

Auf dem Weg zu einem Digitalen Zwilling von Deutschland

Towards a Digital Twin of Germany

Anja Hopfstock | Michael Hovenbitzer | Patrick Knöfel | Florian Lindl | Martin Lenk

Zusammenfassung

Ein hochauflösendes, digitales Abbild Deutschlands soll Behörden dabei unterstützen, aktuelle Herausforderungen wie Klimawandel, steigender Flächenverbrauch oder soziodemografischer Wandel adäquat und ganzheitlich anzugehen. Als Ausgangsbasis wird ein einheitliches und für Deutschland flächendeckendes hochpräzises 3D-Modell auf Basis modernster, luftgestützter Laserscan-Technologie entwickelt. Die geplante Laserscan-Befliegung soll einen Datensatz mit einer Auflösung von mindestens 40 Punkten pro Quadratmeter liefern. Die 3D-Daten werden in einem nächsten Schritt in einer cloud-basierten Datenhaltungs- und Analyseplattform mit anderen Basis- und Fachdaten verknüpft. Die Machbarkeit dieses Vorhabens wird aktuell in einem Demonstrationsvorhaben in Zusammenarbeit mit der Freien und Hansestadt Hamburg eruiert.

Als zentraler Geodatenbroker des Bundes will das BKG vorrangig der Bundesverwaltung neueste technische Möglichkeiten im Bereich des Geoinformationswesens erschließen und anbieten. Das Vorhaben soll darüber hinaus die Interoperabilität, den Austausch und die intensive Zusammenarbeit zwischen den Stellen des Bundes und deren Partnern auf Länder- und Kommunalebene fördern. Das BKG folgt mit diesem Vorhaben einer Initiative der Europäischen Kommission, die ihrerseits einen Digitalen Zwilling für die gesamte Erde entwickelt. Das Vorhaben des Bundes wird in diesen internationalen Kontext eingebettet und damit zum nationalen Beitrag Deutschlands für den Digitalen Zwilling der EU.

Schlüsselwörter: Digitaler Zwilling, 3D-Erfassung, LiDAR, Erdbeobachtung, Big Data, Cloud-Prozessierung, Data Cube, KI-Verfahren

Summary

A high resolution, digital twin of Germany will enable Federal and Local Authorities to address current issues, such as adapting to climate change, increased land use or sociodemographic changes in an efficient and also holistic way. The first step is the development of a countrywide areal LiDAR-scan based 3D model. The LiDAR survey will have a resolution of at least 40 points per square meter. These data will be linked with many other geospatial datasets in a cloud-based data management platform. BKG is currently creating a first prototype in cooperation with the city of Hamburg for demonstrating the feasibility of the concept.

As the central geodata provider inside the Federal Administration, the German Federal Agency for Cartography and Geo-

desy (BKG) will offer new capabilities to its clients. In addition, it will promote interoperability and cooperation between public authorities. The project follows an initiative of the European Commission to create a digital twin of our globe. The digital twin of Germany will be integrated into this pan-European venture.

Keywords: digital twin, 3D survey, LiDAR, earth observation, big data, cloud processing, data cube, artificial intelligence

1 Einleitung

Die Welt, in der wir leben, verändert sich immer schneller. Diese allgemeine Feststellung trifft auf viele gesellschaftliche Bereiche zu. Zum einen auf unsere natürliche Umwelt, die der Mensch grundlegend verändert, zum anderen auf Technologien. Bezogen auf unsere Umwelt ist an erster Stelle der Klimawandel mit all seinen Auswirkungen zu nennen, der vom Menschen gemacht ist und rasant voranschreitet. Trockenheit und Dürre, Überflutungen oder extreme Unwetter, wie Starkregen oder Stürme, sind klimabedingte Veränderungen, die wir derzeit in Deutschland nicht nur beobachten, sondern auch schmerzlich zu spüren bekommen. Hinsichtlich der Technologien bringt die rasche Digitalisierung in allen Lebensbereichen die fundamentalsten Veränderungen mit sich. Internet und Vernetzung, Hochleistungsrechner und Künstliche Intelligenz, Big Data und Big Cloud oder Echtzeitsensorik und Smart Cities bzw. Smart Countries sind heutzutage keine Visionen, sondern werden zunehmend zu einem festen Bestandteil unseres Alltags.

Klimawandel und Digitalisierungstempo sind kein Widerspruch. Die Möglichkeiten der vielseitigen Technologien können genutzt werden, um die Folgen zu bewältigen und den Klimawandel zu überwinden. Im internationalen Maßstab geschieht dies seit vielen Jahren. Die Erdbeobachtungskapazitäten und deren integrale Vernetzung wurden mit Beginn der 2000er Jahre konsequent und nachhaltig ausgebaut. In Europa ist mit dem Erdbeobachtungsprogramm Copernicus eine hochtechnisierte Infrastruktur entstanden, in der Satellitenflotten, cloudbasierte Streaming- sowie Umwelt- und Katastrophenwarndienste den Herausforderungen des Klimawandels begegnen.

Aktuell stehen wir vor einer weiteren Ausbaustufe der Erdbeobachtung in Deutschland, der Entwicklung eines Digitalen Zwillings. Er wird auf der Grundlage von Copernicus und einer Vielzahl allgemein zugänglicher Daten

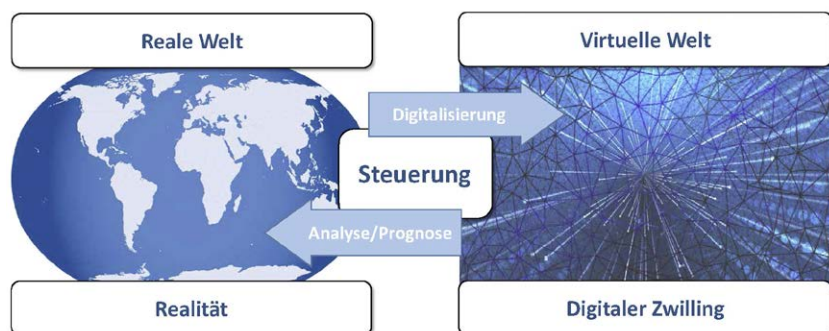


Abb. 1: Vereinfachtes Schema eines Digitalen Zwillings

aufgebaut. Das Konzept eines Digitalen Zwillings geht dabei deutlich über die bisherige Erdbeobachtung hinaus. Neben der Beobachtung, den damit verbundenen Frühwarnungen und der einhergehenden Daten- und Informationsbasis für die Wissenschaft kann man mit einem Digitalen Zwilling unterschiedlichste Simulationsmodelle umsetzen, z. B. Klima- oder Abflussmodelle. Hierfür werden vermehrt Methoden der Künstlichen Intelligenz eingesetzt.

Die Idee und Umsetzung »Digitaler Zwillinge« sind keineswegs neu. In der Industrie werden Digitale Zwillinge beispielsweise als Designmodell für Produkte, Produktionsanlagen, Prozesse und Dienstleistungen genutzt. Der Maßstab ist kleiner, die Zwillinge aber hochkomplex modelliert. Vor dem eigentlichen Fertigungsprozess wird in der Regel eine digitale Version des Produkts »gebaut«, bevor es in der Realität hergestellt wird. Auch im Baugeber und im Facility Management wurde dieses Konzept und sein enormes Potenzial erkannt. Hier ist es unter dem Begriff »Building Information Modeling (BIM)« bekannt. Nun gilt es, dieses Konzept in globalen, kontinentalen und auch nationalen Maßstäben auf Fragestellungen unserer Umwelt und Gesellschaft zu übertragen.

In Europa hat die Europäische Kommission (EK) 2021 die Initiative »Destination Earth« (DestinE) gestartet (Europäische Kommission 2021). Ihr Ziel ist es, die Erde vollständig digital abzubilden. DestinE ist ein wesentlicher

Baustein der europäischen Datenstrategie und in den EU-Programmen »Green Deal« sowie »Digitale Transformation« verankert. Es ist geplant, in den nächsten sieben bis zehn Jahren ein hochpräzises digitales Modell der Erde bereitzustellen, um natürliche und menschliche Aktivitäten zu überwachen (Abb. 1). Bis Ende 2023 sollen bereits zwei thematische Spiegelwelten entstehen: zur Klimawandelanpassung und zu Naturgefahren; weitere werden folgen.

Anfang 2021 hat die Bundesregierung eine Machbarkeitsstudie für einen »Digitalen Zwilling Deutschland« beauftragt. In diesem Projekt stellt das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) in Kooperation mit dem Hamburger Landesbetrieb für Geoinformation und Vermessung (LGV) und der Metropolregion Hamburg (MRH) einen Datenbestand für einen ersten prototypischen Digitalen Zwilling zur Verfügung. Der Datenbestand wird aus unterschiedlichen Quellen generiert, mit Hilfe von 3D-Befliegungsdaten, Cloud-Technologien, Künstlicher Intelligenz, Schnittstellen und Simulationswerkzeugen. Bis voraussichtlich 2023 soll basierend auf den Erfahrungen dieses Prototyps ein »Digitaler Zwilling Deutschland« abgeleitet werden, der das ganze Bundesgebiet abdeckt.

Der »Digitale Zwilling Deutschland« wird ein wichtiges Instrument werden, um Handlungsempfehlungen zu erarbeiten, wenn kritische Situationen zu bewältigen sind. Man denke an hochkomplexe Ereignisse mit großer räumlicher Ausdehnung wie etwa Naturkatastrophen oder der Störung kritischer Infrastrukturen.

- Welche Auswirkungen haben lange Trocken- und Hitzeperioden auf die Landschaften Deutschlands?
- Was geschieht, wenn in Deutschland großflächig die Stromnetze ausfallen?
- Was passiert innerhalb der ersten Stunde und wie ist die Situation 24 Stunden später?

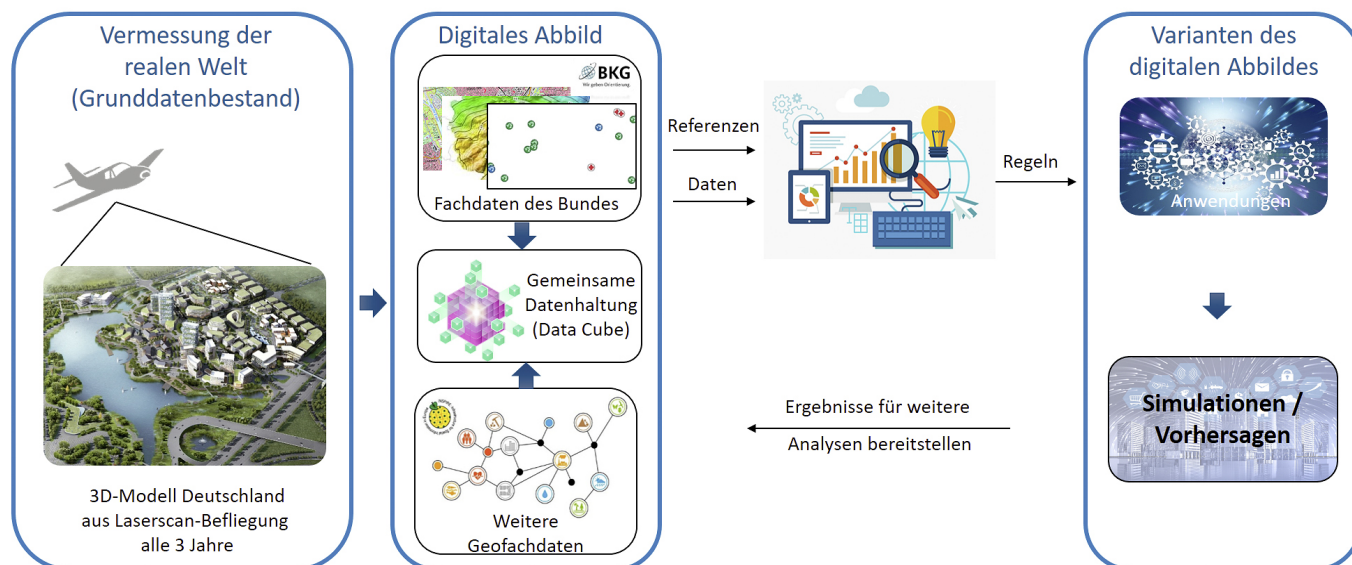


Abb. 2: Schema des Digitalen Zwillings Deutschland

- Wie kann auf solche Ereignisse angemessen reagiert werden und wie lassen sich etwaige Handlungsalternativen simulieren, um sie gegeneinander abzuwägen?
- Welche präventiven Maßnahmen könnten getroffen werden und wie effektiv wären diese?

Das Konzept des Digitalen Zwillings lässt sich auch auf viele weitere politische Entscheidungen übertragen. Flächenverbrauch und Energiebedarf, soziodemografischer Wandel und nicht zuletzt die Klimafolgenanpassung sind weitere Herausforderungen, mit denen die Bundesregierung mehr und mehr konfrontiert ist.

Dieses neu entstehende digitale Abbild Deutschlands steht nicht für sich allein, sondern bildet eine nationale Komponente im vernetzten Europa. Der Digitale Zwilling der Bundesregierung soll sowohl integraler Bestandteil des Globalen Zwillings der Europäischen Kommission sein als auch Schnittstelle zwischen regionalen bzw. kommunalen Zwillingen.

2 Aufbau des Digitalen Zwillings Deutschland

In den Digitalen Zwilling Deutschland fließen möglichst viele Daten der Bundesverwaltung bzw. vorhandene Dateninfrastrukturen und Auswertesysteme der Bundesbehörden ein. So wird eine umfassende Grundlage für die fachliche Analyse gelegt. Dies schließt Situationsanalysen, Simulationen, Zeitreihen und Prognosemöglichkeiten ein. Die ersten Werkzeuge und Anwendungen des Digitalen Zwillings Deutschland werden bereitgestellt, sobald der Grunddatenbestand fertiggestellt ist. Dann können ihn alle interessierten Behörden nutzen und selbst eigene Analysen durchführen und Prognosen ableiten.

Herzstück des Digitalen Zwillings wird ein hochpräzises 3D-Modell mit einer räumlichen Auflösung von weniger als 30 Zentimeter für ganz Deutschland werden. Die 3D-Befliegung findet in der Vegetationsperiode statt, d. h. zwischen März und Oktober, wenn die Bäume Laub tragen. Das 3D-Modell wird mit weiteren Geodaten angereichert, um den Grunddatenbestand des Digitalen Zwillings Deutschland weiter aufzubauen. Hierzu gehören im Wesentlichen Geobasis- und Georeferenzdaten, die vor allem Gebäude, Verwaltungsgebiete, Verkehrselemente, Landschaften oder Landbedeckung und -nutzung klassifiziert beschreiben. In einem zweiten Schritt wird dieser Grunddatenbestand um unterschiedlichste Informationsebenen erweitert, beispielsweise mit Fachdaten zu Klima, Infrastruktur, Landwirtschaft, Verkehrsströmen oder mit aktuellen Satellitenbildern.

Der Datenbestand ist heterogen und dynamisch erweiterbar. Hierfür soll insbesondere für Rasterdaten die Struktur eines mehrdimensionalen »Datacube« zum Einsatz kommen. Datacubes sind vor allem geeignet, um heterogene, äußerst speicherintensive Raum-Zeit-Werte bzw. Rasterdaten abzuspeichern. Die Speicherverwaltung ist im Sinne einer Geodateninfrastruktur föderativ vorgese-

hen. Die Daten können von Nutzern des Digitalen Zwillings dementsprechend auf lokalen Servern gehalten und verarbeitet werden. Neben den Daten-Ressourcen wird der Digitale Zwilling weitere innovative digitale Technologien und Methoden vorsehen: Anbindung an »Echtzeit-Sensorik«, »Internet der Dinge« (engl. Internet of Things, IoT), »Maschinelles Lernen als Teil der Künstlichen Intelligenz« (KI), »Big Data Analytics« und ein modernes Visualisierungstool sind Bestandteil der Grundfunktionalität des Digitalen Zwillings und einer zu schaffenden Plattform.

Die Funktionalität sieht vor, dass mit jeder neuen Anwendung und Simulation neue Informationen und neues Wissen entstehen. Diese werden in die Datenbasis des Zwillings integriert, um darauf aufbauende weitere Fragestellungen zu beantworten. Der Workflow ist dementsprechend keine Einbahnstraße im Sinne eines In- und Output-Schemas. Vielmehr ist es ein dynamischer Kreislauf an Daten, Prognosen und Informationen. Ein simulierter großflächiger Stromausfall in Deutschland kann beispielsweise das Ausgangsszenario sein, um neue, vernetzte, aber kleinräumige unabhängigere Modelle für die Energieversorgung zu entwerfen. Außerdem kann simuliert werden, wie wir mit neuen Landschaften unseren Lebensraum gestalten, oder wie wir mit veränderten Klimabedingungen umgehen, z. B. durch häufigere und intensivere Niederschläge oder langanhaltende Dürreperioden. Der Zwilling hat das Potenzial nicht nur einen, sondern viele Blicke in die Zukunft zu wagen. So können wir schon heute Strategien entwerfen, wie wir uns in Zukunft an die veränderten Bedingungen anpassen.

3 Grunddatenbestand Befliegung

Der Digitale Zwilling Deutschland setzt sich aus Geodaten und weiteren Geofachdaten zusammen. Er basiert auf einem hochpräzisen 3D-Modell, das mit modernster, luftgestützter Laserscan-Technologie aufgenommen wird. Die Fläche der Bundesrepublik Deutschland ist zu groß, um sie innerhalb eines Jahres mit herkömmlichen linearen LiDAR-Verfahren zu erfassen. Daher werden moderne Technologien, wie beispielsweise Geiger-Mode LiDAR (GmL, Bahr et al. 2017) oder Single Photon LiDAR (SPL; Mandlbürger und Lehner 2019), eingesetzt. Diese haben eine hohe Flächenleistung und bieten sich deshalb an, um die Topographie schnell und effizient großflächig zu erfassen. (White et al. 2021). Wie bei der linearen LiDAR-Methode wird auch bei den modernen Methoden die Impulslaufzeitmethode verwendet. Bei dieser wird die Zeitdifferenz zwischen dem ausgesandten Laserimpuls und dem Eintreffen des reflektierten Echos gemessen. Allerdings trifft das reflektierte Echo des hochkollimierten Laserpulses beim linearen LiDAR auf genau einen Detektor. Um die Flächenleistung letztlich erhöhen zu können, wird beispielsweise beim GmL eine Matrix aus Einzelphotonen-empfindlichen Detektoren, ein sogenanntes Geiger-Mode Avalanche Photodioden Array (GmAPD), eingesetzt (Stoker et al.

2016). Hier genügen bereits ein oder wenige Photonen, damit die empfindlichen Detektoren reagieren. Beim SPL werden ebenfalls Einzelphotonen-empfindliche Detektoren eingesetzt. Wesentlicher Unterschied ist die Wellenlänge des eingesetzten Lichts, die im grünen Bereich des Spektrums liegt. Dieser Laserstrahl wird durch ein diffraktives optisches Element in 100 sich nicht überlappende Teilstrahlen (engl. beamlets) zerteilt. Der Laserstrahl wird dabei so abgelenkt, dass ein elliptisches Scanmuster erzeugt wird (Abb. 3), wobei die einzelnen Lasermessungen immer in einem festen Winkel zur Vertikalen emittiert werden. Durch den geeigneten Abtastwinkel können

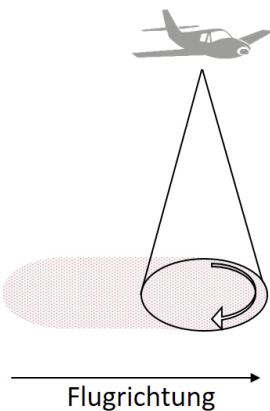


Abb. 3: Messprinzip des SPL-Verfahrens

vertikale Strukturen in allen Blickrichtungen gleichmäßig erfasst werden. Diese gleichzeitig ausgesandten Teilstrahlen werden an der Oberfläche reflektiert. Jeder Teilstrahl wird dann von einem eigenen Detektor empfangen. Dabei besteht jeder einzelne Detektor wieder aus einer Matrix von Einzelphotonen-empfindlichen Zellen (Degan 2016).

Diese Techniken ermöglichen es, Objekte in ihrer Gesamtheit und mit hoher Punktdichte zu erfassen. Angestrebt ist eine Punktdichte von mindestens 40 Punkten pro Quadratmeter für ganz Deutschland. Der Vorteil dieser hohen Punktdichte liegt in der Möglichkeit, Objekte in ihrer Gesamtheit zu erfassen, z. B. Buschwerk unter Baumkronen. Dabei wird eine Höhengengenauigkeit von besser als

10 Zentimeter anvisiert. Es ist geplant, dieses 3D-Modell alle drei Jahre zu aktualisieren, um regelmäßig Veränderungen in der Landschaft Deutschlands zu erkennen und abzubilden. Dies garantiert eine Detailtiefe, die mit traditionellen Laserscan-, Luft- oder Satellitenbilddaten nicht erreicht werden kann, und die so derzeit für Deutschland nicht vorliegt.

Die Ergänzung durch Satelliten- und Echtzeitdaten, die mit Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) ausgewertet werden, steigern die Qualität weiter. Mit KI-Methoden können beispielsweise Objekte aus den Rohdaten der Befliegung maschinell abgeleitet und klassifiziert werden. Im Ergebnis entsteht ein hochkomplexes Modell Deutschlands, mit dem sich u. a. die Fragen in Kapitel 1 beantworten lassen.

4 Demonstrationsvorhaben

Derzeit wird das eingangs vorgestellte Demonstrationsvorhaben in der »Metropolregion Hamburg« durchgeführt. In diesem erarbeiten die Projektpartner die Umsetzungsmöglichkeit der relevanten Technologien, Methoden und Daten für die gesamte Fläche Deutschlands. Anschließend wird das bundesweite Gesamtvorhaben umgesetzt. Im Demonstrationsvorhaben wird ein Teilgebiet der Metropolregion Hamburg mit dem SPL-Verfahren seit Herbst 2021 prototypisch befliegen (Abb. 4). Die Spezifikationen der Befliegung können aus Tab. 1 entnommen werden. So können erste Erfahrungen mit den 3D-Datensätzen gesammelt werden, um die Konzeption des bundesweiten Zwillings zu unterstützen.

Zusätzlich werden Kommunikationswege und -netzwerke mit weiteren Kooperationspartnern bei Bund und

Ländern aufgebaut, um wichtige Erfahrungswerte für die Übertragung auf das komplexe Projekt in Deutschland zu sammeln.

Die Ermittlung technischer Aspekte von Datenerhaltung, -integration und -verarbeitung ist eine weitere Säule des Vorhabens. Hierzu ist eine prototypische Umsetzung auf der Plattform CODE-DE (Copernicus Data and Exploitation Plattform – Deutschland) vorgesehen. CODE-DE bietet die Möglichkeit, cloudbasiert Daten zu prozessieren und zugleich ein Satellitendatenarchiv für ganz Deutschland zu nutzen. Während die Auflösung

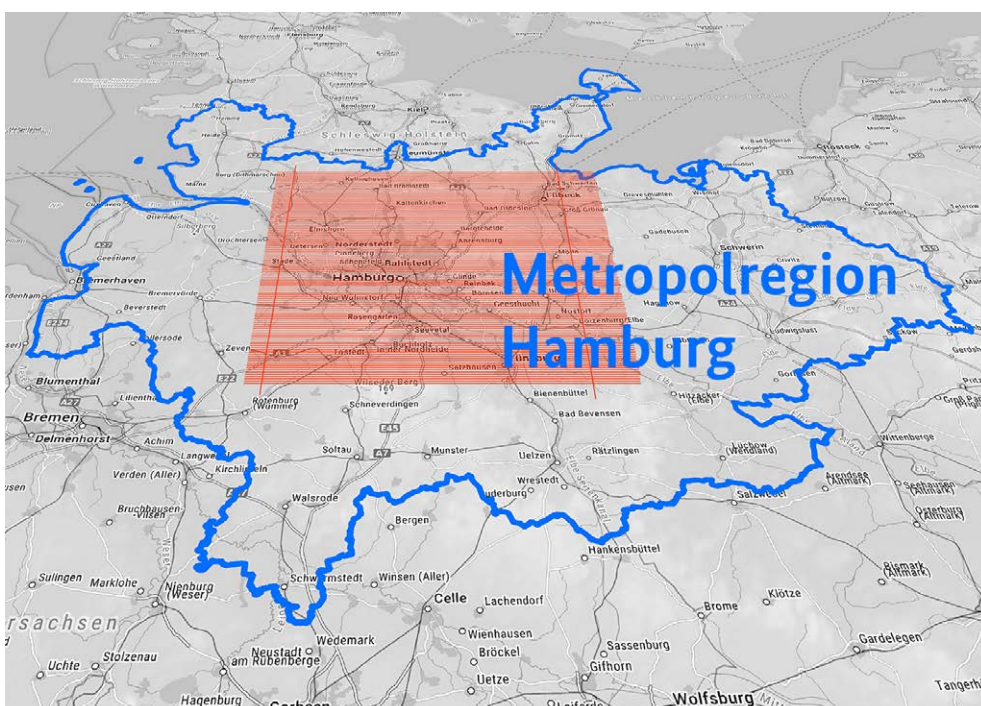


Abb. 4: Lage der Fluglinien für das geplante Erfassungsgebiet

Tab. 1: Projektparameter der 3D-Befliegung (SPL) im Demonstrationsvorhaben

Parameter	Wert	Einheit
Gebietsgröße	8650	qkm
Flugstunden	89	h
Flughöhe über Grund	3350	m
Punktdichte	42	Pkt/qm
Höhengenaugigkeit	<10	cm
Bodenauflösung Luftbilder	22	cm

der LiDAR-Befliegung eine weitaus höhere Detailtiefe erreicht, ist eine Anbindung an Satellitendaten besonders für das ganzheitliche Monitoring vorgesehen.

5 Datenhaltung, Management und Analyse

Bei diesem ambitionierten Projekt entstehen bei einer bundesweiten Flächendeckung Datenmengen im hohen dreistelligen TB-Bereich. Das stellt eine besondere Herausforderung für die Datenhaltung und das Datenmanagement dar. Um den technischen Anforderungen gerecht zu werden und diese Datenmengen für Anwender überhaupt nutzbar zu machen, ist es vorgesehen, eine Cloud-Umgebung zu etablieren. Hierbei sollen nicht nur die Daten selbst im Netz vorgehalten werden, sondern auch der Zugriff, die Bearbeitung sowie die Analyse der Daten über virtuelle Maschinen ermöglicht werden. Dies ist Grundvoraussetzung, um die riesigen Datenmengen effizient und nutzerfreundlich zu verarbeiten, und berücksichtigt den aktuellen Stand der Technik. Für die Weitergabe der Daten, entsprechend der Lizenzbedingungen, ist weiterhin ein robustes Nutzermanagement vorgesehen. Die Cloud-Umgebung wird dem BSI-Grundschutz (BSI 2021) entsprechen.

Für die Analysen sollen, wie oben bereits erläutert, modernste Methoden der KI und Datacubes eingesetzt werden. Eine automatisierte Analyse über große Flächen, unterstützt durch Künstliche Intelligenz, sowie die Anwendung lokaler Methoden auf große Gebiete ist bei den erwarteten Datenmengen unabdingbar. Des Weiteren sind Datacubes ein elementarer Bestandteil zur Integration weiterer Erdbeobachtungsdaten (EO-Daten). Sie haben sich über die letzten Jahre zu einem Industriestandard für die Bereitstellung und Analyse von Erdbeobachtungsdaten entwickelt. Hierbei werden die Rasterdaten in einer speziellen Struktur eines multidimensionalen Würfels vorgehalten, in dem die zeitliche Achse eine zusätzliche Dimension einnimmt. Die Daten werden »analysefertig« bereitgestellt, benötigen also keine Vorprozessierung und können direkt der Analyse zugeführt werden. Außerdem entfallen speicherintensive Operationen wie Datenhaltung oder -transfer für den Endnutzer. So kann das Satellitendatenarchiv einfach und effizient eingebunden werden, besonders in Hinblick auf die hohe zeitliche Frequenz.

6 Anwendungsbereiche

Wie bisher beschrieben, geht der Digitale Zwilling weit über die Struktur eines 3D-Modells hinaus. Er versetzt Verwaltung und Entscheidungsträger in die Lage, bestimmte Bedingungen zu überwachen und Szenarien zu testen. Es können Vorhersagen darüber getroffen werden, wie ein System auf Veränderungen und Modifikationen reagieren wird. Der Zwilling wird zu einer Möglichkeit, den aktuellen und geplanten Zustand eines Systems oder Standorts zu sehen. Das schafft neue Entscheidungsgrundlagen, mit denen Politik und Verwaltung ihre Aufgaben optimal erledigen können.

Das BKG verfügt als zentraler Geo-Dienstleister und verantwortliche Stelle für die Geodateninfrastruktur des Bundes über eine große Anzahl nationaler Geodaten. Sie können zum Aufbau des Digitalen Zwillings Deutschland genutzt werden. Das BKG bringt das notwendige Netzwerk mit, um Datenquellen und Nutzer verwaltungsübergreifend zusammenzuführen. Im Kapitel 2 wurde bereits beschrieben, dass der Digitale Zwilling Deutschland vor allem auf nationale Herausforderungen ausgerichtet werden soll. Für die Bundesverwaltung werden besonders die folgenden Anwendungen interessant sein:

Deutschlandweites Umweltmonitoring des Bundes und Smart Cities

Umweltdaten lassen sich aus einer Reihe verschiedener Quellen im Digitalen Zwilling aggregieren und können dann zentral für Analysen, Vergleiche und Szenarien verwendet werden. Hier sind besonders die Bereiche Präzisionslandwirtschaft, Wassermanagement, Luftverschmutzung oder Klimaveränderung zu nennen. Im Bereich Smart Cities helfen Digitale Zwillinge den Stadtverwaltungen, ihre Aufgaben umwelt-, wirtschafts- und sozialverträglicher zu erfüllen. Nutzende können damit ihre Zukunftspläne visualisieren und Lösungen für die komplexen Probleme testen, mit denen Städte konfrontiert sind.

Überwachung und Modellierung von Ökosystemen

Gesunde Ökosysteme liefern wesentliche Güter und Dienstleistungen für die menschliche Gesellschaft. Sie sind von zentraler Bedeutung, um die Ziele der nachhaltigen Entwicklung in Deutschland und der Welt zu erreichen. Der Druck durch den Einfluss des Menschen auf unsere Umwelt verursacht jedoch ernsthafte Bedrohungen der Integrität, Funktionen und Prozesse von Ökosystemen. Umwelt- und Lebensqualität drohen verloren zu gehen. Um dem entgegenzuwirken, sind insbesondere Schutzgebiete und ihre ausgleichenden Umweltfunktionen von elementarer Bedeutung. Sie sind eine entscheidende Komponente des Naturkapitals und bieten Ökosystemdienstleistungen, die in den umliegenden Regionen oft nicht verfügbar sind. Richtige Bewirtschaftungs- und Erhaltungsmaßnahmen erfordern quantitative Kenntnisse über den Zustand

und die Veränderungen von Ökosystemen. Die jüngsten Fortschritte in der Erdbeobachtung (Fernerkundung und In-situ-Messungen) bieten neue Möglichkeiten, um Ökosystemfunktionen, -prozesse und -dienstleistungen zu überwachen und festzustellen, welcher Belastung sie ausgesetzt sind. Mit dem Digitalen Zwilling kann man die räumlichen Faktoren für die Ausstattung unserer Ökosysteme in Deutschland nachbilden, deren Wechselwirkung mit unserer nicht-natürlichen Umwelt modellieren und beliebige Veränderungsprognosen für die Zukunft simulieren. Beispielsweise: Was geschieht, wenn die anhaltende Trockenheit unsere Wälder nachhaltig schädigt oder deutschlandweite Infrastrukturprojekte wie Windparks oder Großstrassen die Vernetzung unserer Ökosysteme verändern?

Landesverteidigung und Heimatschutz

Der Schutz der Souveränität und Unversehrtheit des deutschen Staatsgebiets sowie seiner Bürgerinnen und Bürger bedürfen einer wirksamen gesamtstaatlichen Sicherheitsvorsorge. Im Digitalen Zwilling wird die reale Welt abgebildet und mit militärischen Zusatzinformationen überlagert. Dadurch ergeben sich neue Möglichkeiten in der Lagedarstellung sowie der Planung, Vorbereitung und Durchführung von Aufgaben des Heimatschutzes, der Nationalen Territorialen Verteidigung sowie der Unterstützung bei Katastrophen. Umfassende, aktuelle, qualitätsgeprüfte und hochgenaue Geoinformationen als Realweltmodell verfügbar zu haben, ist zwingend erforderlich. So kann das Potenzial mehrerer Zukunftstechnologien aus dem Bereich der Virtual und Augmented Reality abgerufen werden. Die hinterlegten Daten sind sowohl für Ausbildung, Übung und schließlich für die Operationsführung selbst von großer Bedeutung. Eine Überlagerung des Digitalen Zwillings mit aktuellen Informationen kann sowohl bei der Landesverteidigung als auch bei Naturkatastrophen und schweren Unglücksfällen genutzt werden, um sich rasch ein Bild über die Lage zu machen.

Weitere Anwendungen sind beispielsweise Raumplanung unter Berücksichtigung des Klimawandels, Simulation über den Anstieg des Meeresspiegels in Nord- und Ostsee, Waldzustandsmonitoring, Waldbrand-Simulationen, schnelle Lagebildgewinnung im Katastrophenfall oder klassische Anwendungsbereiche der Veränderungsanalyse.

7 Fazit und Ausblick

Das BKG wird in naher Zukunft das Konzept des Digitalen Zwillings für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland umsetzen. In einem Demonstrationsvorhaben in der Metropolregion Hamburg wird die Machbarkeit des Konzepts erprobt und es werden beispielhafte Anwendungsfälle dargestellt, so dass die Möglichkeiten des Ansatzes klar erkennbar sind. Basierend auf einer 3D-Befliegung mit einer Punktdichte von mindestens 40 Punkten pro Qua-

dratmeter werden unterschiedliche Anwendungsszenarien analysiert. Diese können dann mit zusätzlichen Geofachdaten der Metropolregion Hamburg, der Landesvermessung Hamburg und des BKG kombiniert und gemeinsam betrachtet werden.

Im Anschluss wird der Ansatz auf die gesamte Bundesrepublik ausgeweitet. Eine entsprechende 3D-Erfassung ist vorgesehen und befindet sich in der Planung. Weiterhin strebt das BKG eine regelmäßige Aktualisierung dieses Datenbestands alle drei Jahre an.

Ziel des Digitalen Zwillings für Deutschland ist es, ein integriertes Datenhaltungs- und Analysesystem für das Bundesgebiet zur Verfügung zu stellen. Der Digitale Zwilling Deutschland wird somit zu einem wichtigen Instrument für die Bewältigung von länderübergreifenden Fragestellungen. Dies gilt insbesondere für hochkomplexe Ereignisse mit großer, räumlicher Ausdehnung – wie etwa Natur- oder Umweltkatastrophen in ganz Deutschland. Weiterhin werden mit dem Digitalen Zwilling Szenarien analysiert und prognostiziert, die auf Geodaten beruhen und mit Geofachdaten verknüpft werden, so dass Grundlagen für Entscheidungen vorliegen.

Literatur

- Bahr, T., Holzer, N., Smith, P. (2017): Geiger-Mode – LiDAR-Technologien der nächsten Generation. 37. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF in Würzburg. Publikationen der DGPF, Bd. 26.
- Europäische Kommission (2021): Shaping Europe's digital future: Destination Earth. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/destination-earth>, letzter Zugriff 10/2021.
- Degnan, J. (2016): Scanning, Multibeam, Single Photon Lidars for Rapid, Large Scale, High Resolution, Topographic and Bathymetric Mapping. *Remote Sensing*, 8(11), 923–958.
- Mandlbürger, G., Lehner, H. (2019): Single Photon LiDAR – Grundlagen und erste Evaluierungsergebnisse. Dreiländertagung der DGPF, der OVG und der SGPF in Wien, Österreich. Publikationen der DGPF, Bd. 28.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2021): IT-Grundschutz-Kompendium. 4. Edition, Köln.
- Stoker, J.M., Abdullah, Q.A., Nayegandhi, A., Winehouse, J. (2016): Evaluation of single Photon and Geiger mode LiDAR. For The 3d Elevation Program. *Remote Sensing*, 8(9), 716–767.
- White, J.C., Woods, M., Krahn, T., Papisodoro, C., Bélanger, D., Onafrychuk, C., Sinclair, I. (2021): Evaluating the capacity of single photon lidar for terrain characterization under a range of forest conditions. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 252, 112169, ISSN 0034-4257. DOI: 10.1016/j.rse.2020.112169.

Kontakt

Dr. Anja Hopfstock | Dr. Michael Hovenbitzer | Dr. Patrick Knöfel | Florian Lindl | Dr. Martin Lenk
Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
Richard-Strauss-Allee 11, 60598 Frankfurt am Main
anja.hopfstock@bkg.bund.de | michael.hovenbitzer@bkg.bund.de | patrick.knoefel@bkg.bund.de | florian.lindl@bkg.bund.de | martin.lenk@bkg.bund.de

Dieser Beitrag ist auch digital verfügbar unter www.geodaesie.info.