as many specialist areas as possible can benefit from the results, the data will be available as open data and the software developments as open source to all interested parties once the project has been completed.

Maschinelles Lernen ist ein Teilbereich der Künstlichen Intelligenz. Auf der Grundlage von Trainingsdaten und Algorithmen imitiert der Computer den menschlichen Lernprozess. Dadurch verbessert der Rechner fortlaufend seine Erkennungsgenauigkeit, anstatt explizit und „fest verdrahtet“ für diese Aufgabe programmiert zu werden.

Um den Bereich der Methodenforschung zu erweitern, führt das BKG im „Gauß-Zentrum für Geodäsie und Geoinformation“ weitere Forschungsarbeiten unter Beteiligung von Hochschulen durch. In Zusammenarbeit mit der Leibniz Universität Hannover und der Jade Hochschule Oldenburg entwickelt das BKG KI-Technologien zur automatisierten Klassifizierung, Speicherung und Analyse von Geodaten unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Qualität. Auch die Datenhaltung in „Datacubes“ wird getestet. „Datacubes“ sind robuste mehrdimensionale Datenbanken, die eine besonders leistungsfähige Datenverwaltung, -analyse und -visualisierung von Big Data – also großen Datenmengen – ermöglichen.

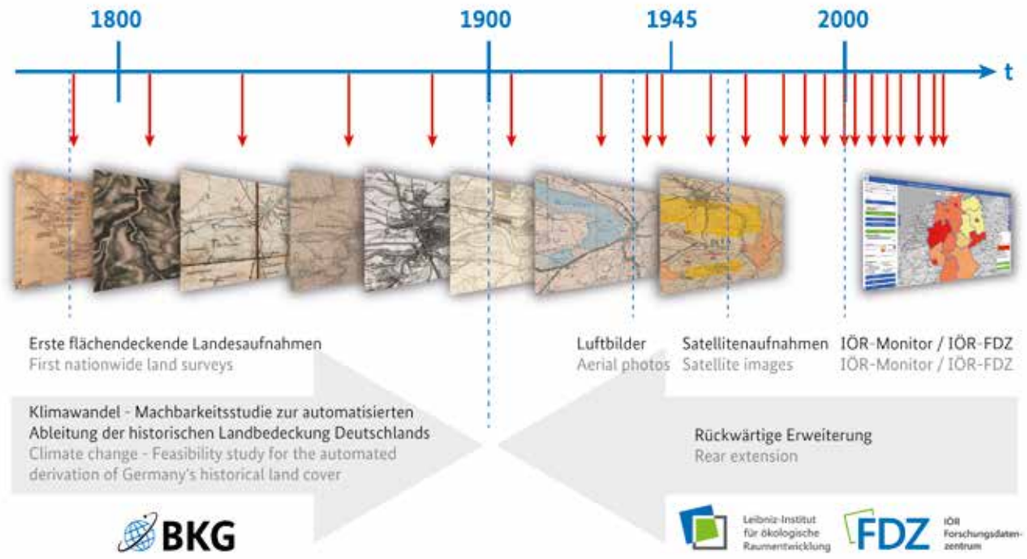
Der Projektpartner IÖR betreibt eine Forschungsdateninfrastruktur zur Siedlungs- und Freiraumentwicklung, den IÖR-Monitor. Dieser wertet geotopographische Daten Deutschlands, die seit 2000 digital existieren, flächendeckend aus und stellt die abgeleiteten Informationen u. a. in Form interaktiver Karten zur Verfügung. Landbedeckungsinformationen, die aus historischen Kartenwerken stammen, werden im Rahmen des Kooperationsprojektes zeitlich rückwärts schreitend im IÖR-Monitor ergänzt.

Datensätze und Methoden für alle

Da es sich um ein relativ junges Fachgebiet und eine komplexe Aufgabe handelt, gibt es derzeit noch keine vollständig automatisierten Lösungsansätze oder etablierten Arbeitsabläufe. Das Projekt befindet sich derzeit in der Phase einer Machbarkeitsstudie, die exemplarisch an Hand der Bundesländer Sachsen, Bayern, Hessen und Nordrhein-Westfalen durchgeführt wird. Das etablierte Projekt soll sich später auf ganz Deutschland erstrecken, es besteht auch ein starkes Interesse an europaweiten Daten.

Das BKG nutzt die Pilotphase der Studie, um weitere Partnerschaften mit interessierten Bundesbehörden und Forschungsinstituten aufzubauen.

Dieses innovative Gemeinschaftsprojekt ist zukunftsweisende Pionierarbeit. Damit möglichst viele Fachgebiete von den Ergebnissen profitieren können, stehen die Daten nach Abschluss des Projektes als Open Data und die Softwareentwicklungen als Open Source allen Interessierten zur Verfügung.



Frankfurt am Main 1792
Quelle/Source: Institut für Stadtgeschichte und Stadtvermessungsamt Frankfurt am Main

„Nur wer die Vergangenheit kennt, kann die Gegenwart verstehen und die Zukunft gestalten“
August Bebel (deutscher Politiker und Publizist, 1840-1913)

„Only those who know the past can understand the present and shape the future“
August Bebel (German politician and publicist, 1840-1913)

Quelle/Source: © UN Bonn Volker Lannert

In Bonn laufen die Fäden der Geodäsie zusammen

Das UN-GGCE nimmt seine Arbeit auf

Schön anzusehen ist er nicht, der „Lange Eugen“ in Bonn. Aber von immenser internationaler Bedeutung. Das Bürogebäude „Langer Eugen“ ist der größte Standort der Vereinten Nationen in Deutschland und gilt als globales Zentrum für nachhaltige Entwicklung. 26 Organisationen und rund 1.000 Mitarbeitende sitzen hier direkt am Rhein. Am 29. März 2023 kam noch eine weitere Institution hinzu: das UN Global Geodetic Centre of Excellence, kurz UN-GGCE. Zwei Büroräume hat die neue Organisation im 20. Stock bezogen und kann bei guter Sicht bis zum Siebengebirge blicken. Aktuell ist der Mitarbeiterstab noch überschaubar, doch geplant ist ein Team aus sechs Personen vor Ort und drei weiteren Personen, die aus anderen Ländern zuarbeiten. Das UN-GGCE soll die zentrale Anlaufstelle für gesellschaftspolitische Fragestellungen mit Bezug zur Geodäsie für die Regierungsorganisationen in den Mitgliedstaaten sein. In Bonn laufen alle Fäden zusammen, um einen globalen geodätischen Referenzrahmen nachhaltig zu sichern und damit eine weltweite und verbindliche Zusammenarbeit der geodätischen Behörden in den Mitgliedstaaten zu koordinieren. „Von Spitzbergen bis zum australischen Outback, von schmelzenden Eiskappen bis zum Anstieg des Meeresspiegels – die ganze Welt wird von der ständigen Verbesserung unserer geodätischen Infrastruktur und von den Investitionen in diese Strukturen profitieren“, unterstreicht Peter Thomson, Botschafter für globale Geodäsie des United Nations Global Geospatial Information Management (UN-GGIM), die Wichtigkeit des neuen Zentrums bei der Eröffnungsfeier.

Von Fidschi bis Bonn

Der Inselstaat Fidschi brachte eine Resolution bei den Vereinten Nationen ein, um den globalen geodätischen Referenzrahmen (GGRF) nachhaltig zu sichern. 2015 hat die Generalversammlung die Resolution angenommen. Der GGRF ist die Grundlage zur Bestimmung der eigenen Position, der Drehgeschwindigkeit und des Schwerefeldes der Erde sowie der Position eines Satelliten im Verhältnis zur Erde. Genau diese Satelliten, die für die Navigation oder die Telekommunikation auf der Erde nötig sind. Vom Weltall aus soll ein genaues Bild der Erde entstehen, um beispielsweise den Meeresspiegelanstieg als Folge des Klimawandels zu beobachten.

Gerade für Inselstaaten wie Fidschi zählt jeder Zentimeter. Hinsichtlich Bevölkerungsschutz und Bevölkerungssicherheit ist es für Inselstaaten von immenser Bedeutung, den Meeresspiegel langfristig zu beobachten.

Das BKG hat sich 2019 bei der jährlichen Sitzung des Expertenkomitees UN-GGIM als Stellvertreter für Deutschland beworben, das UN-GGCE auf dem UN-Campus in Bonn zu beherbergen und jährlich finanziell zu unterstützen. Nach einer Vielzahl an Verhandlungen konnte das

The threads of geodesy come together in Bonn

The UN-GGCE begins its work

The United Nations office building in Bonn is an imposing structure and of immense international importance. It is the largest United Nations site in Germany and is regarded as a global center for sustainable development. 26 organisations and around 1,000 employees are based here directly on the Rhine. On 29 March 2023, another institution was added: the UN Global Geodetic Centre of Excellence, or UN-GGCE for short. The new organisation has moved into two offices on the 20th floor and can see as far as the Siebengebirge on a clear day. The staff is still small at the moment, but the plan is to have a team of six people on site and three additional people working from other countries. The UN-GGCE is to be the central point of contact for socio-political issues relating to geodesy for the government organisations in the member states. All the threads come together in Bonn to ensure a sustainable global geodetic reference frame and thus coordinate worldwide and binding cooperation between the geodetic authorities in the member states. „From Svalbard to the Outback of Australia, from melting ice caps to rising sea levels, the whole world stands to benefit from constant improvement of, and investment in, our geodetic infrastructures,“ said Peter Thomson, UN-GGIM Global Geodesy Ambassador and UNSG’s Special Envoy for the Ocean, underlining the importance of the new centre at the opening ceremony.

From Fiji to Bonn

The island state of Fiji submitted a resolution to the United Nations to create a Global Geodetic Reference Frame (GGRF). The General Assembly adopted the resolution in 2015. The GGRF is the basis for determining your own position, the rotational speed or gravitational field of the Earth, as well as the position of a satellite in relation to the Earth. It is precisely these satellites that are needed for navigation or telecommunications on Earth. The aim is to create an accurate image of the Earth from space, for example to monitor rising sea levels as a result of climate change.

For island states like Fiji in particular, every centimetre counts. In terms of population protection and population security, it is of immense importance for island states to monitor sea levels over the long term.

In 2019, BKG as a representative for Germany applied to host the UN-GGCE on the UN campus in Bonn and provide annual financial support at the annual meeting of the UN-GGIM Committee of Experts. After numerous negotiations, the geodetic centre was finally able to start its work in Bonn in 2023.

geodätische Zentrum 2023 endlich seine Arbeit in Bonn aufnehmen.

Die Idee, einen einheitlichen und nachhaltig gesicherten geodätischen Referenzrahmen zu schaffen, ist nicht neu. Seit über 150 Jahren hat sich die internationale Forschungsgemeinschaft in der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG) zusammengeschlossen und die Verantwortung für die Erzeugung und Verfügbarmachung des globalen Referenzrahmens übernommen. Das BKG war und ist Teil dieser geodätischen Community seit vielen Jahren.

Mittlerweile haben die Vereinten Nationen die Wichtigkeit eines geodätischen Referenzrahmens erkannt und sorgen mit dieser Resolution dafür, dass alle Mitgliedstaaten sich dessen Wichtigkeit und Bedeutung bewusst sind. Fallen beispielsweise Beobachtungsstationen auf der Nord- oder der Südhalbkugel aus, dann müssten idealerweise Prozesse in den Mitgliedstaaten greifen, um dem Problem auf den Grund zu gehen und dieses zu beheben.

Es ist eine Aufgabe des neu gegründeten Zentrums, diese Verpflichtungen vertraglich zu vereinbaren, zu koordinieren und beratend zur Seite zu stehen.

Seit 1. Oktober 2023 ist Nicholas Brown Chef des UN-GGCE. Der Australier hat sich in seinem Heimatland unter anderem als Direktor des Nationalen Vermessungsamtes einen Namen gemacht und Australien in der internationalen Zusammenarbeit vertreten. Darüber hinaus war er bei den Vereinten Nationen als Ko-Vorsitzender des UN-Unterausschusses „Geodäsie“ im Expertenkomitee für globales Geoinformationsmanagement tätig.

Geodätische Observatorien für die Südhalbkugel

Die Nordhalbkugel ist mit geodätischen Observatorien gut ausgestattet. Ganz anders sieht es auf der südlichen Hemisphäre aus. Hier gibt es ein Defizit an Beobachtungsstationen. Letzten Endes spielen Kompetenzaufbau sowie personelle und finanzielle Ressourcen eine wesentliche Rolle, denn diese Stationen müssen gebaut und betrieben werden. Gerade in Entwicklungs- und Schwellenländern fehlt es an finanziellen Ressourcen. Für das UN-GGCE stellt sich daher die Frage, inwieweit diese Länder Kooperationspartner finden, damit auch die Südhalbkugel besser mit geodätischen Observatorien ausgestattet wird. Deutschland bringt sich mit dem Argentinean-German Geodetic Observatory (AGGO), welches sich in Argentinien befindet, ebenfalls in der südlichen Hemisphäre ein. Auf dem afrikanischen Kontinent verfügt lediglich Südafrika über ein geeignetes geodätisches Observatorium. Es besteht also Ausbaubedarf, um die Beantwortung der gesellschaftspolitischen Fragen - zum Beispiel zum Klimawandel - mit einer ausreichend starken globalen geodätischen Infrastruktur zu unterstützen. Diesen Bedarf zu ermitteln und voranzutreiben, ist die Hauptaufgabe des neu gegründeten UN-GGCE.

Kommunikation und Bewusstseinsschärfung auf der politischen Ebene sind ebenso wichtige Aufgabenbereiche. „Es gilt Politiker von der Wichtigkeit des geodätischen Referenzrahmens zu überzeugen, damit sie finanzielle Mittel zur Verfügung stellen“, sagt Nicholas Brown, Leiter des UN-GGCE. „Sichern wir den geodätischen Referenzrahmen nicht, dann funktioniert auch keine Telekommunikation. Das ist ein Wirtschaftsbereich, der rund 200 Milliarden Euro jährlich in Europa generiert. Und wenn wir diesen Bereich nicht sichern, dann verlieren wir an Wirtschaftskraft.“

The idea of creating a standardised and sustainable geodetic reference frame is not new. For over 150 years, the international research community has come together in the International Association for Geodesy (IAG) and taken responsibility for creating and making available the global reference frame. BKG has been part of this geodetic community for many years.

The United Nations has now recognised the importance of a geodetic reference frame and is using this resolution to ensure that all member states are aware of its importance and significance. If, for example, observation stations in the Northern or Southern Hemisphere fail, processes should ideally be put in place in the member states to get to the bottom of the problem and fix it.

One of the tasks of the newly established centre is to contractually agree and coordinate these obligations and to provide advice and support.

Nicholas Brown has been head of the UN-GGCE since October 1, 2023. The Australian has made a name for himself in his home country as Director of the National Geodetic Survey and represented Australia in international cooperation. He has also worked at the United Nations as co-chair of the UN Subcommittee on Geodesy in the Committee of Experts on Global Geospatial Information Management.

Securing the Southern Hemisphere

The Northern Hemisphere is well equipped with observation stations. The situation is very different in the Southern Hemisphere. There is a deficit of observation stations here. Ultimately, capacity building and human and financial resources play a key role, as these stations have to be built and operated. There is a lack of financial resources, particularly in developing and newly industrialising countries. For the UN-GGCE, the question therefore arises as to what extent these countries can find co-operation partners so that the Southern Hemisphere can also be equipped with observation stations. Germany is also involved in the Southern Hemisphere with the AGGO radio telescope, which is located in Argentina. On the African continent, only South Africa has a suitable observation station. There is therefore a need for expansion in order to support the answering of socio-political questions - for example on climate change - with a sufficiently strong global geodetic infrastructure. The main task of the newly founded UN-GGCE is to identify and promote this need.

Communication and awareness-raising at the political level are equally important tasks. „We need to convince politicians of the importance of the geodetic reference frame so that they will make financial resources available,“ says Nicholas Brown, Head of the UN-GGCE, „If we don‘t secure the geodetic reference frame, then telecommunications won‘t work either. This is an economic sector that generates around 200 billion euros a year in Europe. And if we don‘t secure this sector, we will lose economic power.”

Es muss weiter gehen

Die erste Finanzierung des UN-GGCE läuft Ende 2025 zwar aus, aber die Vereinten Nationen sowie die Bundesregierung sind sehr daran interessiert, dass das UN-GGCE auf dem UN-Campus in Bonn bestehen bleibt. Deshalb engagiert sich die Bundesregierung, um die Finanzierung für das UN-GGCE auch nach 2025 zu gewährleisten, allerdings nicht mehr als alleiniger Finanzier. Auch andere Länder, wie beispielsweise die USA, die Interesse an einer gut funktionierenden Infrastruktur haben, wollen sich finanziell einbringen. Da es sich beim UN-GGCE um eine vergleichsweise kleine Organisation handelt, halten sich die jährlichen Kosten mit rund einer Million Euro im Rahmen.

Jetzt liegt es am Zentrum, überzeugende Ergebnisse für eine Daseinsberechtigung zu liefern. Das UN-GGCE hat Ende 2023 bereits eine Strategie mit den wichtigsten Aufgaben für die nächsten drei Jahre entworfen. Doch das ist nur der erste wichtige Meilenstein. Es muss weitergehen, denn es ist nicht abzustreiten, dass der Klimawandel und die damit einhergehende Eisschmelze zu einem Anstieg des Meeresspiegels führen. Ob Fidschi, die Malediven oder Mauritius, die Telekommunikationsbranche oder jeder einzelne Mensch mit seiner Navigationsapp – wir alle profitieren vom United Nations Global Geodetic Centre of Excellence. Schon heute und ganz sicher auch in der Zukunft.

2015: UN-Generalversammlung verabschiedet Resolution 69/266 „Ein globaler geodätischer Referenzrahmen für nachhaltige Entwicklung“
2016: UN-GGIM beschließt die Aufwertung der GGRF Arbeitsgruppe zu einem Unterausschuss für Geodäsie
2017: Einweihung des UN-GGIM-Unterausschusses für Geodäsie beim „Fifth UN-GGIM High-Level Forum“ in Mexiko-Stadt
2019: UN-GGIM unterstützt den Vorschlag des Unterkomitees für Geodäsie zur Einrichtung eines Globalen Geodätischen Exzellenzzentrums
2020: UN-GGIM begrüßt das Angebot Deutschlands, das UN-GGCE auf dem UN-Campus in Bonn, Deutschland einzurichten
2022: Unterzeichnung eines Abkommens zwischen der UN Abteilung für wirtschaftliche und soziale Angelegenheiten und dem deutschen Bundesministerium des Innern und für Heimat zur Gründung des UN-GGCE
2023: Eröffnung des UN Global Geodetic Centre of Excellence

It must go on

Although the initial funding for the UN-GGCE will expire at the end of 2025, the United Nations and the Federal government are very keen for the UN-GGCE to remain on the UN campus in Bonn. The Federal government is therefore committed to ensuring that the UN-GGCE continues to be funded after 2025, albeit no longer as the sole financier. Other countries, such as the USA, which have an interest in a well-functioning infrastructure, also want to contribute financially. As the UN-GGCE is a comparatively small organisation, the annual costs are kept within reasonable limits at around one million euros.

It is now up to the centre to deliver convincing results for a raison d'être. At the end of 2023, the UN-GGCE had already drafted a strategy with the most important tasks for the next three years. But this is only the first important milestone. There is no denying that climate change and the associated ice melt will lead to a rise in sea levels. Whether Fiji, the Maldives or Mauritius, the telecommunications industry or every single person with their navigation app - we all benefit from the United Nations Global Geodetic Centre of Excellence. Today and certainly in the future.

2015: UN General Assembly adopts resolution 69/266 ‚A global geodetic reference frame for sustainable development‘
2016: UN-GGIM decides to upgrade the GGRF Working Group to a Subcommittee on Geodesy
2017: Inauguration of the UN-GGIM Subcommittee on Geodesy on the margins of the Fifth UN-GGIM High-Level Forum in Mexico City
2019: UN-GGIM supports the proposal of the Subcommittee on Geodesy to establish a Global Geodetic Centre of Excellence
2020: UN-GGIM welcomes Germany‘s offer to establish the UN-GGCE at the UN Campus in Bonn, Germany
2022: Signing of an agreement between the UN Department of Economic and Social Affairs and the German Federal Ministry of the Interior and Community to establish the UN-GGCE
2023: Opening of the UN Global Geodetic Centre of Excellence

Quelle/Source: © Kyoung-Soo Eom

Quelle/Source: ©ESA/Spacejunk3D, LLC

Im Fadenkreuz des Laserteleskops

Den Weltraumschrott im Visier

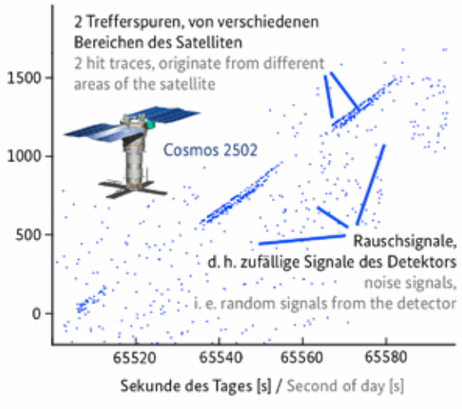
Es sind zumeist kleine Jungen, die mit großen Augen der Müllabfuhr bei der Arbeit zuschauen. Fasziniert beobachten sie, wie beträchtliche Mengen an Unrat im Schlund des Müllwagens verschwinden. Für den Abtransport der Abfälle ist in vielen Gegenden der Erde gut gesorgt. Ganz anders verhält es sich im Weltraum. Dort gibt es ca. 36.500 Objekte, die im All als Schrott herumkreisen. Und obwohl es sich um die unendlichen Weiten handelt, ist in Erdnähe der verfügbare Raum sehr begrenzt. Aber irgendwann kehrt jeder Weltraumschrott zurück auf die Erde. Die meisten Objekte verglühen allerdings in der Atmosphäre. Das ist quasi die natürliche Form einer Müllverbrennungsanlage. Nur die großen, massiven Stücke wie Treibstofftanks oder Raketenstufen fallen auf den blauen Planeten zurück. Es ist gut, wenn dieser kosmische Schrott im Meer oder in der Wüste landet. Schlecht hingegen, falls eine Millionenmetropole das anvisierte Landeziel sein sollte. „Eine genaue Bestimmung der Flugbahn von Weltraumschrott ist daher Gold wert“, sagt Dr. Thomas Klügel, Referatsleiter für optische Systeme am Geodätischen Observatorium in Wettzell (GOW).

Mit dem Laserstrahl die Entfernung messen

36.500 Schrottteile sind eine ganze Menge. Jedes einzelne Objekt im Auge zu behalten, ist schwierig, geschweige denn die Umlaufbahn eines jeden einzelnen Stücks zu berechnen. Aktuell gibt das Weltraumlagezentrum, welches die Bundeswehr und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) gemeinsam betreiben, die Objekte vor, die das BKG genauer unter die Lupe nehmen soll. Tracken heißt das im Fachjargon und ist nichts anderes als eine Entfernungsmessung.

„Mit unserem Laserentfernungsmesser können wir bis auf einen Meter genau die Umlaufbahn eines Schrottteils bestimmen“, erklärt Thomas Klügel. „Das funktioniert ähnlich wie bei einem Laserpointer, den man 250-mal pro Sekunde ein- und ausschaltet. Nur, dass unser Laserstrahl größer ist und eine höhere Reichweite hat.“

Zeitablagen, d. h. gemessene minus vorhergesagte Laufzeit der Laserpulse in Nanosekunden [ns]
Time residuals, i. e. measured minus predicted transit time of the laser pulses in nanoseconds [ns]



In the crosshairs of the laser telescope

Targeting space debris

They are mostly small boys who watch the garbage collectors at work with wide eyes. They watch in fascination as a considerable amount of garbage disappears into the maw of the garbage truck. In many parts of the world, the removal of waste is well taken care of. The situation is quite different in outer space. There are around 36,500 objects orbiting around in space as scrap. And although we are talking about the infinite expanses, space is limited here too. But at some point, all space debris returns to Earth. However, most objects burn up in the atmosphere. This is more or less the natural form of a waste incinerator. Only the large, massive pieces such as fuel tanks or rocket stages fall back to the blue planet. It is good if this cosmic scrap ends up in the sea or in the desert. Bad, however, if a metropolis of millions is the intended landing target. „Precisely determining the trajectory of space debris is therefore worth its weight in gold,“ says Dr. Thomas Klügel, Head of the Optical Systems Department at the Geodetic Observatory in Wettzell (GOW).

Measuring the distance with a laser beam

36,500 pieces of scrap metal is quite a lot. Keeping an eye on every single object is difficult, let alone calculating the orbit of each individual piece. Currently, the Space Situational Awareness Center, which is jointly operated by the German Armed Forces and the German Aerospace Center (DLR), specifies the objects that BKG should take a closer look at. In technical jargon, this is called tracking and is nothing more than a distance measurement.

„With our laser rangefinder, we can determine the orbit of a piece of scrap with an accuracy of up to one meter,“ explains Thomas Klügel. „It works in a similar way to a laser pointer, which you switch on and off 250 times a second. Except that our laser beam is larger and has a greater range.“

That sounds very simple. But the difficulty lies in finding the space debris. Radar methods are used to locate the parts and determine a rough trajectory. More sensitive measuring devices are needed to calculate the exact trajectory. Like the Wettzell Laser Ranging System (WLRS), which BKG operates in the Bavarian Forest.

When the scientists in Wettzell have received an order to measure the distance, they position the telescope on the predicted area and search for the orbital debris. This works visually. But not with the naked eye, but thanks to the support of a high-resolution camera and the laser telescope.

„Once we have found the piece of scrap, we adjust the laser telescope until the piece is in the crosshairs. It‘s similar to a computer game,“ explains Thomas Klügel, „then we send up laser pulses. These are reflected by the scrap part and beamed back to Earth. Based on the time it takes for a pulse to travel and a series of mathematical calculations, we can determine the exact path of the space debris.“

Das klingt sehr einfach. Doch die Schwierigkeit besteht darin, den Weltraummüll zu finden. Mit Radarverfahren werden die Teile geortet und eine grobe Flugbahn bestimmt. Um die Bahn genau zu berechnen, benötigt es genauere Messgeräte. Wie das Wettzell Laser Ranging System (WLRS), das das BKG im Bayerischen Wald betreibt.

Wenn die Wissenschaftler in Wettzell einen Auftrag zur Entfernungsmessung erhalten haben, positionieren sie das Teleskop auf den vorhergesagten Bereich und suchen nach dem orbitalen Abfall. Das funktioniert visuell. Aber nicht mit dem bloßen Auge, sondern dank Unterstützung einer hochauflösenden Kamera und des Laserteleskops.

„Haben wir das Schrottteil gefunden, justieren wir das Laserteleskop, bis sich das Teil im Fadenkreuz befindet. Das ist ähnlich, wie bei einem Computerspiel", berichtet Thomas Klügel, „dann senden wir Laserpulse hinauf. Diese werden vom Schrottteil reflektiert und auf die Erde zurückgestrahlt. Anhand der Zeit, die ein Puls für seinen Weg benötigt, und einer Reihe von mathematischen Berechnungen können wir die genaue Bahn des Weltraummülls bestimmen."

Die Messungen finden zunächst in der Dämmerung statt. Dann leuchtet die Sonne den Weltraumschrott vor dem dunklen Himmel an, sodass er sichtbar ist. Außerdem ist eine wolkenfreie Sicht in den Himmel notwendig, um dem Müll im Kosmos auf die Schliche zu kommen.

Je genauer, desto nachhaltiger

Es gibt noch einen zweiten wichtigen Grund, den Weltraummüll im Auge zu behalten: Kollisionsvermeidung. Hin und wieder treibt sich eines dieser Schrottteile auf der Umlaufbahn eines aktiven Satelliten herum. Dann muss dieser Satellit ein Ausweichmanöver fahren, um eine Kollision mit dem Weltraummüll zu vermeiden. Aktuell sind diese Ausweichmanöver sehr großflächig angelegt, weil die Bahnberechnung für die Schrottobjekte bisher nicht exakt genug war. Sobald ein Satellit sich aus eigenem Antrieb fortbewegt, zündet er die Düsen. Dafür benötigt er Treibstoff. Ist der Treibstofftank leer, hat auch der Satellit sein Lebensende erreicht.

Eine genaue Berechnung der Bahn des Weltraummülls würde dazu führen, dass Satelliten kürzere Umwege fahren müssen und sich ihr Haltbarkeitsdatum verlängert. Doch um diesen Schritt zu realisieren, gilt es, die Bahnen von Schrottobjekten regelmäßig zu kontrollieren. Kollisionen sollten generell vermieden werden, da die entstehenden Fragmente weitere Kollisionen auslösen und in einem Lawineneffekt ganze Satellitenbahnen unbrauchbar machen können.

Wettzell steht in den Startlöchern

Mit der Entfernungsmessung zu Weltraumschrott kennt sich das GOW bestens aus. Bereits in den Jahren 2015 und 2016 hat das GOW zu Testzwecken Weltraummüll geortet. Das funktioniert ähnlich wie bei der Beobachtung von Satelliten. Hierbei liefert der International Laser Ranging Service, ein internationaler Dienst, die notwendigen Informationen für die Entfernungsbestimmung von Satelliten, die vor allem für die Navigation auf der Erde, aber auch für Erdbeobachtungen wie den Meeresspiegelanstieg von Bedeutung sind. Zukünftig möchte das BKG an seinem Standort in Wettzell regelmäßig die Entfernung von Weltraumschrott messen. Die Objekte und die Bahndaten würde in diesem Fall das Weltraumlagezentrum liefern.

Im Vorfeld jedoch müssen Mitarbeitende aus Wettzell die Radardaten umrechnen und dem System des Laserteleskops anpassen. Ab Mitte 2024 soll dieser Arbeitsschritt automatisch erfolgen. Dann ist das Auffinden der Schrottteile einfacher. Ist die Bahn eines Teils einmal genau bestimmt, könnte in Zukunft eine automatische Suchschleife diese Aufgabe übernehmen.

Es ist eine lohnende Aufgabe, den Weltraummüll im Auge zu behalten. Zugegeben, noch ist es kein Zuckerschlecken, vor allem in Anbetracht der vielen tausend Schrottteile, die in erdnahen Bahnen ihre Kreise ziehen. Aber eines Tages vielleicht ist die Kontrolle über den Weg und die Beseitigung des Weltraummülls so einfach wie die Entsorgung von Abfall auf der Erde. Dann schauen kleine Jungen nicht mehr dem Müllwagen hinterher, sondern werfen fasziniert einen Blick durchs Teleskop.

36.500
Weltraummüllobjekte größer als 10 cm *)
*Space debris objects larger than 10 cm *)*

*) Quelle/Source: https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris/Space_debris_by_the_numbers

The measurements initially take place at dusk. Then the sun illuminates the space debris so that it is visible. Sunshine is not only needed in space, but also on Earth. At the very least, a cloud-free view of the sky is necessary to track down the garbage in the cosmos.

The more precise, the more sustainable

There is a second important reason to keep an eye on space debris: Collision avoidance. Every now and then, one of these pieces of debris drifts into the orbit of an active satellite. This satellite then has to perform an evasive maneuver to avoid a collision with the space debris. Currently, these evasive maneuvers cover a very large area because the orbit calculation for the debris objects has not been accurate enough so far. As soon as a satellite moves on its own propulsion, it ignites the jets. It needs fuel to do this. Once the fuel tank is empty, the satellite has also reached the end of its life.

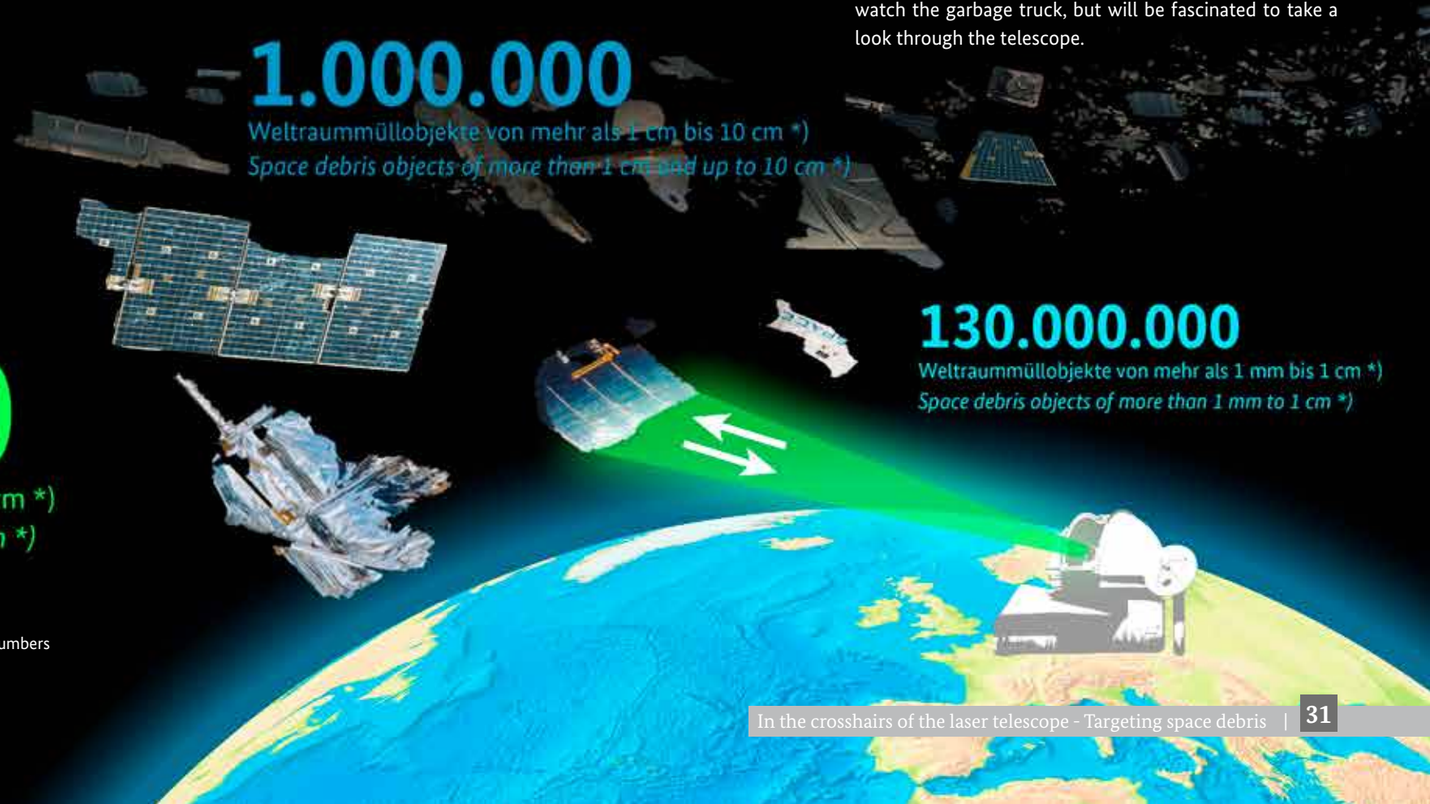
Precisely calculating the orbit of space debris would mean that satellites would have to take shorter detours and their expiration date would be extended. However, in order to realize this step, the orbits of junk objects need to be monitored regularly. Collisions should generally be avoided, as the resulting fragments can trigger further collisions and render entire satellite orbits unusable in an avalanche effect.

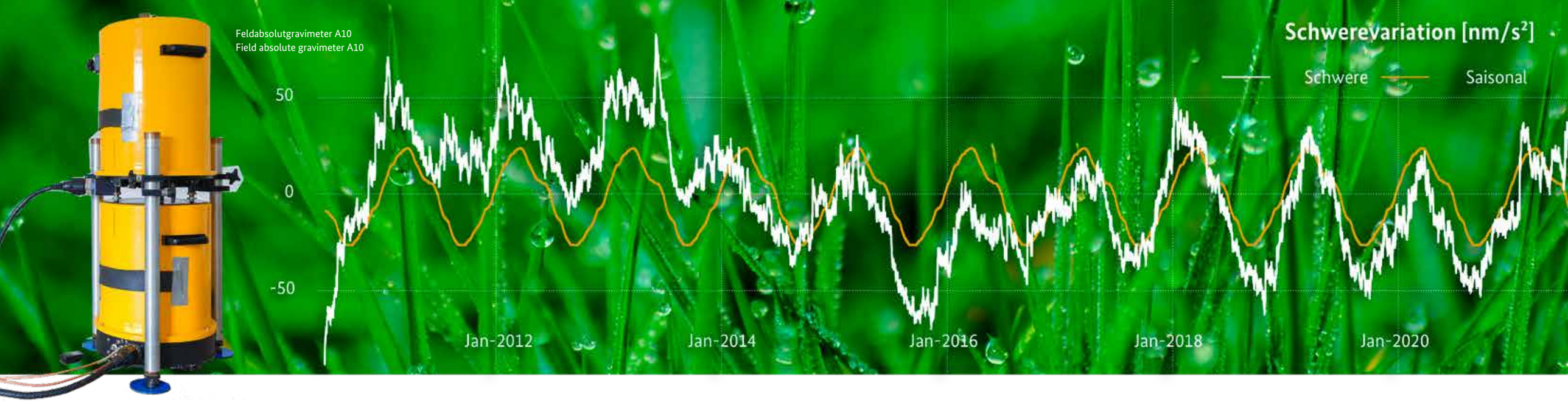
Wettzell is in the starting blocks

The GOW is very familiar with measuring distances to space debris. The GOW has already located space debris for test purposes in 2015 and 2016. This works in a similar way to observing satellites. The International Laser Ranging Service, an international service, provides the necessary information for determining the distance of satellites, which is particularly important for navigation on earth, but also for Earth observations such as sea level rise. In future, BKG would like to regularly measure the distance of space debris at its site in Wettzell. In this case, the objects and orbital data would be supplied by the Space Situational Awareness Center.

Beforehand, however, employees from Wettzell have to convert the radar data and adapt it to the laser telescope system. From mid-2024, this step will be carried out automatically. It will then be easier to locate the scrap parts. Once the path of a part has been precisely determined, an automatic search loop could take over this task in future.

Keeping an eye on space debris is a worthwhile task. Admittedly, it's still no walk in the park, especially considering the many thousands of pieces of scrap travelling in near-Earth orbits. But perhaps one day, controlling the path and disposal of space debris will be as easy as disposing of waste on Earth. Then little boys will no longer watch the garbage truck, but will be fascinated to take a look through the telescope.





Deutschlands Wasserressourcen im Auge behalten

Ein Netzwerk hochgenauer Gravimeter macht es möglich

Über Wochen hinweg sommerliche Hitze und die Außentemperaturen klettern in Richtung 40 Grad. Permanenter Sonnenschein, ausgetrocknete Böden und keine Regenwolke in Sicht. In den letzten 20 Jahren hatte es der Wasserhaushalt in Deutschland nicht immer leicht. Dürresommer wie in den Jahren 2003 und 2018 machten nicht nur dem Grundwasserspiegel, sondern der natürlichen Wasserspeicherung insgesamt zu schaffen. Die mangelnde Verfügbarkeit der elementaren Ressource Wasser führt nicht nur zu erheblichen Schäden in der Natur und ihren Ökosystemen, sondern beeinträchtigt Land- und Forstwirtschaft sowie andere Sektoren erheblich. Ein Großteil des Speichers für das lebensnotwendige Element Wasser befindet sich unter der Erdoberfläche und ist mit dem bloßen Auge nicht zu erkennen.

Gravimetrie lautet das Schlüsselwort

Die Forschung nimmt nun die Veränderungen in der Wasserspeicherung genauer in den Blick. Die Gravimetrie mit ihren Messmethoden hat die Bestimmung der Erdanziehungskraft und ihrer zeitlichen Änderungen zur Aufgabe. Die Verteilung der Masse auf und im Inneren der Erde ist nicht gleichmäßig. Berge und Täler, aber auch die verschiedenen Materialien unter der Erde, wie z. B. Vulkane, Lagerstätten von Rohstoffen oder Erdölvorkommen wirken sich aus. Auch die Anziehungskräfte von Sonne und Mond, ebenso wie Änderungen der Erdrotation beeinflussen die Schwerkraft. Aber auch Änderungen im Grundwasser oder in der Bodenfeuchte tragen zu kleinen Variationen der Erdanziehung bei.

Mit Satelliten die Veränderung der Schwerkraft messen

Um einen Eindruck von den globalen Veränderungen der Erdanziehung zu bekommen, kreisen zwei baugleiche Satelliten auf einer niedrigen Umlaufbahn in ungefähr 490 km Höhe und im Abstand von nur 220 km hintereinander um die Erde. Die seit 2002 erfolgreichen Missionen mit dem Namen „Gravity Recovery and Climate Experiment“ (GRACE) erlauben nicht nur, das Abschmelzen der Gletscher in der Antarktis oder in Grönland zu beobachten, sondern auch die Veränderungen in der kontinentalen Wasserspeicherung. Allerdings ergeben sich daraus nur Mittelwerte für Gebiete, die einen Radius von ungefähr 300 Kilometern betreffen. Und diesen Wert gibt es nur alle 30 Tage. Dennoch sind es die einzigen Missionen, mit denen Experten die weltweite Verfügbarkeit von Wasserressourcen bewerten können. Aktuell liegen Daten von zwei Jahrzehnten vor. Demnach hat Deutschland seit 2002 erhebliche Wasserressourcen verloren. Die Abschätzungen reichen bis zu 2,5 Kubikkilometer pro Jahr, was im Gesamtzeitraum dem Volumen des Bodensees entsprechen würde. Doch dieses Ergebnis ist umstritten, da auch andere Prozesse, wie das Abschmelzen der Alpengletscher, die Satelliten beeinflus-

Keeping an eye on Germany‘s water resources

A network of high-precision gravimeters makes it possible

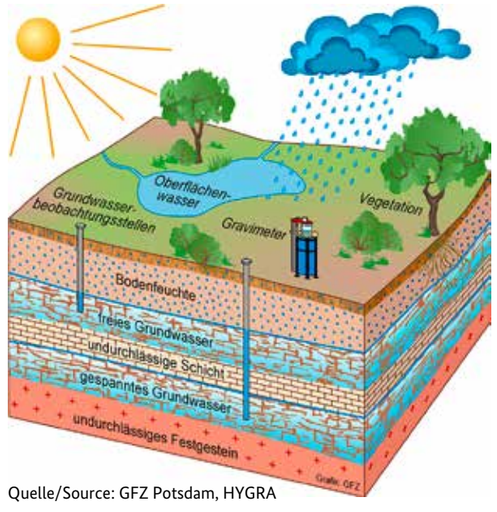
Summer heat for weeks on end, with outside temperatures climbing towards 40 degrees. Constant sunshine, parched soils and not a rain cloud in sight. In the last 20 years, the water balance in Germany has not always been easy. Droughts like those in 2003 and 2018 not only caused problems for the groundwater level, but also for natural water storage as a whole. The lack of availability of the elementary resource water not only leads to considerable damage to nature and its ecosystems, but also has a significant impact on agriculture, forestry and other sectors. A large part of the reservoir for the vital element of water is located below the earth‘s surface and cannot be seen with the naked eye.

Gravimetry is the key word

Research is now taking a closer look at the changes in water storage. Gravimetry with its measuring methods are used to determine the Earth’s gravitational force and its changes over time. The distribution of mass on and within the earth is not uniform. Mountains and valleys, but also the various materials below the earth, such as volcanoes, deposits of natural ressources or oil reserves, have an effect. The gravitational forces of the Sun and Moon, as well as changes in the Earth’s rotation, also influence gravity. But changes in groundwater or soil moisture also contribute to small variations in the Earth’s gravity.

Using satellites to measure changes in gravity

In order to gain an impression of the global changes in the Earth’s gravity, two identical satellites orbit the Earth in a low orbit at an altitude of around 490 km and at a distance of just 220 km from each other. The successful missions called “Gravity Recovery and Climate Experiment” (GRACE), which have been running since 2002, not only allow the melting of glaciers in the Antarctic or Green-



Quelle/Source: GFZ Potsdam, HYGRA

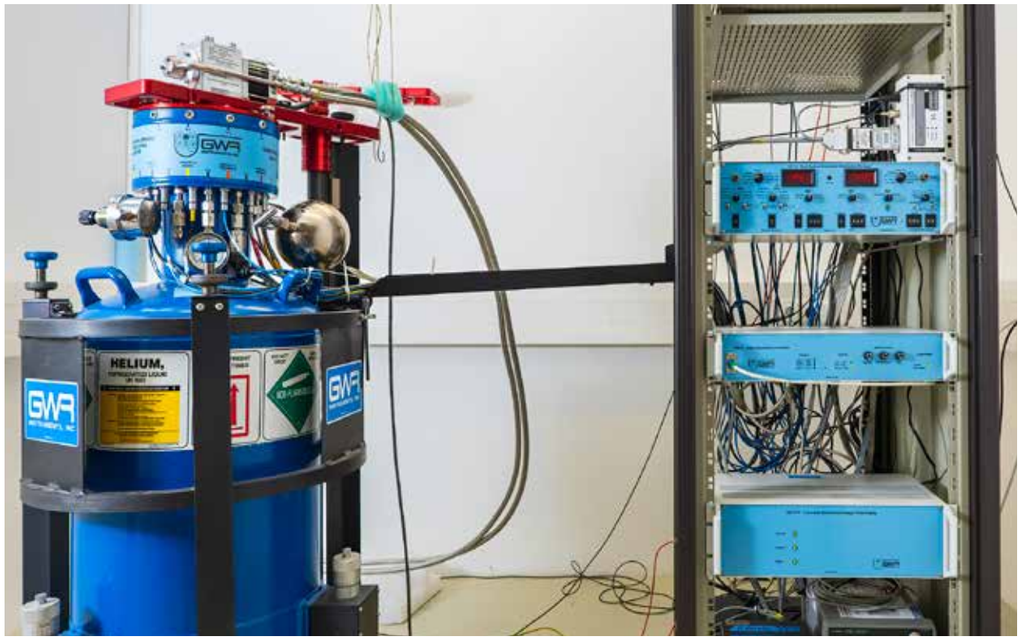
sen. Andere Analysen sind weniger alarmierend, stellen aber ebenfalls einen erheblichen Verlust von rund einem Drittel im Laufe der letzten zwei Dekaden fest. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Satellitenverfahren mit anderen Messverfahren und Modellen zu ergänzen und zu kombinieren. Hier kommt das BKG ins Spiel.

Messungen im Bayerischen Wald

Das BKG betreibt das Geodätische Observatorium in Wettzell (GOW), welches sich in der naturbelassenen Umgebung des Bayerischen Waldes befindet. Eine Aufgabe des BKG liegt darin, mit zwei verschiedenen Typen von Gravimetern Daten zu erheben, um die Erdanziehung zu bestimmen:

- Absolutgravimeter
- Relativgravimeter

Ein Absolutgravimeter erlaubt es, den absoluten Wert der Schwerebeschleunigung zu bestimmen. Dieser liegt wie allgemein bekannt bei 9.81 m/s², variiert aber mit dem Ort und sogar mit der Zeit. Ein Absolutgravimeter macht sich das Prinzip des freien Falls zu Nutze. Schon der Physiker Isaac Newton soll durch einen fallenden Apfel auf das Phänomen der Erdanziehung gekommen sein. Absolutgravimeter sind transportabel und liefern langfristig stabile Messwerte. Daher kommen sie an unterschiedlichen Orten zum Einsatz. Mitarbeitende des BKG führen zweimal im Jahr an verschiedenen Punkten rund um Wettzell Messungen mit einem feldtauglichen Instrument durch, um Informationen über den Wasserhaushalt zu erhalten. Jedoch sind hydrologische Signale vergleichsweise schwach. Das Absolutgravimeter stößt damit an die Grenzen seiner Technologie. „Während eines Messvorgangs registriert das Gerät die Summe verschiedener Signale. Viele davon



Supraleitendes Gravimeter GWR OSG
Superconducting gravimeter GWR OSG

land to be observed, but also changes in continental water storage. However, this only results in mean values for areas covering a radius of around 300 kilometers. And this value is only available every 30 days. Nevertheless, they are the only missions with which experts can assess the global availability of water resources. Two decades of data are currently available. According to this, Germany has lost considerable water resources since 2002. Estimates range up to 2.5 cubic kilometers per year, which would correspond to the volume of Lake Constance over the entire period. However, this result is controversial, as other processes, such as the melting of Alpine glaciers, also influence the satellites. Other analyses are less alarming, but also show a considerable loss of around a third over the last two decades. This shows the need to supplement and combine satellite methods with other measurement methods and models. This is where the Federal Agency for Cartography and Geodesy (BKG) comes into play.

Measurements in the Bavarian Forest

BKG operates the Geodetic Observatory in Wettzell (GOW), which is located in the natural environment of the Bavarian Forest. One of BKG's tasks is to collect data with two different types of gravimeter in order to determine the Earth's gravity:

- absolute gravimeters
- relative gravimeters

An **absolute gravimeter** makes it possible to determine the absolute value of gravity acceleration. The value generally known to be 9.81 m/s², varies with location and even with time. An absolute gravimeter utilises the principle of free fall. Already the physicist Isaac Newton is said to have discovered the phenomenon of gravity from a falling apple. Absolute gravimeters are portable and provide stable measurements over the long term. They are therefore used at different locations. Twice a year, BKG employees carry out measurements at various points around Wettzell using a field-compatible instrument in order to obtain information about the water balance. However, hydrological signals are comparatively weak. The absolute gravimeter is therefore reaching the limits of its technology. "During a measurement process, the device registers the sum of various signals. Many of these are now well known to us and can be modeled," says Dr. Hartmut Wziontek, Head of the Section Gravity Metrology, explaining the measuring principle of gravimeters, "the task now is to get to the bottom of the smallest and as yet unknown influences."

Superconducting gravimeters, which are relative gravimeters, measure even the smallest changes in gravitational acceleration, as these instruments are extremely sensitive due to their special measuring principle. Their design is also complex. They are therefore only suitable for use at a fixed location. "The sensitive element is a hollow sphere that is about half the size of a table tennis ball. The sphere floats in a magnetic field and moves when the gravity field changes," says Hartmut Wziontek, explaining the method. The technology for superconducting gravimeters has improved steadily in recent years. Modern devices can therefore record very fine signals extremely reliably using this method. With superconducting gravimeters, the experts obtain values every second that also contain the influences of changes in water storage within a radius of up to one thousand metres.

All good things come in threes: the hydrological model

The spatial distribution of the water masses on the Earth's surface and in the layers near the ground also influences the signal that the geodesists perceive in their measurements of the gravity field. However, in order to draw realistic conclusions about the distribution, simulations of these processes are required. These describe how the water moves on and in the ground. The water cannot penetrate to any depth because it encounters impermeable layers. The body of water that forms above this is the groundwater. To model the distribution of water, experts use measured data such as precipitation, evaporation and runoff. The composition of the soil, its surface and its moisture content are also important parameters. Geodesists can in turn use the simulated distribution of water to calculate the measurement signal to be expected for a gravimeter from such a mass distribution. The simulations are compared with the measured signals and this allows the selection of the model that is best suited to predicting the water resources.

Once through the whole of Germany

In order to make complete statements about the changes in water storage in Germany through gravity measurements alone, strictly speaking, a close-meshed network of superconducting gravimeters would have to run across the whole of Germany. This would mean setting up a measuring station every kilometre and is by no means feasible. However, a selective implementation of a gravimeter network is an alternative that BKG is tackling in cooperation with partner institutions, in particular the German Research Centre for Geosciences in Potsdam (GFZ). BKG cur-

sind uns inzwischen gut bekannt und können modelliert werden“, erklärt Dr. Hartmut Wziontek, Referatsleiter für das Fachgebiet der Schweremessung, das Messprinzip von Gravimetern. „Es gilt nun, den kleinsten und noch unbekannten Einflüssen auf den Zahn zu fühlen.“

Supraleitende Gravimeter, die Relativgravimeter sind, messen selbst kleinste Änderungen der Schwerebeschleunigung, da diese Instrumente aufgrund ihres besonderen Messprinzips enorm empfindlich sind. Zudem ist ihr Aufbau komplex. Daher eignen sie sich nur zur Nutzung an einem festen Standort. „Die Messungen erfolgen durch eine Kugel, die etwa halb so groß wie ein Tischtennisball und ebenso innen hohl ist. Die Kugel schwebt in einem Magnetfeld und bewegt sich bei Veränderungen des Schwerefeldes“, erklärt Hartmut Wziontek die Methode.

Die Technologie für supraleitende Gravimeter hat sich in den letzten Jahren beständig verbessert. Moderne Geräte können daher äußerst zuverlässig sehr feine Signale mit dieser Methode erfassen. Mit supraleitenden Gravimetern erhalten die Experten sekündlich Werte, die auch die Einflüsse von Änderungen in der Wasserspeicherung in einem Radius von bis zu eintausend Metern enthalten.

Aller guten Dinge sind Drei: das hydrologische Modell

Auch die räumliche Verteilung der Wassermassen auf der Erdoberfläche und in den bodennahen Schichten beeinflusst das Signal, das die Geodäten in ihren Messungen des Schwerefeldes wahrnehmen. Doch um realistische Aussagen über die Verteilung zu treffen, bedarf es Simulationen dieser Prozesse. Diese beschreiben, wie sich das Wasser auf und im Boden bewegt. Das Wasser kann nicht beliebig tief eindringen, denn es stößt auf undurchlässige Schichten. Der Wasserkörper, der sich darüber ausbildet, ist das Grundwasser. Um die Verteilung des Wassers zu modellieren, verwenden Experten Messdaten wie Niederschlag, Verdunstung und Abfluss. Auch der Aufbau des Bodens, seine Oberfläche und sein Feuchtegehalt sind wichtige Parameter. Geodäten können aus der simulierten Verteilung des Wassers wiederum berechnen, welches Messsignal für ein Gravimeter aus einer solchen Massenverteilung zu erwarten ist. Die Simulationen werden mit den gemessenen Signalen verglichen und dies erlaubt die Auswahl des Modells, das zu Vorhersagen über die Wasserressourcen am besten geeignet ist.

Einmal durch ganz Deutschland

Um vollständige Aussagen über die Veränderungen in der Wasserspeicherung in Deutschland durch Schweremessungen allein zu treffen, müsste man strenggenommen ein engmaschiges Netz von supraleitenden Gravimetern über ganz Deutschland ziehen. Das würde bedeuten, jeden Kilometer eine Messstation zu errichten, was keinesfalls realisierbar ist. Eine punktuelle Umsetzung eines Gravimeternetzwerkes ist jedoch eine Alternative, die das BKG in Kooperation mit Partnerinstitutionen, vor allem mit dem Deutschen Geoforschungszentrum in Potsdam (GFZ), in Angriff nimmt. Aktuell betreibt das BKG in Deutschland zwei Stationen mit supraleitenden Gravimetern in Wettzell und Bad Homburg. Das GFZ unterhält Stationen auf Helgoland, auf der Zugspitze, in Mecklenburg und bald auch in Coswig nahe der Elbe. Im Jahr 2023 startete das BKG damit, in Partnerschaft mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD), in Leipzig-Holzhausen eine erste neue Station für ein Gravimeternetzwerk zu errichten. Im Zusammenspiel mit den Satellitendaten und den hydrologischen Modellen wird das Gravimeternetzwerk dazu beitragen, belastbare Aussagen auch über regionale Veränderungen der Ressource Wasser zu treffen.

rently operates two stations in Germany with superconducting gravimeters in Wettzell and Bad Homburg. The GFZ maintains stations on Helgoland, on Mount Zugspitze, in Mecklenburg and soon also in Coswig close to river Elbe. In 2023, BKG started to set up the first new station for a gravimeter network in Leipzig-Holzhausen in partnership with Germany's National Weather Service (DWD). In combination with satellite data and hydrological models, the gravimeter network will help to make reliable statements even about regional changes in water resources.

Hintergrundbild/Background image: Daniel Baumbach / EyeEm via Getty Images
Hubschrauber/Helicopter: Bundespolizei

DOPDirekt: Digitale Lagebilder in nahezu Echtzeit

Egal, ob zur Bewertung von Waldbrandschäden, zur Hilfestellung bei Flüchtlingslagen oder zur Vorbereitung des Sicherheitskonzepts einer Fußball-Europameisterschaft – beim Satellitengestützten Krisen- und Lagedienst (SKD) am BKG erhalten Bundesbehörden schnelle und unkomplizierte Unterstützung. Binnen kürzester Zeit liefern die Mitarbeitenden des SKD aktuelle Lagebilder und -karten an die zuständigen behördlichen Stellen. Vor allem ein Ereignis aus den letzten Jahren hat gezeigt, dass eine schnelle Krisenreaktion essenziell ist, um Folgen abschätzen zu können: Bei der Hochwasserkatastrophe im Ahrtal im Juli 2021 war das Ausmaß der Zerstörung durch die Wassermassen enorm. Zahlreiche Menschen wurden verletzt und über 130 kamen ums Leben. Hier unterstützte unter anderem das BKG die Einsatz- und Hilfskräfte sowie Stabsstellen bei der Lagebewältigung.

Einschränkungen bei Satellitenbildern in der Katastrophenhilfe

Zeitgleich sah sich das SKD-Team mit der Herausforderung konfrontiert, möglichst schnell an hochaufgelöste Fernerkundungsdaten, d. h. detailreiche Bilder des Ereignisses, aufgenommen von Satelliten, zu kommen. Gerade bei Hochwasser, welchem oftmals starke Niederschläge vorangehen, ist der Himmel meist wolkenbedeckt. Eine verwertbare Satellitenbildaufnahme im optischen Bereich, was im weitesten Sinne einem Kamerafoto entspricht, ist dadurch nicht möglich. Die Radar-Technologie an Bord von Satelliten lässt zwar eine Aufnahme auch bei Wolkenbedeckung zu, ist aber aufgrund der ungewöhnlichen Darstellung für viele Einsatzkräfte nicht ideal nutzbar. Zudem kann es aus technischen und organisatorischen Gründen mehrere Tage dauern, bis es zu einer Satellitenbild-Neuaufnahme kommt, das Bild beim BKG vorliegt und dieses für die Nutzung durch Hilfskräfte aufbereitet werden kann.

Schnell, unkompliziert und ressourcenschonend: DOPDirekt

Konfrontiert mit den Einschränkungen von Satellitenbilddaten, erkannte das BKG die Potenziale von unbemannten Luftfahrzeugen („Drohnen"), Hubschraubern oder Flugzeugen – den sogenannten „luftgestützten Trägerplattformen" – für detailreiche Neuaufnahmen aus der Luft. Aus diesem Grund setzte sich das BKG das Ziel, bei Ereignissen wie dem Hochwasser im Ahrtal zusätzlich zur Satellitenbildanalyse Luftbildaufnahmen zur Verfügung zu stellen. Mit dieser Intention rief das BKG das Projekt „DOPDirekt" ins Leben: Zukünftig sollen für Bundesbehörden schnell, unkompliziert und ressourcenschonend die Potenziale hochaufgelöster Luftbilder nutzbar gemacht werden. Mit der Fliegerstaffel der Bundespolizei (BPOL) konnte das BKG hierfür einen verlässlichen und infrastrukturell bestens aufgestellten Projektpartner gewinnen.

DOPDirekt: Digital situation reports in near real time

Whether for assessing forest fire damage, providing assistance in refugee situations or preparing the security concept for a European Football Championship - the Satellite-Based Crisis and Spatial Information Service (SKD) at BKG provides federal authorities with fast and uncomplicated support. Within a very short time, the SKD staff provide the relevant authorities with up-to-date situation reports and maps. One recent event in particular has shown that a rapid crisis response is essential in order to be able to assess the consequences: During the flood disaster in the Ahr Valley in July 2021, the extent of the destruction caused by the masses of water was enormous. Numerous people were injured and over 130 lost their lives. Here, too, SKD supported the emergency and relief services as well as staff units with products to manage the situation.

Restrictions on satellite images in disaster relief

At the same time, the SKD team was faced with the challenge of obtaining high-resolution remote sensing data, i.e. detailed images of the event taken by satellites - as quickly as possible. Especially during floods, which are often preceded by heavy rainfall, the sky is usually overcast. It is therefore not possible to obtain a usable satellite image in the optical range, which in the broadest sense corresponds to a camera photo. Although the radar technology on board satellites allows images to be taken even when there is cloud cover, this is not ideal for many emergency services due to the unusual visualisation. In addition, for technical and organisational reasons, it can take several days before a new satellite image is taken, the image is available at the SKD and the SKD can process it for use by the emergency services.

Fast, uncomplicated and resource-saving: DOPDirekt

Faced with the limitations of satellite image data, BKG recognised the potential of unmanned aerial vehicles (so-called „drones"), helicopters or aircraft – the so-called „airborne carrier platforms" – for detailed new images from the air. For this reason, BKG set itself the goal of being able to provide aerial images in addition to satellite image analyses in the event of incidents such as the flooding in the Ahr valley in order to support the federal government's relief efforts. With this in mind, BKG launched the „DOPDirekt" project: In future, the potential of high-resolution aerial images is to be utilised quickly, easily and in a resource-saving manner for federal authorities. In the Flying Squadron of the Federal Police (BPOL), BKG has gained a reliable project partner with the best possible infrastructure.

DOP … was?

„DOPDirekt“ steht dabei für „Digitales Orthophoto“ (DOP), welches „direkt“ zur Verfügung steht. Ein DOP ist eine weiterverarbeitete Sonderform eines Luftbildes. Dafür braucht es eine Reihe von überlappenden Einzelfotos, welche – im Fall von DOPDirekt – die Bundespolizei während einer Befliegung oder mehreren Überfliegungen aufnimmt. Diese Einzelfotos werden zu Orthophotos verarbeitet, indem der SKD sie, ähnlich wie bei einem Puzzle, zu einem Gesamtbild zusammensetzt. Bei dessen Erzeugung werden zusätzlich Orientierungsparameter einberechnet, die die Ausrichtung der Kamera zum Zeitpunkt der Aufnahme beschreiben. Daraus entsteht ein Bild in „Parallelprojektion“: Hierbei sind alle Objekte so abgebildet, als ob eine betrachtende Person senkrecht von oben auf z. B. ein Gebäude blickt. Ziel dieses Prozesses ist es, „sichttote“ Bereiche im Bild durch „kippende“ Objekte zu vermeiden. Gerade für Einsatzkräfte ist ein lückenloses Bild ohne Informationsverlust wichtig, um nichts in ihrer Lagebeurteilung zu übersehen.

Stärkerer„Kippeffekt“: Die Seiten der LKW werden erkennbar, da die Objekte vom Hubschrauber aus einer „schrägen“ Perspektive aufgenommen wurden.
Stronger "tilt effect": The sides of the trucks become recognizable because the objects were photographed from the helicopter from an "oblique" perspective.

Geringer „Kippeffekt“, da sich der Hubschrauber fast senkrecht über den Containern befindet.
Low "tilting effect", as the helicopter is positioned almost vertically above the containers.

Das Know-how zur automatisierten Erzeugung solcher Orthophotos gehört zum Standardrepertoire der im Geoinformationsbereich tätigen Behörden und somit auch des BKG. Was fehlte, um dieses Wissen auch für schnelle Lageinformationen zu nutzen, war die Möglichkeit, überhaupt Luftbilder ad-hoc aufzunehmen.

Gemeinsam im Einsatz für schnelle Lagebilder

Die BPOL verfügt über geeignete Hubschrauber an zwölf Standorten in Deutschland, so dass jeder Ort in der Bundesrepublik binnen weniger Stunden erreichbar ist. Ausgestattet sind diese Hubschrauber mit Videokameras, die die BPOL bei Einsätzen nutzt, um die Situation aus einer weiteren Perspektive zu beurteilen und zu dokumentieren. Somit war ein attraktiver Projektpartner gefunden, gerade auch für Einsätze, bei denen es schnell gehen muss. Dass auch die Bundespolizei bei eigenen Einsätzen vom Know-how der Orthophoto- und Kartenerstellung des BKG profitiert, macht die Kooperation zu einer Win-win-Situation.

Vom Live-Video zum detaillierten Lagebild

Wie oben bereits erwähnt, benötigt es Einzelbilder für die Erstellung von Orthophotos. Diese sollten am besten senkrecht zum Boden aufgenommen werden. Das ist kein leichtes Unterfangen, da die Hubschrauber der BPOL mit Kameras ausgestattet sind, um Live-Videoaufnahmen zu erzeugen. Dabei werden die anvisierten Objekte aus einem schrägen Winkel gefilmt. Um für ein DOP geeignetes Bildmaterial zu erhalten, müssen die Hubschrauber oder manchmal auch eine Drohne, in eng nebeneinanderliegenden Bahnen ein Gebiet abfliegen. Das nennt sich „Patternflug“. Auch hier besteht ein Unterschied zum „normalen“ BPOL-Einsatz, denn für gewöhnlich „steht“ der Hubschrauber in der Luft, um mit der Video-Kamera die Geschehnisse am Boden zu verfolgen.

Entwicklung neuer Verfahren und Prozesse

In einem ersten Schritt definierte der SKD die Anforderungen an die Bilddaten, aus welchen später die Orthophotos erzeugt werden sollen. Darauf aufbauend leiteten die Projektbeteiligten des BKG und der BPOL in mehreren gemeinsamen Workshops Maßnahmen mit dem Ziel ab, die bestmögliche Datengrundlage zu schaffen:

- Der SKD prüfte erfolgreich, ob die Videos, welche durch die an den Hubschraubern angebrachten Kameras aufgenommen wurden, grundsätzlich alle relevanten Informationen liefern, um Orthophotos zu generieren.
- Die Pilotinnen und Piloten der BPOL eigneten sich parallel den für die Aufnahme der sich überlappenden Luftbilder notwendigen Patternflug an.
- Der SKD entwickelte eine halbautomatische, softwarebasierte Lösung, um aus dem von der BPOL gelieferten Rohmaterial, den Videos, einzelne Luftbilder zu extrahieren, die wiederum als Grundlage für die Erzeugung von Orthophotos dienen.

DOP … what?

“DOPDirekt” stands for “Digital Orthophoto” (DOP), which is available “directly”. A DOP is a further processed special form of an aerial photograph. This requires a series of overlapping individual photos, which – in the case of DOPDirekt – were taken by the Federal Police during an aerial survey or several overflights. These individual photos are processed into orthophotos by the SKD assembling them into an overall image, similar to a jigsaw puzzle. Orientation parameters that describe the orientation of the camera at the time the image was taken are also taken into account when the image is created. This results in a “parallel projection” image: all objects are depicted as if a person were looking vertically from above at a building, for example. The aim of this process is to avoid “visually dead” areas (blind spots) in the image due to “tilting” objects. A complete image without any loss of information is particularly important for emergency services so that nothing is overlooked in their assessment of the situation.

The expertise for the automated generation of such orthophotos is part of the standard repertoire of authorities working in the geoinformation sector, including BKG. What was missing in order to utilise this knowledge for rapid situation information was the ability to capture aerial images on an ad-hoc basis.

Working together for rapid situational awareness

The BPOL has suitable helicopters at twelve locations in Germany so that every location in the country can be reached within a few hours. These helicopters are equipped with video cameras, which the BPOL uses during operations to assess and document the situation from a wider perspective. An attractive project partner was thus found, especially for operations that need to be carried out quickly. As the Federal Police also benefit from SKD’s orthophoto and mapping expertise during their own operations, the cooperation is a win-win situation.

From live video to detailed situational awareness

As mentioned above, individual images are required to create orthophotos. These should ideally be taken perpendicular to the ground. This is no easy task, as the BPOL helicopters are equipped with cameras to produce live video recordings. The targeted objects are filmed from an oblique angle. In order to obtain image material suitable for a DOP, the helicopters or sometimes a drone, have to fly over an area in closely spaced paths. This is called a “pattern flight”. Here, too, there is a difference to “normal” BPOL operations, as the helicopter is usually “stationary” in the air in order to follow events on the ground with the video camera.

Development of new procedures and processes

In a first step, the SKD defined the requirements for the image data from which the orthophotos would later be generated. Based on this, the project participants from BKG and BPOL derived measures in several joint workshops with the aim of creating the best possible data basis:

- The SKD successfully checked whether the videos recorded by the cameras attached to the helicopters provided all the relevant information required to generate orthophotos.
- At the same time, the BPOL pilots familiarised themselves with the pattern flight required to record the overlapping aerial images.
- The SKD developed a semi-automatic, software-based solution to extract individual aerial images from the raw material supplied by the BPOL, the videos, which in turn serve as the basis for generating orthophotos.

The processes and methods developed were tested and continuously improved on the basis of several test flights, including the aerial survey of Schloss Elmau for the G7 summit in 2022.

Inter-agency cooperation - a success story!

With DOPDirekt, BKG in cooperation with BPOL, was able to create the technical and organisational prerequisites for a workflow to quickly and easily provide high-resolution situational images for emergency services in a wide variety of scenarios. However, the technical process developed at BKG is by no means limited to video recordings from the cameras mounted on the BPOL helicopters. For example, drone or aeroplane images can also be used as raw data, which is why BKG is currently endeavouring to offer a new service in the area of processing a wide range of aerial images for federal authorities in the future. To this end, SKD will contact authorities and organisations that are equipped with the relevant infrastructure. SKD employees would like to use networks to gather ideas on the utilisation and further development potential of ad hoc orthophotos and further expand their knowledge.

Anhand mehrerer Testflüge, darunter auch die Befliegung des Schlosses Elmau zum G7-Gipfel 2022, wurden die entwickelten Prozesse und Methoden getestet und kontinuierlich verbessert.

Behördenübergreifende Zusammenarbeit – eine Erfolgsstory!

Mit DOPDirekt konnte das BKG in Zusammenarbeit mit der BPOL die technischen und organisatorischen Voraussetzungen für einen Workflow schaffen, um für unterschiedlichste Szenarien schnell und unkompliziert hochaufgelöste Lagebilder für Einsatzkräfte zu liefern. Das im BKG entwickelte technische Verfahren ist aber keinesfalls beschränkt auf Videoaufnahmen der an den BPOL-Hubschraubern montierten Kameras. Als Rohdaten können beispielsweise auch Drohnen- oder Flugzeugaufnahmen dienen, weshalb das BKG derzeit anstrebt, in Zukunft eine neue Serviceleistung im Bereich der Verarbeitung verschiedenster Luftbildaufnahmen für Bundesbehörden anzubieten. Hierzu wird das BKG mit Behörden und Organisationen in Kontakt treten, die mit einer entsprechenden Infrastruktur ausgestattet sind. Über Netzwerke möchten die Mitarbeitenden des SKD Impulse zu Nutzungs- und Weiterentwicklungspotenzialen von Ad-hoc-Orthophotos einholen und ihr Wissen weiter ausbauen.

Wo Sie uns finden: Standorte und Kontakt

Das BKG ist an drei Standorten in Deutschland vertreten: die zentrale Dienststelle in Frankfurt am Main, die Außenstelle in Leipzig und das Geodätische Observatorium Wettzell im Bayerischen Wald.

- **Zentrale Dienststelle in Frankfurt am Main**
  Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
  Richard-Strauss-Allee 11
  60598 Frankfurt am Main
  Deutschland
  Telefon: 069 6333-1
  Telefax: 069 6333-235
  E-Mail: mailbox@bkg.bund.de
  Internet: http://www.bkg.bund.de

- **Außenstelle in Leipzig**
  Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
  – Außenstelle Leipzig –
  Karl-Rothe-Straße 10-14
  04105 Leipzig
  Deutschland
  Telefon: 0341 5634-0
  Telefax: 0341 5634-415
  E-Mail: mailbox@bkg.bund.de

- **Geodätisches Observatorium Wettzell**
  Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
  – Geodätisches Observatorium Wettzell –
  Sackenrieder Straße 25
  93444 Bad Kötzting
  Deutschland
  Telefon: 09941 603-0
  Telefax: 09941 603-222
  E-Mail: info-gow@bkg.bund.de

Where to find us: Locations and contact details

BKG has three locations in Germany: the Central Office in Frankfurt am Main, its branch office in Leipzig and the Geodetic Observatory in Wettzell in the Bavarian Forest.

- **Central Office in Frankfurt am Main**
  Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
  Richard-Strauss-Allee 11
  60598 Frankfurt am Main
  Germany
  Phone +49 69 6333-1
  Fax +49 69 6333-235
  Email: mailbox@bkg.bund.de
  Internet: http://www.bkg.bund.de

- **Branch Office in Leipzig**
  Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
  – Außenstelle Leipzig –
  Karl-Rothe-Straße 10-14
  04105 Leipzig
  Germany
  Phone +49 341 5634-0
  Fax +49 341 5634-415
  Email: mailbox@bkg.bund.de

- **Geodetic Observatory Wettzell**
  Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
  – Geodätisches Observatorium Wettzell –
  Sackenrieder Straße 25
  93444 Bad Kötzting
  Germany
  Phone +49 9941 603-0
  Fax +49 9941 603-222
  Email: info-gow@bkg.bund.de

Kontakt & Impressum
Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)
www.bkg.bund.de
mailbox@bkg.bund.de

Zentrale Dienststelle Frankfurt am Main
Richard-Strauss-Allee 11
60598 Frankfurt am Main
Telefon: 069 6333-1

Herausgeber, Konzeption und Redaktion
© Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, 2024

Druck
Silber Druck oHG, Lohfelden

Die Broschüre wurde auf FSC® Recycled Papier gedruckt. Außerdem wurde die Broschüre CO_2-neutral produziert.

Titelbild:
Historische Karten: Institut für Stadtgeschichte und Stadtvermessungsamt Frankfurt am Main
Klimastreifen: Climate Lab Book (Ed Hawkins).
SVG: CarlinMack

Sofern nicht anders angegeben, stammen die in den Beiträgen verwendeten Bilder vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie.

Contact & Imprint
Federal Agency for Cartography and Geodesy (BKG)
www.bkg.bund.de
mailbox@bkg.bund.de

Central Office Frankfurt am Main
Richard-Strauss-Allee 11
60598 Frankfurt am Main, Germany
Phone +49 69 6333-1

Publisher, concept and editorial office
© Federal Agency for Cartography and Geodesy, 2024

Print
Silber Druck oHG, Lohfelden, Germany

The brochure was printed on FSC® Recycled paper. In addition, the brochure was produced in a CO_2 neutral way.

Cover:
Historical maps: Institut für Stadtgeschichte und Stadtvermessungsamt Frankfurt am Main
Climate strips: Climate Lab Book (Ed Hawkins). CarlinMack created SVG version.

Unless otherwise stated, the images used in the articles are possessed by the Federal Agency for Cartography and Geodesy.

www.bkg.bund.de