

## 9 Geotopographie und Photogrammetrie

Ernst JÄGER, Steffen PATZSCHKE und Christian HEIPKE

### Zusammenfassung

*Die Geotopographie hat als Teildisziplin des Vermessungswesens das Ziel, die reale Landschaft zu beschreiben und abzubilden. Den Begriff Geotopographie gibt es seit Mitte der 1990er Jahre, als der damalige Arbeitskreis „Topographie und Kartographie“ der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) kürzer und prägnanter in Arbeitskreis „Geotopographie“ umbenannt worden ist.*

*Waren einst Karten und textliche Landschaftsbeschreibungen die einzigen Medien zur Speicherung und Darstellung von Landschaftsinformationen, so haben heute vektor- und rasterbasierte Informationssysteme und Datenbanken diese Funktion übernommen. Darin werden die topographischen Daten der Erdoberfläche mit den sichtbaren und teilweise auch mit nicht sichtbaren Gegenständen und Sachverhalten beschrieben. Die sichtbaren Informationen beziehen sich auf die Objektartenbereiche Siedlung, Verkehr, Vegetation, Gewässer und Relief. Zu den nicht sichtbaren Objekten gehören unterirdische Leitungen sowie die Grenzen administrativer Einheiten oder von Schutzgebieten.*

*Zu den Verfahren der geotopographischen Datengewinnung gehören photogrammetrische Aufnahmen sowie Methoden der Fernerkundung inkl. des Laserscanningverfahrens und terrestrische Lage- und Höhenaufnahmen, bis vor einiger Zeit auch das Digitalisieren von analogen Kartenvorlagen. Zu den Produkten der geotopographischen Landes- (bzw. Landschafts-) aufnahme gehören Luftbilder, Digitale Orthophotos (DOP), Digitale Geländemodelle (DGM), Digitale Landschaftsmodelle (DLM) sowie analoge und Digitale Topographische Karten (DTK), die im Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystem (ATKIS®) zusammengefasst sind. 3D-Gebäudemodelle sind ein Kombinationsprodukt aus Daten des Liegenschaftskatasters und Daten der Geotopographie.*

*Die geotopographische Landesaufnahme ist seit jeher eine staatliche Aufgabe gewesen, ursprünglich aus militärischen Gründen heraus motiviert, seit langem aber bereits als Infrastrukturmaßnahme des Staates begründet, um Verwaltung und Wirtschaft eine verlässliche Grundlage für vielfältige Planungs- und Entscheidungsprozesse zu geben. Geotopographische Daten sind Geobasisdaten, die erst im Zusammenwirken mit Geofachdaten oder als Basis in der Wertschöpfungskette einer privatwirtschaftlichen Datenveredelung ihr wahres Potenzial zeigen können.*

*Das Kapitel 9 „Geotopographie und Photogrammetrie“ bezieht sich wegen dieser Basisfunktion der geotopographischen Daten im Wesentlichen auf Entwicklungen und Verfahren des amtlichen deutschen Vermessungswesens, das durch die Bundesländer – teilweise im Zusammenspiel mit Bundesdienststellen – ausgeführt wird und in dem die AdV eine wesentliche ordnende Rolle spielt.*

Quelle: Jäger E., Patzschke S., Heipke, C. 2020: Geotopographie und Photogrammetrie. In: Kummer K., Kötter T., Kutterer H., Ostrau S. (Eds.): Das deutsche Vermessungs- und Geoinformationswesen. vde-Verlag, Berlin, ca. 1280 Seiten, ISBN 978-3-87907-676-5, S. 439-494.

## **Summary**

*Geotopography is a specific area of surveying and mapping with the goal to describe and display the landscape. The term “geotopography” was created in the middle of the 1990s , when the Working Committee of the Surveying Authorities of the States of the Federal Republic of Germany (AdV) renamed one of their working groups from “Topography and Cartography” into “Geotopography”, which is shorter and better fits their topics.*

*Historically, maps and descriptions of landscapes in books or journals have been the only media to store and visualize information about the landscape. Today vector and raster-based information systems and databases fulfil these functions. Topographic data of the Earth’s surface are stored in these systems, describing visible and sometimes also non-visible features and facts. Visible features include data about settlements, transportation, vegetation, waters and relief. Examples of non-visible features are underground pipelines and administrative boundaries of municipalities or protective areas.*

*Photogrammetry and remote sensing incl. laser scanning are special techniques of geotopographic data capture, as well as terrestrial 2D and 3D measurements, and formerly also the digitisation of analogue maps. Results and related products of topographic surveying techniques are aerial images, Digital Orthophotos (DOP), Digital Terrain Models (DGM), Digital Landscape Models (DLM), 3D building models and analogue or Digital Topographic Maps (DTK). All these digital and analogue products are components of the German Authoritative Topographic Cartographic Information System (ATKIS®), 3D building models are a merged product of cadastral data and geotopography data.*

*Geotopographic measurement and mapping of the landscape has always been a public task, originally supporting military goals. However, during the last century the main intention has changed to that of being a civilian infrastructure of the German federal states, to provide reliable data to public and private customers supporting them in their development and planning processes. Today, geotopographic data are so-called geospatial reference data. In combination with geodata of other disciplines and also driven by private investment, geospatial reference data offer real application potential.*

*Because of this basic function of geotopographic data, Chapter 9 mainly deals with developments and methods in use by the public German surveying and mapping agencies, which are organised within the 16 federal states, supported in special fields by some federal agencies. The significant role of AdV is that of a regulating party.*

## 9.1 Geotopographische Landesaufnahme

### 9.1.1 Kurze geschichtliche Einführung

Die Geotopographie beschäftigt sich als Disziplin des Vermessungswesens im engeren Sinne mit der Erfassung und Darstellung sichtbarer Sachverhalte und Objekte der Erdoberfläche (aus dem Griechischen: geo = Erde, topos = Ort, grafein = beschreiben, zeichnen). Die Geotopographie verfolgt das Ziel, die reale Landschaft zu beschreiben. Gestützt auf das Vermessungssystem werden zu diesem Zweck die wesentlichen Objekte der Erdoberfläche wie Siedlungen, Verkehrsnetze, Vegetation, Gewässer, Geländeformen und die Grenzen politischer sowie administrativer Einheiten mit Namen und sonstigen beschreibenden Angaben flächendeckend erfasst und in Datenbanken geführt.“ (GOMILLE 2008).

Während sich das Liegenschaftskataster ursprünglich vor dem Hintergrund einer gerechten und vergleichbaren Besteuerung von Grundbesitz entwickelt hat, lag die systematische geotopographische Landesaufnahme wie in den meisten anderen Staaten auch in Deutschland in der Hand militärischer Dienststellen. Speziell in Norddeutschland wurde die topographische Landesaufnahme und Kartenherstellung bis zum ersten Weltkrieg von militärischen Stellen – in Preußen vom Generalstab – durchgeführt, während in Süddeutschland auch zivile Dienststellen beteiligt waren.

Die ersten systematischen Landesaufnahmen mit dem Ziel, Karten im Maßstab 1:100.000 und größer zur Erfassung und Darstellung des eigenen Herrschaftsbereiches herzustellen, wurden im Süden Deutschlands bereits im 16. und 17. Jahrhundert durchgeführt (TORGE 2007). Spätere Landesaufnahmen im 18. Jahrhundert basierten teilweise bereits auf einer von Cassini (III) ausgehenden trigonometrischen Grundlage (z. B. in Bayern, Württemberg, Oldenburg und Sachsen), während beispielsweise die von 1764 bis 1786 durchgeführte Kurhannoversche Landesaufnahme im Originalmaßstab von 1:21.333,3 ganz ohne Triangulation auskam.

In der Napoleonischen Zeit von 1799 bis 1815 setzte sich dann allgemein die Triangulation als geometrische Grundlage der Landesaufnahmen durch, wobei die Messtischaufnahme das vorherrschende Verfahren der topographischen Detailvermessung wurde (TORGE 2007). In Bayern markierte die Einrichtung des „Topographischen Bureaus“ im Jahr 1801 den Beginn der topographischen Landesaufnahme mit dem Ziel, über einen Aufnahmemaßstab 1:28.000 den „Topographischen Atlas des Königreichs Bayern“ im Maßstab 1:50.000 abzuleiten. In Preußen begann im Jahr 1814 der Generalstab mit der systematischen, militärisch geprägten Landesaufnahme; dabei entstanden die Messtischblätter im Maßstab 1:20.000 sowie die abgeleitete „Preußische Generalkarte im Maßstab 1:86.000“.

Nach dem 1. Weltkrieg wurden die Aufgaben der geotopographischen Landesaufnahme mit der Gründung des Reichsamts für Landesaufnahme vom militärischen Zuständigkeitsbereich in die Zuständigkeit des Reichsministeriums des Innern verlagert. Die nunmehr zivile Behörde gliederte sich neben der Zentralabteilung in eine Trigonometrische, eine Topographische und eine Kartographische Abteilung. Die letzten noch militärisch organisierten geotopographischen Dienststellen in Bayern und Württemberg wurden in den 1920er Jahren in zivile Stellen überführt.

Die nächste größere Zäsur folgte im Jahr 1938 mit der Bildung von 13 Hauptvermessungsabteilungen, die als Mittelinstanzen für die Höhenmessungen und die Landeskartenwerke

1:25.000 und 1:50.000 zuständig waren und die noch bestehenden Landesvermessungsbehörden in Bayern, Sachsen, Württemberg, Baden, Hessen und Mecklenburg ersetzt. Für das Gebiet der alten Bundesrepublik ging schließlich mit dem Inkrafttreten des Grundgesetzes im Jahr 1949 die Kompetenz in Bezug auf das Vermessungs- und Katasterwesen auf die Bundesländer über, da dem Bund dafür keine Zuständigkeit zugesprochen worden ist. Für das Gebiet der ehemaligen DDR wiederum erfolgte mit Regierungsbeschluss Anfang der 50er Jahre des vergangenen Jahrhunderts eine zentral gesteuerte komplette Neuaufnahme des Geländes mit dem Ziel, Topographische Karten im Maßstab 1:10.000 zu erstellen (PATZSCHKE 2003). Seit 1990 sind auch die neuen Bundesländer wieder für das Vermessungs- und Katasterwesen zuständig.

Heute gelten die geotopographische Landesaufnahme und die Erstellung und Aktualisierung daraus hervorgehender Produkte (9.1.2) als Infrastrukturleistung des Staates, so dass sich die Ausführungen im Kapitel 9 im Wesentlichen auf die amtliche Geotopographie beziehen.

### **9.1.2 Bestandteile der geotopographischen Landesaufnahme**

Nach KUMMER & MÖLLERING (2005) ist die geotopographische Landesaufnahme neben der Landesluftbildsammlung und den Topographischen Landeskartenwerken integraler Bestandteil der Geotopographie. Während in älteren Vermessungs- und Katastergesetzen der Länder dieser Aufgabenbereich häufig mit der Erfassung (und Führung) von topographischen Gegenständen und Geländeformen umschrieben wurde, beinhaltet der Begriff der geotopographischen Landesaufnahme heute zusätzlich noch das Digitale Basis-Landschaftsmodell des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS®) (KUMMER & MÖLLERING 2005). ATKIS® definiert alle landschaftsbeschreibenden Geobasisdaten, die von Seiten des Staates interessenneutral, lückenlos, homogen sowie aktuell aufgebaut und gepflegt werden und die allen Nutzern in Verwaltung, Wirtschaft und Forschung zur Verfügung gestellt werden.

Im engeren Sinne wurden mit dem Projekt ATKIS® in den 1980er Jahren zunächst nur die Digitalen Landschaftsmodelle (DLM) sowie die daraus abgeleiteten Digitalen Kartographischen Modelle (DKM), heute als Digitale Topographische Karten (DTK) bezeichnet, definiert. Seit dem Redesign von ATKIS® im Zusammenhang mit der Harmonisierung der Landschaftsbeschreibung und der Beschreibung der Daten des Liegenschaftskatasters in der Mitte der 1990er Jahre gehören auch die bildhaften Daten der Photogrammetrie in Form von Luftbildern und Digitalen Orthophotos (DOP) sowie alle Daten der Digitalen Geländemodelle (DGM) dazu. In letzter Zeit hinzugekommen sind darüber hinaus 3D-Gebäudemodelle. Dieser ganzheitliche Ansatz begründet sich durch die vielfältigen Zusammenhänge der einzelnen Modelle untereinander und vereinfacht die Sicht auf die Prozesskette innerhalb der Geotopographie:

- Zur Herstellung von ATKIS®-DOP werden hochgenaue und aktuelle DGM benötigt.
- Die photogrammetrische Aufnahme und Auswertung der Geländeoberfläche war und ist ein gängiges Verfahren, um Geländehöhenpunkte und Bruchkanten zur Ableitung von DGM, und ggf. auch von Höhenlinien, zu erhalten.
- Teile der DGM-Inhalte (z. B. Böschungskanten) sind auch als Objekte im ATKIS®-DLM definiert.
- Auswertungen aus dem DGM in Form von Höhenlinien und markanten Geländehöhenpunkten werden in den ATKIS®-Kartenwerken dargestellt.

- Die DTK werden aus den Daten des DLM abgeleitet.
- DOP dienen als Aktualisierungsquelle des Digitalen Basis-Landschaftsmodells (ATKIS®-Basis-DLM).
- 3D-Gebäudemodelle stellen als Mischprodukt zwischen Geotopographie und Liegenschaftskataster auch eine Verbindung zu anderen Bereichen des amtlichen Vermessungswesens dar.

Die Zusammenhänge werden in Abbildung 9.1 verdeutlicht.

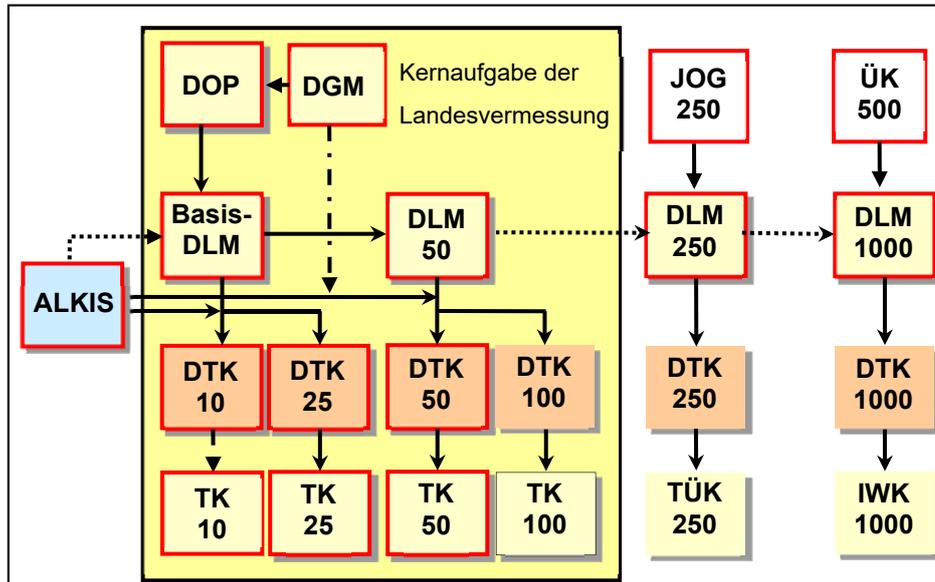


Abb. 9.1: Zusammenhänge innerhalb der ATKIS®-Produktpalette (punktierte Verbindungen gelten für die Aktualisierung)

## 9.2 Datenerfassung in Lage und Höhe

### 9.2.1 Einführung

Die geotopographische Datenerfassung dient in erster Linie der bildhaften Dokumentation der Landschaft zu bestimmten Zeitpunkten mit dem Ziel, durch Ausmessung und Interpretation der aufgenommenen Daten dreidimensionale Informationen in Lage und Höhe über den Zustand bzw. die Veränderung der aufgenommenen Landschaft zu gewinnen. Neben bildgebenden Sensoren werden auch Laserscanner verwendet, mit denen durch Laufzeitmessung eines ausgesandten und wieder empfangenen Pulses die Entfernung zwischen Sensor und Erdoberfläche direkt bestimmt werden kann.

Außer Luftbildern werden für viele Anwendungen auch Satellitenbilddaten eingesetzt, die inzwischen mit einer Bodenauflösung von besser als 1 m angeboten werden, beispielsweise für großräumige Oberflächenanalysen in Landwirtschaft und Statistik, sowie zur Erfassung

von Landbedeckung und Landnutzung und deren Änderungen. Photogrammetrisch betrachtet werden Satellitenbilder sehr ähnlich ausgewertet wie Luftbilder. Wurden bislang Satellitenbilder aber wegen hoher Beschaffungskosten, geringerer Interpretationssicherheit und geringerer Genauigkeit gegenüber Luftbildern sowie der Tatsache, dass die Wetterbedingungen im gewünschten Zeitfenster häufig keine Datengewinnung zulassen, nicht routinemäßig für Aufgaben in den deutschen Landesvermessungsbehörden eingesetzt, so erfolgt hier gerade ein Paradigmenwechsel. Mit dem europäischen Erdbeobachtungsprogramm Copernicus liegen Daten verschiedenster Fernerkundungssatelliten frei verfügbar und in hoher zeitlicher Auflösung vor. Diese Daten, die sowohl von optischen als auch von Radar-Sensoren generiert werden, werden zukünftig die klassische Datenerfassung zur Aktualisierung der Geotopographie zumindest ergänzen. Die nachfolgenden Abschnitte geben deshalb neben den bisherigen (klassischen) Methoden und Verfahren der Informationsgewinnung für die Geotopographie auch einen Überblick über die Daten von Copernicus.

### 9.2.2 Bildflugplanung

Für Bildflüge sind gewisse Standardbedingungen einzuhalten, um zu gewährleisten, dass Luftbildaufnahmen über längere Zeiträume und über Ländergrenzen hinweg eine möglichst einheitliche Qualität aufweisen. Diese Standardbedingungen sind:

- Sonnenschein oder je nach Festlegung hochstehende Wolken mit klaren Sichten;
- Sonnenstand mindestens  $30^\circ$  über Horizont;
- keine Wolken oder Wolkenschatten in den Bildern;
- Befliegungsgebiet frei von Nebel sowie von Hochwasser und Schnee.

Die Bildflugplanung der behördlichen Vermessungsverwaltungen beinhaltet die Unterteilung eines Jahresbildflugprogrammes in sogenannte Bildflugblöcke, deren Größe und Ausdehnung so begrenzt sein sollten, dass ein Bildflug einen bestimmten Block innerhalb einer zusammenhängenden Zeitspanne von 3 bis 4 Stunden abdecken kann. Die Blockgröße variiert in der Regel zwischen  $400 \text{ km}^2$  und  $700 \text{ km}^2$ . Während die Blöcke früher meist im Anhalt an den Blattschnitt der Topographischen Karte 1:50.000 gebildet wurden, werden bei der Blockbildung heute im Sinne einer Hauptnutzergruppe häufig kommunale Gebietsgrenzen berücksichtigt. Für viele Nutzer, wie auch für die Vermessungsverwaltung zur Fortführung der digitalen Landschaftsmodelle, ist das Frühjahr ab Mitte März der optimale Bildflugzeitpunkt, da zu dieser Zeit der Blick auf die Erdoberfläche noch nicht durch Belaubung beeinträchtigt wird. Andere Fachaufgaben benötigen dagegen Sommerbefliegungen, etwa für die Waldschadenskartierung, bzw. wünschen diese, da sie für Tourismuszwecke besser eingesetzt werden können. Diese unterschiedlichen Anforderungen können nicht mit einem einzigen Bildflug abgedeckt werden. Deshalb ist in einigen Fällen unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Gesichtspunkte zu entscheiden, wie die Prioritäten zu setzen sind.

Die für die regelmäßige Befliegung zuständigen Landesvermessungsbehörden der einzelnen Bundesländer haben bis zu Beginn der 2000er Jahre einen 5-jährigen Bildflugturnus eingehalten. Dadurch wurden jährlich für etwa 20 % der jeweiligen Landesfläche Luftbilder und daraus Orthophotos hergestellt. Inzwischen ist ein Zyklus von drei Jahren Standard in den Ländern, er wird inzwischen teilweise auf zwei oder ein Jahr verkürzt.

Für eine sichere stereoskopische Erfassung und Auswertung sowie für eine lückenlose so genannte Dichte Bildzuordnung (Dense Image Matching) werden ausreichende Längs- bzw. Querüberdeckungen der benachbarten Luftbildaufnahmen von in der Regel 60 bzw. 80 % (Längsüberdeckung) und 30 % bzw. 60 % in urbanen Gebieten für die Querüberdeckung vorgegeben. Um das zu gewährleisten, sind für Flugkurs, Bildneigung sowie Bildkantung maximale Abweichung von 50 m, 3 gon sowie 5 gon vorgegeben (ADV 2019). Die Bildflugplanungen sehen die streifenweise Aufnahme der Luftbilder in Ost-West-Richtung vor. Zur Erzielung einer geometrischen Orthophotogenauigkeit von besser als  $\pm 0,2$  m ist eine geeignete Passpunktanordnung zu wählen.

### 9.2.3 Digitale Luftbildaufnahmen

Luftbilder entstehen für die Aufgaben der Landesaufnahme meistens durch Senkrechtaufnahmen aus flugzeuggestützten Plattformen, für manche Zwecke wie die Texturierung von 3D Stadtmodellen werden auch Schrägaufnahmen eingesetzt.

Lange Jahre haben analoge Luftbildkameras die topographische Datenerfassung aus der Luft dominiert. Vor gut 15 Jahren wurden sie jedoch von digitalen Luftbildkameras verdrängt, die statt mit Film mit CCD- oder CMOS-Sensoren (CCD: charged coupled device; CMOS: Complementary Metal-Oxide Semiconductor) ausgestattet sind und so einen komplett digitalen Datenfluss erlauben.

Digitale Kamerasysteme besitzen gegenüber analogen Kameras eine Reihe von Vorteilen:

- Da zwischen Sensor und Optik eine starre Verbindung besteht, ist die Wiederherstellung der inneren Orientierung mit Hilfe von Rahmenmarken überflüssig (konsequenterweise besitzen digitale Kameras keine Rahmenmarken). Vielmehr sind die Koordinaten des Bildhauptpunktes sowohl im Pixel- als auch im Bildkoordinatensystem für alle Bilder identisch, sie werden zusammen mit der Pixelgröße, der Kammerkonstanten, den Koordinaten des Bildhauptpunktes sowie der Verzeichnungswerte als Kalibrierwerte angesehen.
- Arbeiten im Photolabor entfallen ebenso wie das nachträgliche Scannen analoger Bilder.
- Digitale Sensoren besitzen eine höhere geometrische Stabilität als Film.
- Digitale Sensoren haben eine höhere radiometrische Empfindlichkeit und ein besseres Signal-Rausch-Verhältnis (SNR: signal to noise ratio), sie liefern in der Regel eine radiometrische Auflösung von mindestens 12 Bit. Daher sind Flüge auch unter schlechten Lichtverhältnissen bzw. mit höherer Fluggeschwindigkeit möglich, auch sind Schattenbereiche besser auswertbar.
- Digitale Kameras liefern typischerweise Bilder in vier verschiedenen Farbkanälen, die simultan aufgenommen werden und koregistriert sind. Dabei wird in der Regel neben den üblichen Farbkanälen Rot-Grün-Blau das Signal im nahen Infrarot als vierter Kanal aufgenommen, das insbesondere für Vegetationsauswertung wichtig ist.

Heute werden für Zwecke der Landesaufnahme ausschließlich digitale Kamerasysteme verwendet.

Luftbildkameras sind in zwei unterschiedlichen geometrischen Varianten erhältlich. Kameras mit flächenhaften Sensoren liefern konventionelle, zentralperspektivische Bilder. Zeilenkameras, die die Bildinformation mit zeilenartig quer zur Flugrichtung angeordneten Bildelementen aufzeichnen, tasten das Aufnahmegebiet gleichzeitig im Vorwärts-, Senkrecht- und

Rückwärtsblick ab, wodurch es zu zumindest drei sich zu 100 % überlappenden digitalen Bildstreifen kommt (Abb. 9.2). Das Ergebnis von Zeilenkameras ist eine Kombination aus Parallelprojektion (in Flugrichtung) und Zentralprojektion (in Zeilenrichtung). Um trotzdem einen geometrisch stabilen Block bilden zu können, benötigen Zeilenkameras zusätzliche Beobachtungen für die Elemente der äußeren Orientierung, die mit GNSS-Empfängern (Global Navigation Satellite System wie GPS und Galileo) und inertialen Messeinheiten (IMU) gewonnen werden. GNSS/IMU Daten werden oft auch für flächenhafte Sensoren verwendet, dort sind sie jedoch optional.

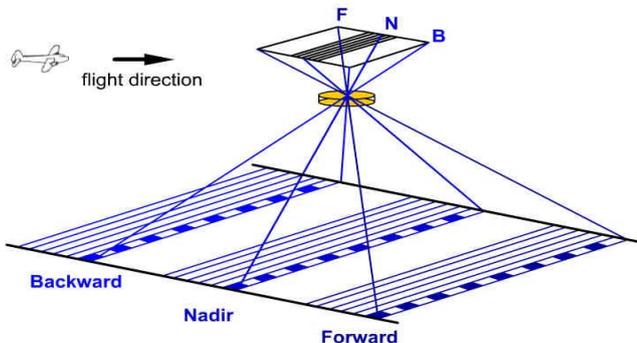


Abb. 9.2: Prinzip der Dreizeilenkamera (MÜLLER 1991)

Digitale Luftbildkameras erreichen eine sehr hohe Bodenauflösung (ground sampling distance, GSD), die gerade bei Flächenkameras im Bereich weniger cm liegt. Bei Zeilenkameras kann die Pixelform am Boden je nach Fluggeschwindigkeit quadratisch oder rechteckig sein, rechteckige Pixel stellen für die Auswertung jedoch keinerlei Nachteile dar. Die GSD ist zum wichtigsten Parameter für die Charakterisierung digitaler Luftbilder geworden, sie übernimmt damit die Rolle des Bildmaßstabs für analoge Luftbilder.

Beispiele für großformatige digitale Luftbildkameras mit Flächensensor sind die DMC III von Leica Geosystems mit einem ca. 15.000 x 25.000 Bildelemente à 3,9 µm großen CMOS-Sensor im panchromatischen Kanal sowie die UltraCam Eagle Prime von Vexcel Imaging, die mehrere CCD-Sensoren besitzt und ein panchromatisches virtuelles Bild mit ca. 15.000 x 23.000 Pixeln à 4,6 µm liefert. Farbbilder werden bei beiden Kameras mit geringerer Auflösung aufgenommen, die (höhere) Auflösung des panchromatischen Kanals wird für Farbbilder mittels der so genannten pan-sharpening Technik erreicht. Die bekannteste Zeilenkamera ist die ADS100 von Leica Geosystems mit einer Zeilenlänge von 20.000 Pixeln à 5 µm für den panchromatischen sowie alle Farbkanäle. Einen umfassenden Vergleich hinsichtlich der geometrischen und radiometrischen Leistungsfähigkeiten unterschiedlicher digitaler Luftbildkameras geben (JACOBSEN ET AL. 2010). In den Landesvermessungsbehörden der Länder sind in den vergangenen Jahren nur Projekte mit Flächenkameras beauftragt worden; Zeilenkameras kamen bisher nicht zum Einsatz.

Neben großformatigen digitalen Luftbildkameras werden am Markt auch Mittelformatkameras angeboten. Sowohl die bereits genannten Firmen als auch Mitbewerber wie IGI und

Trimble bieten derartige Kameras an, meist mit Auflösungen im Bereich von 10.000 x 7.800 Pixeln.

Viel Aufmerksamkeit haben in den letzten Jahren Schrägbildkameras auf sich gezogen (Abb. 9.3). Dabei werden in der Regel so genannte Pentakamera-Systeme angeboten, die aus fünf einzelnen Kameras bestehen, deren optische Achsen senkrecht sowie um jeweils ca. 45 Grad nach vorne, hinten, links und rechts geneigt sind. Solche Systeme werden insbesondere zur Fassadentexturierung von 3D Stadtmodellen verwendet.

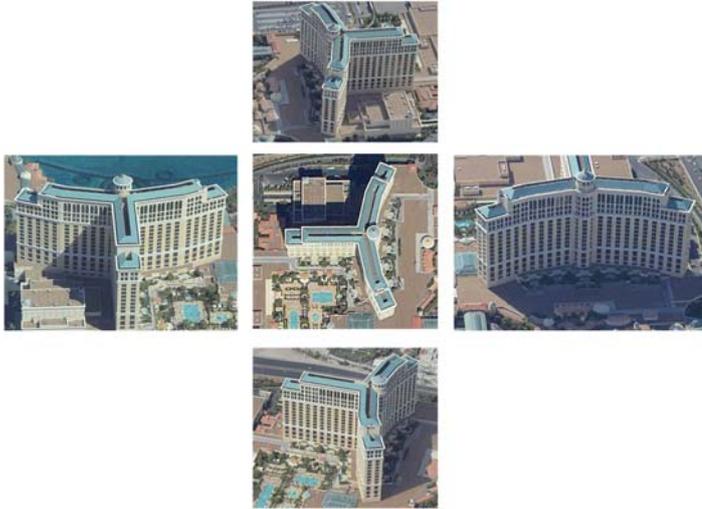


Abb. 9.3: Pentakamera: Kombination einer Nadir Aufnahme mit vier Schrägaufnahmen desselben Gebäudes (© Pictometry). Man beachte: die fünf (Teil-)Aufnahmen wurden von fünf verschiedenen Positionen aufgenommen.

### 9.2.3 Copernicus

Unter dem Namen GMES (Global Monitoring for Environment and Security) wurde von der Europäischen Union seit Beginn des 21. Jahrhunderts zusammen mit der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) ein europäisches, erdbeobachtungs-basiertes Informationssystem aufgebaut. Inzwischen in Copernicus umbenannt, steht heute eine leistungsstarke Infrastruktur zur Bereitstellung globaler Umweltinformationen zur Verfügung. Die Copernicus-Daten sind offen und frei verfügbar. Zu Copernicus gehören das Satelliten- und das Bodensegment, die Copernicus-Dienste, die Daten der so genannten beitragenden Missionen (contributing missions, u.a. TerraSAR-X, RadidEye) und die in-situ-Daten.

Ein wesentlicher Gesichtspunkt bei der Konzipierung von Copernicus war die Garantie, langfristig vergleichbare Daten aufzunehmen, so dass neben der Dokumentation eines Zustands auch die Erfassung von Prozessen mit mehrjähriger oder jahrzehntelanger Laufzeit möglich ist. Letzteres ist insbesondere für Fragen im Bereich Umwelt von entscheidender Bedeutung. Copernicus kommt dieser Forderung nach, bereits heute sind sowohl für Sentinel-1 als auch für Sentinel-2 die jeweils 3. Generation in Planung und die Finanzierung des Systems ist bereits heute bis weit in die Zukunft gesichert.

Mit den Copernicus-Diensten Landüberwachung, Überwachung der Meeresumwelt, Katastrophen- und Krisenmanagement, Überwachung der Atmosphäre, Überwachung des Klimawandels sowie Sicherheit stehen für sechs Themenbereiche (Abb. 9.4) umfangreiche Grundlageninformationen für vielfältige Anwendungen bereit (COPERNICUS 2019, EHLERT & SCHWEITZER 2018). Für die Datengewinnung wird auf die Sentinel-Satelliten, die Daten der beitragenden Missionen sowie die in-situ-Daten zurückgegriffen. Insgesamt sind 7 verschiedene Sentinel-Satelliten-Typen für spezielle Anwendungsbereiche konzipiert. In-situ-Daten sind die nicht über weltraumgestützte Beobachtungssysteme erhobenen Daten. Das sind z.B. Pegelstände, meteorologische Sensoren oder Geobasisdaten wie Orthophotos oder Digitale Geländemodelle (BUNDESREGIERUNG 2017).



Abb. 9.4: Darstellung der Copernicus-Dienste(COPERNICUS 2019)

Die Sentinel-1 Satelliten sind mit einem Radarinstrument mit synthetischer Apertur (SAR) ausgestattet. Damit können, unabhängig von Regen oder Dunst, bei Tag oder Nacht, Daten z.B. zur Überwachung der Polarregionen oder zur Verfolgung von Schiffrouten auf dem Meer gewonnen werden. Ebenso stehen schnell Informationen für Katastrophenfälle und für Änderungen der Vegetationsdichte zur Verfügung. Die Radardaten spielen daneben im Zuge einer interferometrischen Auswertung (InSAR) eine wesentliche Rolle bei der Erfassung von Höhenänderungen. Die Auflösung beträgt 9 bis 40 Meter, die Wiederholrate 6 Tage.



Abb 9.5: Sentinel 2 (Copyright ESA/ATG medialab)

Die Sentinel-2 Satelliten (Abb. 9.5) sind mit einem optischen Multispektralsensor ausgestattet. Sie liefern Aufnahmen im sichtbaren und infraroten Spektrum (443 nm bis 2190 nm). Durch die Kombination der 13 verschiedenen Spektralkanäle sind aus diesen Daten Aussagen zur Veränderungen der Vegetation, des Pflanzenwachstums, des Wasserhaushaltes sowie zur Änderung der Landbedeckung und Landnutzung ableitbar (Abb. 9.6). Sentinel-2 besitzt je nach Kanal eine Auflösung von 10 bis 60 Metern, die Wiederholrate beträgt 5 Tage (ESA 2018, COPERNICUS 2019). Die sehr hohe Wiederholrate basiert sowohl bei Sentinel-1 als auch bei Sentinel-2 auf dem gleichzeitigen Betrieb zweier baugleicher Sentinel-Satelliten im Orbit.



Abb. 9.6: Balaton, Ungarn, 27.02.2019, contains modified Copernicus Sentinel data (2019), processed by ESA, [CC BY-SA 3.0 IGO](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/)

Die weiteren Sentinel-Satelliten (3, 4, 5, 5P, und 6), die entweder schon in einer Erdumlaufbahn sind oder deren Start geplant ist, dienen hauptsächlich der Überwachung der Atmosphäre, der Meeresspiegelhöhe und der Eis- und Meeresoberfläche. Als Sensoren sind Spektrometer, Altimeter und optische sowie Radarsensoren im Einsatz. Für die Belange der Datenerfassung für die Amtliche Geotopographie sind vor allem die Sentinel-1 und Sentinel-2

Satelliten von Interesse. Sämtliche Daten der Sentinel-Satelliten sind kostenfrei verfügbar. Der Datenzugang erfolgt über verschiedene Datenportale der ESA bzw. des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR).

### 9.2.4 Laserscanning

Laserscanning wird im Rahmen der topographischen Geländeaufnahme von Flugzeugen aus zur Höhenbestimmung eingesetzt. Dabei werden in hoher Frequenz Laserpulse ausgesendet und mit Hilfe eines Spiegels quer zur Flugrichtung abgelenkt, um die Oberfläche zeilenförmig abzutasten. Durch Messung der Laufzeit der ausgesendeten und nach der Reflexion am Boden wieder empfangenen Laserpulse ergibt sich ein genaues Maß für die Entfernung zwischen Laserscanner und der Erdoberfläche (Abb. 9.7). Die Position des Laserscanners und die Ausstrahlrichtung werden mittels GNSS/IMU und Kalibrierungsdaten bestimmt; Punkte auf der Erdoberfläche ergeben sich dann über polares Anhängen mit einer Genauigkeit von ca.  $\pm 0,20$  m in der Lage und  $\pm 0,15$  m in der Höhe. Zur Verbesserung der durch GNSS bestimmten Position des Laserscanners werden in aller Regel mehrere terrestrisch eingemessene, ebene Kontrollflächen wie z. B. Fußballfelder herangezogen. Benachbarte Streifen können auch über eine Streifenausgleichung kombiniert werden, die auf Verknüpfungsflächen – wie Dachflächen – beruht (KAGER 2004).

Insbesondere für die Bestimmung von Geländehöhen in bewaldeten Gebieten bietet das Laserscanning klare Vorteile gegenüber Bildern, denn die Laserpulse können durch die Baumkrone auf den im Bild nicht sichtbaren Boden dringen und werden von dort reflektiert. Die Wellenlänge der Laserscanner liegt typischerweise im nahen Infrarot (ca. 1000 nm oder 1500 nm). Für bathymetrische Messungen werden zusätzlich Systeme mit halber Wellenlänge (grünes Licht) eingesetzt. In diesem Fall wird das Infrarotsignal von der Wasseroberfläche reflektiert, während das grüne Licht ins Wasser eindringt und vom Seeboden reflektiert wird, solange die Wassertrübung nicht zu stark ist. Aus der Laufzeitdifferenz zwischen infrarotem und grünem Puls kann dann die Wassertiefe bestimmt werden.

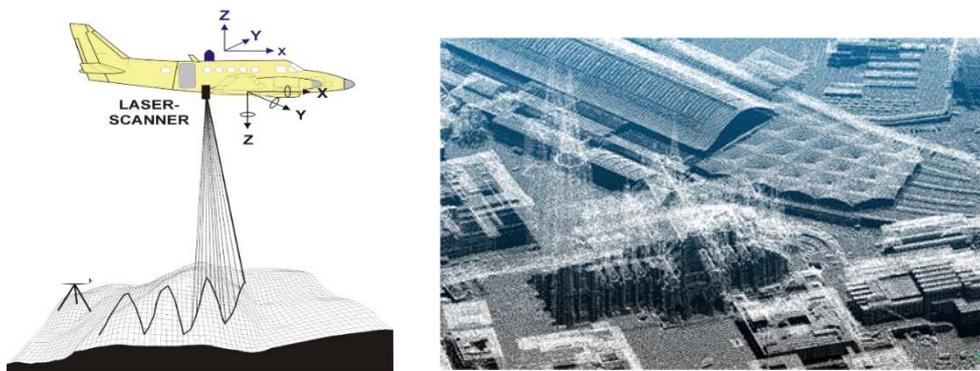


Abb. 9.7: Prinzip des luftgestützten Laserscanning (links) (KRAUSS 2004), Punktwolke aus Laserscanning (rechts) (GEOBASIS.NRW)

Wichtige Parameter eines Laserscanners sind die maximale Flughöhe, die Bodenauflösung des Pulses, die sich aus der Strahlaufweitung ergibt und natürlich von der Flughöhe abhängt, der Öffnungswinkel quer zur Flugrichtung, die Messpunktdichte am Boden, die von der Frequenz abhängt, mit der Laserpulse ausgesendet werden, sowie die Anzahl der Echos, die am Empfänger registriert werden können. Typische Flughöhen liegen zwischen 500 m und 5000 m. Bei 1000 m Flughöhe und einer Strahlaufweitung von 0,25 mrad ergibt sich eine Bodenauflösung von ca. 25 cm. Öffnungswinkel heutiger Modelle liegen bei 60° - 80°. Während die Messpunktdichte Mitte der 1990er Jahre bei etwa einem Punkt auf 10 m<sup>2</sup> lag, sind mittlerweile Frequenzen von 1 MHz und mehr sowie Auflösungen von 10 bis 100 Punkten/m<sup>2</sup> möglich. Die Punkte können je nach Scanmuster in Flugrichtung einen größeren Abstand aufweisen als quer dazu. Mehrfachechos können schon seit Jahren registriert werden, dabei wird typischerweise angenommen, dass insbesondere in Wäldern das letzte Echo vom Boden stammt. Moderne, als "full waveform" bezeichnete Systeme sind in der Lage, nicht nur den Ankunftszeitpunkt eines Pulses, sondern auch dessen Form zu detektieren, indem der Puls hochfrequent digitalisiert wird. Durch Analyse der Signalform können Informationen sowohl über die Rauigkeit des Bodens als auch über das vorliegende Material gewonnen werden (WAGNER ET AL. 2006)

Beispiele für am Markt verfügbare Systeme sind die Scanner LMS-VQ-780i und 1560i der Firma Riegl, der Terrain Mapper und der SPL100 von Leica Geosystems, der Orion C ALTM von Teledyne Optech, und der AX80 von Trimble.

### 9.2.5 Sensororientierung

Die Aufgabe der Sensororientierung besteht darin, für den Zeitraum der Datenerfassung die sechs Elemente der äußeren Orientierung (Position des Projektionszentrums und Blickrichtung der optischen Achse der Kamera bzw. Nullpunkt und Nullpunktstrichtung des Laserscanners) zu bestimmen. Für Flächensensoren sind dies sechs diskrete Werte für jedes Bild, für Zeilenkameras und Laserscanner sechs kontinuierliche, zeitabhängige Funktionen. Sowohl für Bilder als auch für Laserscannerdaten läuft die Sensororientierung zu einem großen Teil automatisch ab, ein menschlicher Operateur sollte allerdings die Ergebnisse kontrollieren und ggf. korrigieren bzw. vervollständigen.

Eingangsgrößen für die Orientierung von Bildern im Rahmen der Aerotriangulation sind neben Kalibrierungswerten für die Kameras (innere Orientierung) Bildkoordinaten der Pass- und Verknüpfungspunkte, Objektkoordinaten der Passpunkte, sowie ggf. GNSS/IMU-Beobachtungen für Projektionszentren und die Blickrichtung der optischen Achse (GNSS/IMU-Beobachtungen sind für Flächensensoren optional). Die Orientierungsparameter werden dann mittels Bündelausgleichung bestimmt. Für manche Zwecke wie die Orthoprojektion können die Bildorientierungen auch durch direkte Sensororientierung, d. h. allein auf der Grundlage der GNSS/IMU-Beobachtungen berechnet werden (HEIPKE ET AL. 2002). Eine Verknüpfung der Bilder untereinander und damit eine Aerotriangulation unterbleiben in diesem Fall. Eingangsgrößen für die Orientierung von Laserscannerdaten sind die GNSS/IMU-Beobachtungen für Nullpunkt und Nullpunktstrichtung des Sensors sowie ebene Passflächen, deren Position und Neigung im Objektkoordinatensystem bekannt ist.

Zur automatischen Aerotriangulation gehört neben der Berechnung der Orientierungsparameter mittels Bündelausgleichung auch die automatische Bestimmung der Bildkoordinaten der Verknüpfungspunkte (homologe Punkte), die mittels digitaler Bildzuordnung gelöst wird.

Die Bildkoordinaten der Passpunkte werden dagegen interaktiv am Bildschirm gemessen. Alle Bildkoordinaten gehen als Beobachtungen in die Bündelausgleichung ein, als Unbekannte werden die Parameter der äußeren Orientierung sowie die Objektkoordinaten der Verknüpfungspunkte geschätzt.

Ziel der digitalen Bildzuordnung ist die automatische und exakte Zuordnung von homologen Bildpunkten aus mindestens zwei Bildern mit unterschiedlichen Aufnahmestandpunkten. Homologe Bildpunkte sind die Abbildungen ein und desselben Geländepunktes in den verschiedenen Bildern. Für die Bildzuordnung muss ein Ähnlichkeitsmaß für Bildausschnitte definiert werden, um entscheiden zu können, ob die Positionen in unterschiedlichen Bildern einander homolog sind. Ein einfaches lokales Verfahren beruht auf dem Kreuzkorrelationskoeffizienten. Dabei wird im ersten Bild ein Grauwertfenster gewählt, Mustermatrix genannt; diese Mustermatrix wird dann innerhalb einer mittels Näherungswerten bestimmten Suchmatrix Pixel für Pixel verschoben (Abb. 9.8). In jeder Position wird der Kreuzkorrelationskoeffizient berechnet, am Ende wird dasjenige Punktepaar als homolog angesehen, das den größten Koeffizienten besitzt. Die Bildzuordnung nach der Methode der kleinsten Quadrate (Least Squares Matching, LSM, FÖRSTNER 1982) stellt eine Erweiterung der Maximierung des Kreuzkorrelationskoeffizienten dar, bei der die Form der Mustermatrix über eine Affintransformation verändert werden kann, um perspektivische Verzerrungen zu berücksichtigen.

Ob ein Punkt als homologer Punkt sinnvoll einsetzbar ist, hängt entscheidend von der lokalen Grauwertvariation in dem umgebenden Fenster des Punktes ab. Zur Überprüfung werden so genannte Interestoperatoren verwendet. Hauptkriterium sind ausreichende Variationen der Grauwerte in zwei zueinander senkrechten Richtungen. Seit einigen Jahren haben sich Verfahren durchgesetzt, die in mehreren Auflösungsstufen arbeiten und dabei rotations- und maßstabsinvariant sind. In einem ersten Schritt werden potentielle Kandidaten detektiert, deren lokale Umgebung in einem zweiten Schritt beschrieben wird, wozu oft Histogramme orientierter Gradienten (Histogramms of oriented gradients, HOG) dienen. Die beiden bekanntesten Verfahren dieser Gattung sind SIFT (scale invariant feature transform, LOWE 2004) und SURF (Speeded Up Robust Features, BAY ET AL. 2008).

*Abb. 9.8: Bildzuordnung mittels Maximierung des Kreuzkorrelationskoeffizienten, links Mustermatrix, rechts Suchmatrix*

Lokale Verfahren bergen wegen des relativ großen Suchbereichs und der hohen Anzahl ähnlicher Gauwertfenster die Gefahr, dass die gefundene Lösung nicht korrekt ist. Um diesem Problem zu begegnen und die Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu erhöhen, werden typischer

weise eine Reihe zusätzlicher Schritte durchgeführt. Hierarchische Verfahren nutzen Bildpyramiden und verringern so die Größe des Suchbereichs, sie sind heute Bestandteil praktisch jedes Algorithmus zur Bildzuordnung. Ist die Orientierung der Bilder näherungsweise bekannt, was für Luftbilder stets der Fall ist, wird weiterhin die Epipolargeometrie genutzt. Im Ergebnis muss die Suche nach homologen Punkten nur in einer Dimension durchgeführt werden. Auch die Zuordnung vom linken ins rechte Bild, gefolgt von der Zuordnung vom rechten ins linke Bild (so dass sich bei korrekter Zuordnung wieder die Ausgangsposition ergeben muss), ist eine wirksame Kontrolle gegen grobe Fehler. Schließlich werden in der Regel nicht nur zwei Bilder einander zugeordnet, sondern alle sich überlappenden Ausschnitte, was die Ergebnisse weiter verbessert.

Um auf der Grundlage der automatisch gefundenen Verknüpfungspunkte zuverlässige Orientierungsparameter bestimmen zu können, ist eine gleichmäßige Verteilung der homologen Punkte über den gesamten Bildbereich unabdingbar. Gleichzeitig wird eine im Vergleich zur manuellen Messung deutlich erhöhte Anzahl an Verknüpfungspunkten genutzt, typisch sind Zahlen von bis zu 100 Punkten pro Bild (Abb. 9.9). Im Zuge einer robusten Ausgleichung können aufgrund der so deutlich erhöhten Redundanz fast alle groben Fehler in den Beobachtungen automatisch gefunden werden.

Die digitale Bildzuordnung wird seit vielen Jahren intensiv untersucht (z. B. HEIPKE 1997) und wurde zu einem sehr leistungsfähigen Werkzeug ausgebaut. Heute verfügen praktisch alle photogrammetrischen Softwarepakete über Lösungen für die automatische Aerotriangulation; es werden Rechenzeiten von wenigen Minuten pro Bild und hohe Punktgenauigkeiten erreicht. Gerade auf der Grundlage digitaler Kameras ist die Genauigkeit deutlich höher als vor einigen Jahren auf der Grundlage analoger Bilder und manueller Messungen. Dabei können praktisch alle für die Zwecke der geotopographischen Landesaufnahme erzeugten Luftbilder einander vollautomatisch zugeordnet werden, wie internationale Tests bereits vor Jahren gezeigt haben (HEIPKE & EDER 1998).

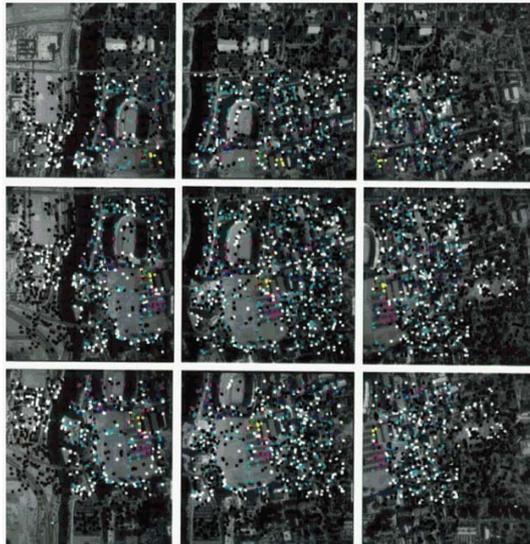


Abb. 9.9: Typische Verteilung der Verknüpfungspunkte bei der automatischen Aerotriangulation

Bilder von Zeilenkameras werden im Prinzip nach denselben Verfahren orientiert. Allerdings besitzt jeder simultan aufgenommene Zeilensatz unterschiedliche Parameter für die äußere Orientierung; hier hilft die Einführung einer Interpolationsfunktion für den Flugweg. Beobachtungen für diesen Flugweg sind aus den GNSS/IMU-Messungen bekannt. Die Bildzuordnung wird in der Regel auf den mit Hilfe dieser Werte vorentzerrten Bildern durchgeführt, da die teilweise hochfrequenten Flugbewegungen die Zuordnung in den Originaldaten oft unmöglich machen. In der nachfolgenden Bündelausgleichung werden die Parameter der Interpolationsfunktion zur Beschreibung des Flugweges zusammen mit den anderen Unbekannten aus den Bildkoordinaten und den GNSS/IMU-Beobachtungen geschätzt.

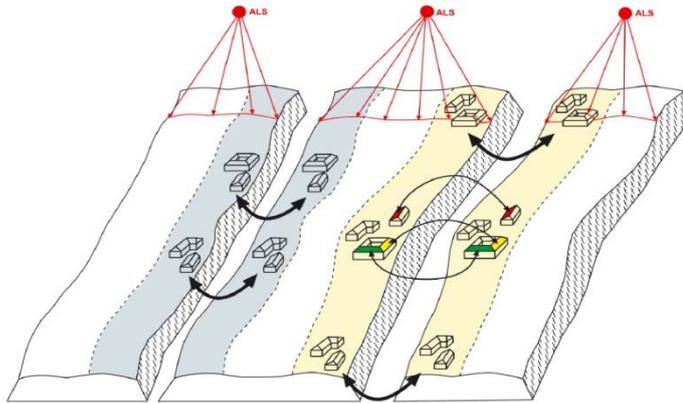


Abb. 9.10: Streifenausgleichung von Laserscannerdaten (KAGER 2004)

Die Orientierung der 3D-Punktwolken aus Laserscannern wird normalerweise streifenweise durchgeführt und beruht primär auf den GNSS/IMU-Beobachtungen. Ebene Passflächen, z. B. Fußballfelder, dienen der absoluten Orientierung der Streifen. Eine nachfolgende Streifenanpassung kann mittels des ICP-Algorithmus (Iterative Closest Point, BESL 1992) stattfinden. Eine der Bündelausgleichung ähnliche Methode, die auf Passflächen beruht, wurde von KAGER (2004) vorgeschlagen (Abb. 9.10).

## 9.3 Digitale Höhenmodelle

### 9.3.1 Begriffsbestimmung: DHM, DGM, DOM

Ein Digitales Höhenmodell (DHM) beschreibt die Erdoberfläche in Form von Stützpunkten und einer zugehörigen Interpolationsvorschrift. Der Begriff DHM wird hier als Überbegriff für Digitale Geländemodelle (DGM) und Digitale Oberflächenmodelle (DOM) verstanden. Ein DGM (vgl. auch Kap. 9.3.4) beschreibt die Geländeoberfläche (das Relief) durch die räumlichen Koordinaten in der Form  $Z(X,Y)$  einer repräsentativen Menge von Geländepunkten sowie einer Interpolationsvorschrift zur Berechnung von Höhen  $Z$  für beliebige Positionen  $(X,Y)$ . Im Unterschied zu einem DGM enthält ein DOM Höhen der natürlichen und

künstlichen Objekte auf der Erdoberfläche wie Häuser oder Bäume statt der Höhen des darunter liegenden Reliefs.

### 9.3.2 Datenerfassung

DHM können sowohl aus stereoskopischen Bildern als auch durch Laserscanning und Radarverfahren gewonnen werden (auf das der Auswertung der Radardaten zugrundeliegende InSAR-Verfahren wird hier nicht näher eingegangen, s. bei Bedarf z.B. HANSEN, 2001). Die Verarbeitung von Bildern ähnelt derjenigen zur Bestimmung von Verknüpfungspunkten für die Bildorientierung und beruht auf der digitalen Bildzuordnung (vergl. Kap. 9.2.5). Allerdings besteht die Aufgabe hier darin, das Gelände flächendeckend und sehr dicht zu beschreiben, dafür sind deutlich mehr homologe Punkte nötig als für die Aerotriangulation. Neue Algorithmen nutzen die Methode der globalen Bildzuordnung, die nicht einzelne Fenster, sondern einzelne Pixel einander zuordnet, dabei aber Glattheitsbedingungen für die Geländeoberfläche berücksichtigt. Das bekannteste Beispiel ist das so genannte Semi-Global Matching (SGM, HIRSCHMÜLLER 2008). Mit diesem und ähnlichen Verfahren ist es heute möglich, für jedes Pixel eine Höhe zu berechnen (Dichte Bildzuordnung, dense image matching), so dass eine extrem dichte Punktwolke entsteht, die eine separate Erfassung von Strukturlinien in vielen Fällen überflüssig macht (Abb. 9.11). Nach der Zuordnung erfolgt die Berechnung von Objektkoordinaten per Vorwärtsschnitt mit den vorab in der Aerotriangulation bestimmten Elementen der äußeren Orientierung; das Ergebnis ist eine unregelmäßig verteilte 3D Punktwolke. Die grundsätzliche Genauigkeit der photogrammetrischen Höhenbestimmung liegt im offenen Gelände – bedingt auch durch die Bodenrauigkeit – bei ca.  $\pm 0,2$  m. Im städtischen Gebiet sind je nach Bodenauflösung (GSD) höhere Genauigkeiten erreichbar.

Systeme zur dichten Bildzuordnung werden heute als Teil der Photogrammetriesoftware praktisch aller Firmen angeboten, daneben existieren sehr leistungsfähige Speziallösungen z.B. von den Firmen nFrames, Stuttgart (Software SURE), Pix4D, Lausanne (Software Pix4Dmapper) und Agisoft, Moskau (Software Metashape).



Abb. 9.11: Ergebnisse der globalen Bildzuordnung mittels SGM: links: abgeleitetes DOM, rechts texturiertes Oberflächenmodell (HIRSCHMÜLLER & BUCHER 2010)

Daten von Laserscannern können nach der Orientierung des Sensors durch polares Anhängen in Objektkoordinaten überführt werden, im Ergebnis erhält man ebenfalls eine 3D Punktwolke, ggf. attribuiert mit der Nummer des zugehörigen Echos (Abb. 9.12). Betont werden

soll nochmals, dass Laserscanning auch in bewaldeten Gebieten Punkte auf dem Gelände liefern kann, wenn die Baumkrone nicht zu dicht ist, denn eine Reihe von Laserpulsen kann durch das Blätterdach auf den Boden gelangen und wird dann von dort reflektiert. Auch beim Laserscanning entsteht heute eine Punktwolke, die dicht genug ist, um in der Regel auf eine separate Erfassung von Strukturlinien verzichten zu können.

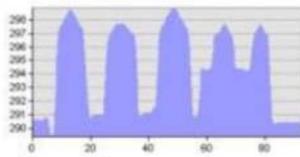


Abb. 9.12: Ergebnisse der DOM Ableitung mittels Laserscanning: links Luftbild, rechts Laserscanningergebnis (HAALA 2009)

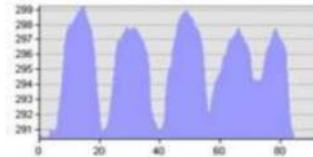
Die digitale Bildzuordnung ist bereits seit mehr als 30 Jahren in kommerziellen Bildverarbeitungsprogrammen etabliert, wurde aber zwischenzeitlich durch das Laserscanningverfahren verdrängt. Seit einiger Zeit ist eine Renaissance der Bildzuordnung zu beobachten, insbesondere wegen des Erfolgs der dichten Bildzuordnung. Ein direkter Vergleich zeigt die unterschiedlichen Ergebnisse beider Verfahren. Die jeweils gewonnenen Höhen stimmen gut überein (Abb. 9.13), allerdings lassen die Profilauswertungen des Laserscannings (Abb. 9.13b) und der Bildzuordnung (Abb. 9.13c) erkennen, dass das Laserscanningverfahren schärfere Gebäudekanten liefert (auch zu sehen im Vergleich der Abbildungen 9.13d bis 9.13f). Zusätzlich zeigt sich, dass eine Bodenauflösung von 8 cm im Vergleich zu derjenigen von 20 cm wesentlich bessere Ergebnisse bei der digitalen Bildzuordnung ergibt. Trotz der beschriebenen Nachteile gegenüber der DOM- bzw. DGM-Ableitung aus Laserscanningdaten bietet sich das Verfahren der digitalen Bildzuordnung überall dort als Alternative an, wo eine gesonderte Laserscanningaufnahme aus Kostengründen nicht in Frage kommt.



a) Originalbild 8 cm GSD mit Profilverlauf



b) Profil: Laserscanning, 5 Punkte/m<sup>2</sup>



c) Profil: digitale Bildzuordnung



Abb. 9.13: Visueller Vergleich der DOM-Ergebnisse zwischen Laserscanning und digitaler Bildzuordnung (HAALA & WOLFF 2009)

### 9.3.3 Vom DOM zum DGM

Bei der Bildzuordnung und beim Laserscanning - wie übrigens auch bei InSAR - kann zunächst nicht unterschieden werden, ob ein Messwert direkt einen Bodenpunkt oder einen Punkt auf Gebäuden oder Vegetation repräsentiert (Abb. 9.14). Soll ein DGM erstellt werden, müssen letztere aus der 3D Punktwolke entfernt werden. Dazu werden alle Punkte einer Klassifikation in Boden- und Oberflächenpunkte unterzogen (SITHOLE 2005).

Für Punkte aus der Bildzuordnung wird dazu z. B. die lokale Neigung des DOM untersucht, andere Verfahren nutzen globale Triangulationsmethoden. Für Laserscannerdaten mit Mehrfachecho kann die Klassifizierung durch eine automatische Auswertung von First-Pulse- und Last-Pulse-Werten und durch Nachbarschaftsuntersuchungen aller Messwerte vorgenommen werden. Ein First-Pulse-Wert gibt die kürzeste Entfernung in einer bestimmten Richtung an und repräsentiert z. B. den Höhenwert einer Baumkrone, während ein Last-Pulse-Wert den größten Entfernungswert für die gleiche Richtung widerspiegelt, also in der Regel den Bodenpunkt. Zusätzlich werden benachbarte Punkte mit geringen Höhenunterschieden wie bei der Auswertung von Ergebnissen der Bildzuordnung als Bodenpunkte vorklassifiziert. Bei signifikanten Höhenunterschieden benachbarter Messpunkte wird der höhere Messwert automatisch einem Oberflächenpunkt zugeordnet. Ein typisches Ergebnis zeigt Abb. 9.15.

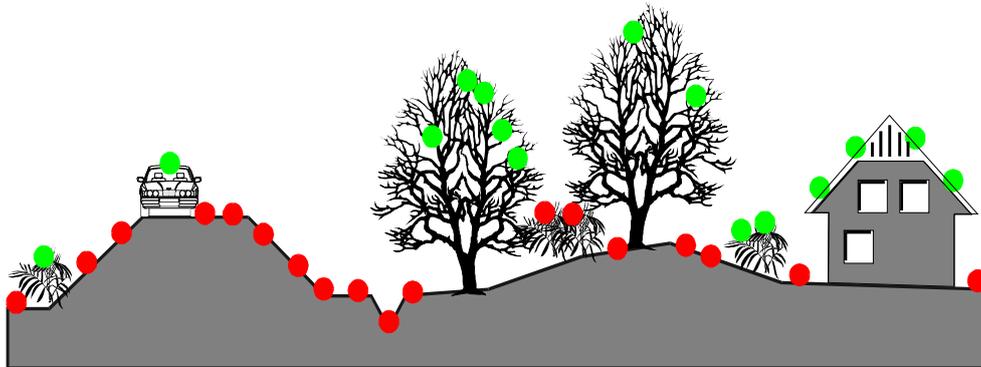


Abb. 9.14: Klassifizierte Bodenpunkte (rot) und Oberflächenpunkte (grün)

Die bereits gute Vorklassifizierung in Höhen- und Geländepunkte wird in der Regel noch interaktiv mit einem Stereobetrachtungssystem überprüft und ggf. korrigiert bzw. ergänzt, in

besonders dichten Nadelwaldgebieten werden auch terrestrische Nachmessungen durchgeführt.

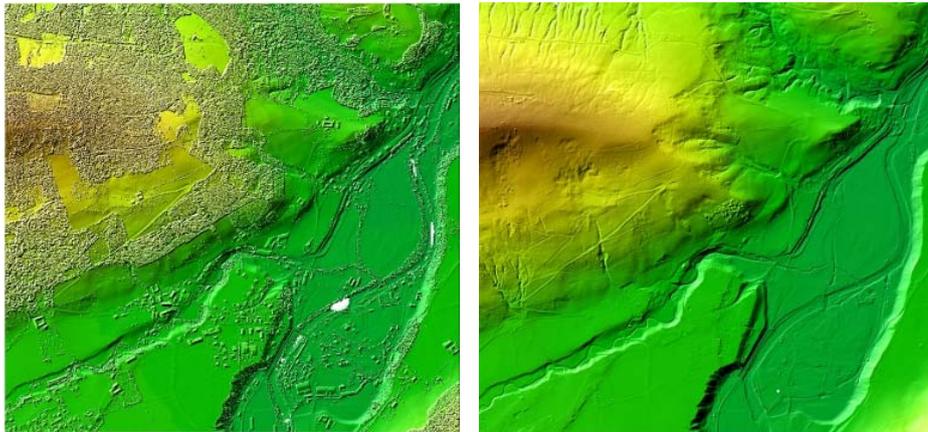


Abb. 9.15: Ergebnis einer DOM-Klassifikation: links vorher, rechts nachher (PFEIFER ET AL. 2007)

### 9.3.4 DGM-Modellierung und DGM-Aufbau

Die Bestandteile des DGM sind in der Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok) der AdV beschrieben. Ein DGM-Gitter beschreibt ausschließlich die Geländeoberfläche als Grenzfläche zwischen dem festen Erdkörper, dem Wasser und dem Gletschereis einerseits und der Luft andererseits. So sind z.B. Brücken kein Bestandteil des DGM. Das DGM ist ein digitales, numerisches Modell der Geländehöhen und -formen und bildet die Geländeoberfläche vollständig durch eine repräsentative Punktmenge ab (ADV 2019a).

Während bei der bisherigen Modellierung des DGM (entsprechend der GeoInfoDok 6.0) in primäre und sekundäre Informationen unterschieden wurde (JÄGER & HEIPKE 2014), erfolgte mit der GeoInfoDok 7 eine Anpassung, um die sich fortentwickelten Erfassungs-, Darstellungs- und Anwendungsfälle besser abbilden zu können. Im Objektartenbereich „Relief“ sind nun die Objektartengruppen „Reliefformen“, „Messdaten3D“ sowie „Digitales Höhenmodell“ zusammengefasst. Die bisher als primäre DGM-Informationen definierten Objekte sind in der Objektartengruppe „Messdaten3D“ aufgenommen. Konkret sind dies die Messpunkte aus Airborne Laserscanning oder Bildkorrelation, markante Einzelpunkte wie Sattelpunkte oder Höhenpunkte auf Wasseroberflächen, Geländekanten und Aussparungsflächen (ADV 2019a). In der Objektartengruppe „Digitales Höhenmodell“ sind – die bisher als sekundäre Informationen bezeichneten - Digitale Oberflächenmodelle (DOM), Digitale Geländemodelle (DGM) sowie die daraus abgeleiteten Höhenlinien enthalten und werden dort als „DHM-Gitter“ sowie „Abgeleitete Höhenlinie“ modelliert. Die Objektartengruppe „Reliefformen“ wird nicht dem ATKIS®-Objektartenkatalog Digitale Höhenmodelle, sondern dem Teil Digitales Landschaftmodell zugeordnet. Dort werden ausgewählte charakteristische Reliefformen zweidimensional mit der attributiven Angabe einer relativen Höhe geführt (z.B. Lärmschutzwall).

In der Regel werden Gitter-DGM aus den gleichen Primär-Informationen, ggf. unter Berücksichtigung von geomorphologisch prägnanten Informationen, in einer einheitlichen Gitterweite berechnet. Kennzeichnend für ein strukturiertes Gitter-DGM sind die vorgegebene Gitterweite (Abstand in [m] zwischen den abgeleiteten benachbarten Höhenpunkten) sowie eine entsprechende mittlere Höhengenaugigkeit. Die Berechnung der Gitterpunkthöhe erfolgt, soweit vorhanden unter Berücksichtigung der Strukturelemente, durch Interpolation aus den umliegenden Höhenknoten. Für die Interpolation wird häufig entweder das Verfahren der Dreiecksvermaschung eingesetzt oder das gewichtete Mittel aus einer definierten Anzahl nächst gelegener Primärpunkthöhen berechnet, wobei keine Punkte jenseits einer Strukturlinie verwendet werden dürfen.

Bei der Interpolation über eine Dreiecksvermaschung nach der Delaunay-Triangulation (Abb. 9.16) entsteht aus den Primärdaten zunächst ein unregelmäßiges Dreiecksnetz (TIN, Triangulated Irregular Network), welches die Geländeoberfläche bestmöglich approximiert. Die Gitterpunkthöhe des regelmäßigen Gitter-DGM wird anschließend nur noch aus den drei Punkten der Dreiecksfläche interpoliert, die den Gitterpunkt enthält. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass die Gitterpunkthöhe der wahren Geländehöhe an dieser Stelle am nächsten kommt. Der Vorteil der Höhenberechnung über das gewichtete Mittel einer bestimmten Anzahl von Nachbarknoten ist es, dass die Gitterpunkthöhe ihre direkte Nachbarschaft besser repräsentiert.

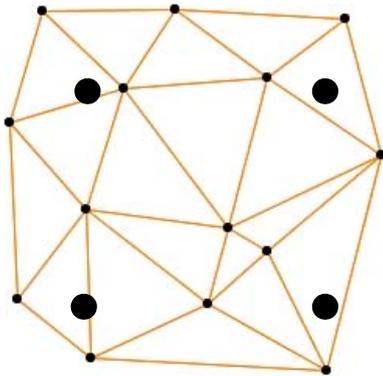


Abb. 9.16: Dreiecksnetz nach der Delaunay-Triangulation mit DGM-Gitterpunkten

### 9.3.5 DGM in der deutschen Landesvermessung

Die DGM-Punkte sind lagemäßig im ETRS89/UTM-Koordinatensystem bestimmt, die Höhe bezieht sich auf das DHHN (Deutsches Haupthöhennetz).

Die AdV führt in ihrer Produktpalette (Stand: 2019) folgende DGM auf: DGM1, DGM2, DGM5, DGM10, DGM25, DGM50, DGM200 und DGM1000 (AdV 2019d). Die DGM liegen grundsätzlich flächendeckend für das Bundesgebiet vor, lediglich beim DGM1 sind zum Stand 31.12.2018 noch wenige Lücken vorhanden, die aber bis spätestens Ende des Jahres

2019 gefüllt sein sollen. Tabelle 9.1 gibt einen zusammenfassenden Überblick über den *Stand der DGM-Verfügbarkeit aktuell und im Vergleich zu 2013* in den Bundesländern. Zur besseren Übersicht ist in der Tabelle lediglich das DGM1 aufgeführt, da die DGM größerer Auflösung entweder ohnehin zu 100% vorliegen oder auf Anforderung aus dem höchstauflösten DGM1 abgeleitet werden können.

Tabelle 9.1: DGM-Aufbaustand in [%], Stand: 31.12.2018 (ADV 2018c)

Bundesland	DGM1, aktuell	DGM (2013)
Baden-Württemberg	100	100
Bayern	100	98
Berlin	100	0
Brandenburg	100	0
Bremen	100	100
Hamburg	100	100
Hessen	100	98
Mecklenburg-Vorpommern	100	7
Niedersachsen	95	0
Nordrhein-Westfalen	100	100
Rheinland-Pfalz	100	5
Saarland	100	100
Sachsen	70	0
Sachsen-Anhalt	100	100
Schleswig-Holstein	100	100
Thüringen	90	9

Als Höhengenaugigkeit der Gitterpunkte mit einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95 % (doppelte Standardabweichung) sind für das DGM1 folgende Werte einzuhalten:

- +/- 10 cm + 5 % der Gitterweite für flaches bis wenig geneigtes, offenes Gelände sowie
- +/- 10 cm + 20 % der Gitterweite für stark geneigtes Gelände mit dichter Vegetation.

Das Digitale Geländemodell der Gitterweite 1 m (DGM1) unterliegt einer Grundaktualität von 10 Jahren, für hochwasser- und bodensenkungsgefährdete Gebiete wird eine Spitzenaktualität von 3 Jahren angestrebt. Die erstmalige Herstellung eines hochgenauen DGM hat in allen Bundesländern mehrere Jahrzehnte in Anspruch genommen. Zur *Aktualisierung* setzen die Länder das Laserscanningverfahren ein (Kapitel 9.2.4). Daneben werden die Ergebnisse aus dem Dense Image Matching verwendet, die ohnehin bei der Herstellung von TrueDOP (s. Kap. 9.4) abfallen. Damit wird das DGM punktuell, lokal begrenzt oder flächendeckend aktualisiert. Vergleiche zwischen altem und fortgeführtem DGM lassen teilweise erhebliche Unterschiede erkennen, die entweder noch aus unterschiedlichen Erfassungsmethoden resultieren oder auch durch tatsächliche Höhenveränderungen bedingt sein können (Abb. 9.17).

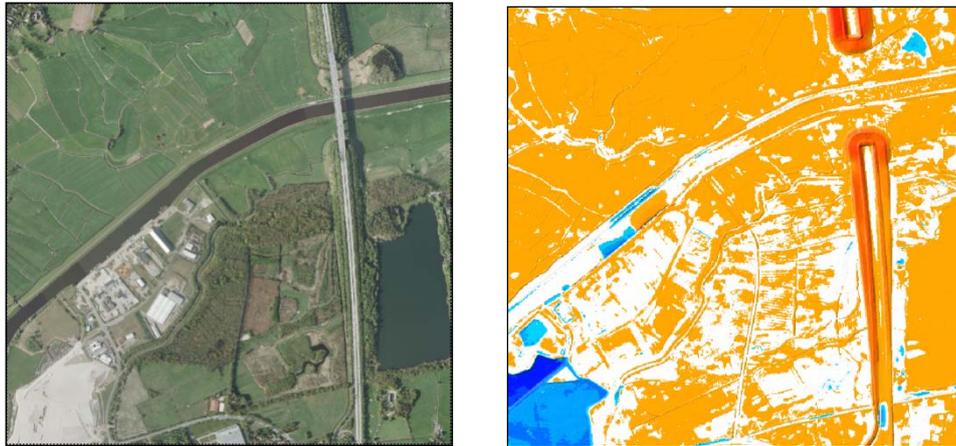


Abb. 9.17: Luftbildausschnitt (links) und Höhenunterschiede (rechts) zwischen altem und neuem DGM5 (alte Methode: Höhenliniendigitalisierung; neue Methode: Laserscanning)

Die orangefarbenen Flächen in Abbildung 9.17 weisen Höhendifferenzen in der Größenordnung von  $\pm 0,5$  m aus, die mit großer Wahrscheinlichkeit aus der Digitalisierung von Höhenlinien für das alte DGM5 herrühren. Die roten bzw. blauen Flächen kennzeichnen dagegen echte Höhenänderungen durch Straßenbau bzw. Bodenabtragung. Neben der regelmäßigen Aktualisierung zur Einhaltung des Produktstandards für das DGM sind weitere Aspekte zu betrachten. Einerseits ist eine durchgreifende Qualitätssicherung zu gewährleisten, andererseits bedarf es zur Ableitung eines homogenen bundesweiten Datenbestandes eines abgestimmten Vorgehens bei der Aktualisierung im Bereich der Bundesländergrenzen. Für die Landesgrenze sind die jeweiligen Nachbarländer angehalten, im Falle von Fortführungen des Datenbestandes eine Harmonisierung mit den Daten des Nachbarlandes sicherzustellen, um ein deutschlandweit homogenes Endprodukt zu garantieren. Die Qualitätssicherung basiert auf der DIN ISO 2859-1, hier unter Verwendung der „Einfachen Stichprobenanweisung für normale Prüfung“. Exemplarisch ist bei einer Qualitätsprüfung einer Fläche von 1 km<sup>2</sup> ein Stichprobenumfang von 315 Objekten zu wählen. Mit einer festgelegten Annahmezahl von 21 und eine Rückweiszahl von 22 bedeutet dies, dass bis zu 21 Objekte die Produktgenauigkeitsvorgabe überschreiten dürfen (ADV 2019a).

### 9.3.6 Anwendungsbereiche und Projekte

Ein häufiger Anwendungsfall beim Gitter-DGM ist die Ableitung von Höhenlinien in maßstabs- und geländespezifischen Äquidistanzen. Diese rechnerisch erzeugten und nicht kartographisch überarbeiteten Höhenlinien weisen in der Regel weniger gerundete Verläufe auf als diejenigen in den bisherigen Topographischen Karten (Abb. 9.18). Besonders im Flachland können dabei kaum miteinander vergleichbare Linienverläufe entstehen. Das Misstrauen mancher Kartennutzer gegenüber den automatisch erzeugten Höhenlinien ist jedoch unbegründet, sofern bei der Höhenlinienableitung auch die Strukturelemente (Bruchkanten, Geripplinien) berücksichtigt wurden bzw. sehr dichte DGM aus Laserscanning oder Bildzuordnung vorliegen.

Im Verkehrswegebau ist neben der Berücksichtigung von umwelt- und eigentumsrechtlichen Aspekten das DGM ein unverzichtbares Hilfsmittel, um bereits bei der Planung neuer Linieneinführungen maximale Neigungswinkel einhalten und um im Bergland die Anzahl und Länge kostenintensiver Tunnel- und Brückenstrecken minimieren zu können.

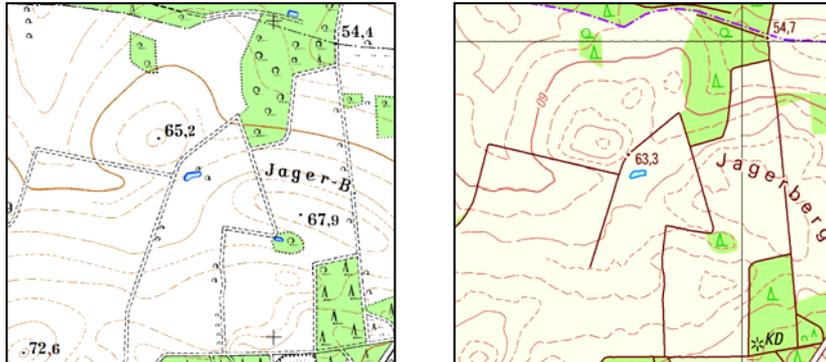


Abb. 9.18: Höhenlinienausschnitte, links: alte TK; rechts: aus dem DGM5 berechnet

Dank der in hoher Auflösung bzw. Punktdichte vorliegenden DGM haben sich neben der oben beschriebenen Ableitung von Höhenlinien zur Darstellung in Topographischen Karten viele weitere Anwendungsbereiche für das DGM erschlossen. Digitale Geländemodelle werden z.B. eingesetzt bei der lagegerechten Verortung archäologischer Denkmale. Gerade in Wald- und anderen dicht bewachsenen Gebieten ist die terrestrische Erfassung nach wie vor schwierig und könnte nur mit großem Aufwand realisiert werden. Hinzu kommt, dass bisher unerkannte und in ihrer räumlichen Ausdehnung nur mangelhaft oder unvollständig verzeichnete Denkmale Gefahr laufen, bei Fortarbeiten ganz oder teilweise zerstört zu werden. Durch die Verwendung eines DGM1 oder in höherer Auflösung vorliegender Laserscanmessdaten lässt sich die Ausdehnung solcher Anlagen aber erkennen und kann vollständig dokumentiert werden, da selbst verschliffene Grabhügel und Wallanlagen sowie weitgehend verfüllte Grabensysteme erfasst werden können (LVERMGEO 2015). Die Abb 9.19 zeigt das Beispiel einer im DGM1 abgebildeten Wallanlage: Das „Neue Schloss“ bei Braunschweide, Landkreis Mansfeld-Südharz, Sachsen-Anhalt. Im Vergleich dazu Ausschnitte aus der TK10 mit zusätzlichen Informationen des Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologie und dem Digitalen Orthophoto. Bei dem Neuen Schloss handelt es sich um einen in der Mitte des 16. Jahrhunderts vom Mansfelder Grafen Albrecht VII. (1480-1560) begonnenen Schlossneubau, der auf Grund des Protestes benachbarter Fürsten beim Kaiser eingestellt werden musste, weshalb nur die Graben- und Wallanlagen ausgeführt werden konnten.

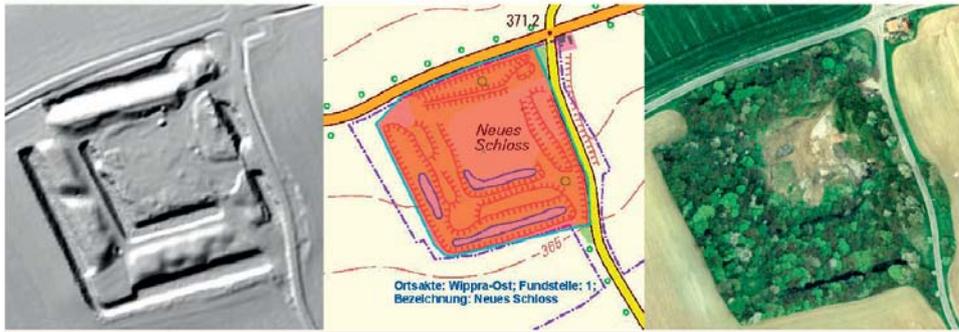


Abb. 9.19: Darstellung Wallanlage im DGM1 (links), in der TK10 (Mitte), im DOP (rechts)

Weitere Anwendungsbereiche sind:

- Ermittlung und Darstellung von Höhenprofilen und von dreidimensionalen Geländedarstellungen,
- Simulation von Hochwasser- und Windeinflüssen,
- Volumenberechnungen (z. B. bei Erdabträgen bzw. bei Mülldeponien),
- Emissions- und Immissionsanalysen,
- Simulation von Lärmausbreitung sowie
- Funknetzplanungen.

In den letzten Jahren sind zum Thema DGM verschiedene Forschungs- und Entwicklungsprojekte bearbeitet worden. Exemplarisch seien hier zwei Projekte genannt: zum einen die hydrographische Vermessung von Teilen der Ostsee mit Hilfe von Zweifarbenlasern (SONG ET AL. 2015, s. auch Kap. 9.2.4), zum anderen die gemeinsame Klassifikation von DOM-Daten, die aus Laserscanning und dichter Bildzuordnung gewonnen wurden, mit Hilfe neuronale Netze (POLITZ & SESTER, 2018, s. auch Kap. 9.3.3).

Während bei Zweifarbenlasern infrarotes Licht von der Wasseroberfläche reflektiert wird, dringt grünes Licht ins Wasser ein und wird vom Boden reflektiert; aus der Laufzeitdifferenz beider Signale lässt sich die Wassertiefe bestimmen. In dem Projekt wurde die Leistungsfähigkeit des bathymetrischen Laserscannings zur Erfassung der Wassertiefen von wenigen Metern in Küstennähe in einem Testgebiet nahe der Insel Poel untersucht. Die erzielten Ergebnisse hängen in Dichte und Genauigkeit von Wassertrübung und Flughöhe ab, auch Unterschiede zwischen verschiedenen Lasersystemen konnten aufgedeckt werden. Insgesamt konnten die Standards der IHO (International Hydrographie Organisation) für die Höhen- genauigkeit der hydrographischen Vermessung bis zu einer Tiefe von ca. 8 m in den meisten Fällen eingehalten werden.

Zur weiteren Nutzung von DOM-Daten ist es oft erforderlich, Punkte des DGM von anderen Punkten zu trennen. Bisher wurden dafür je nach Erfassungsmethode unterschiedliche Filteralgorithmen verwendet. POLITZ & SESTER (2018) nutzen für diese Aufgabe ein neuronales Netz und unterscheiden die Klassen Boden, Gebäude, andere Nichtbodenpunkte und Datenlücken, die Ergebnisse sind sehr vielversprechend.

## 9.4 Orthophotos

### 9.4.1 Erstellung von Orthophotos

Luftbilder stellen Zentralprojektionen der Erdoberfläche dar bzw. - bei Zeilenkameras - eine Mischung aus Zentral- und Parallelprojektion. Im Vergleich zur Orthogonalprojektion bestehen Unterschiede, die sowohl durch eine nicht streng senkrechte Aufnahme­richtung als auch durch Höhenunterschiede im Gelände verursacht sind. Ein Bild in Orthogonalprojektion kann aus einer Zentralprojektion abgeleitet werden, wenn neben der inneren Orientierung der Kamera die Aufnahme­position und -richtung (äußere Orientierung) sowie die Geländehöhen (z. B. in Form eines DGM) bekannt sind und berücksichtigt werden. Daneben dürfen im Bild keine verdeckten Bereiche vorliegen. Die Parameter der inneren Orientierung sind dem Kalibrierprotokoll zu entnehmen, die äußere Orientierung ist eines der Ergebnisse der Aerotriangulation bzw. stammt direkt aus GNSS/IMU-Beobachtungen, das DGM (streng genommen das DOM) ist das Ergebnis der Bildzuordnung bzw. eines Laserscannerfluges.

Mit der bekannten äußeren Orientierung kann danach für jedes Originalbild das entzerrte Orthophoto (DOP, digitales Orthophoto) Pixel für Pixel unter Berücksichtigung der Höheninformation (Abb. 9.20) berechnet werden: Ausgehend von der X,Y-Position im Ergebnisbild – dem Orthophoto – wird die korrespondierende Position des Eingabebildes aufgesucht, wobei die zu berücksichtigende Geländehöhe aus einem DOM bzw. DGM hoher Auflösung interpoliert wird.

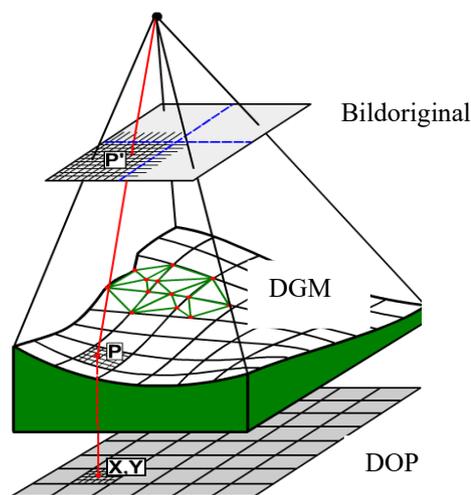


Abb. 9.20: Berechnung digitaler Orthophotos mithilfe eines DGM (MAYR & HEIPKE 1988)

### 9.4.2 Mosaiking

Im letzten Schritt der Orthophotoberechnung erfolgt die Zusammensetzung geeigneter Ausschnitte der einzelnen Orthophotos zu einer geschlossenen Orthophotoszene (Orthophotomo-

saik). Dazu werden automatisch bzw. interaktiv Trennlinien (so genannte Seamlines) in entsprechenden Einzelbildern erzeugt (in der Regel entlang von Vegetationsgrenzen oder Verkehrswegen) und die jeweils benachbarten Bilder entlang dieser Seamlines zusammengesetzt. Danach erfolgt eine automatisierte radiometrische Anpassung der Einzelausschnitte zu einem homogenen Gesamtmosaik. Das automatisch erzeugte Ergebnis kann interaktiv nachgebessert bzw. verändert werden.

Dennoch kann es zwischen unabhängig voneinander berechneten Orthophotoszenen zu radiometrischen Unterschieden kommen, die insbesondere dann auftreten, wenn Bildflüge zu unterschiedlichen Jahreszeiten durchgeführt worden sind und dadurch bedingt Unterschiede in der Vegetation und im Sonnenstand vorkommen (Abb. 9.21).



Abb. 9.21: Gesamt-DOP-Mosaik von Deutschland mit unvermeidlichen radiometrischen Unterschieden (Geodatenzentrum des BKG (GDZ 2019))

### 9.4.3 True Orthophoto

Neben den radiometrischen Problemen werden mit der auf 0,20 m erhöhten Bodenauflösung der DOP auch geometrische Probleme erkennbar, die insbesondere bei der Verwendung von DGM geringerer Auflösung auftreten, s. z.B. Abb. 9.22.



Abb. 9.22: Verzerzte DOP-Darstellung einer Straßenbrücke



Abb. 9.23: Korrigierte Brückendarstellung im DOP

Abhilfe können in diesen Fällen nur DGMs mit geringerer Gitterweite (1 m oder kleiner) schaffen, wie sie im Zuge der dichten Bildzuordnung entstehen, oder die Berücksichtigung entsprechender Bruchkanten bei Dämmen. Für Brückenbauwerke müssen zusätzlich deren Bauwerkshöhen bekannt sein und als Brücken-DHM in die Berechnung eingeführt werden (Abb. 9.23). Die verzernte Darstellung der Brücke in Abbildung 9.22 resultiert aus der rein DGM-basierten Projektion eines Luftbilds, dessen Bildmittelpunkt weit südlich der Brücke liegt. Dieses Beispiel zeigt, dass für eine Orthoprojektion, mit der ein "echtes Orthophoto" (True Orthophoto, MAYR 2002) erzeugt werden soll, streng genommen nicht ein DGM sondern ein DOM benötigt wird. Gerade in Städten wird dies immer wieder deutlich: Bei Verwendung eines DGM werden Hauswände, die im Luftbild sichtbar sind, ins Orthophoto übernommen (Abb. 9.24, links). Nutzt man ein DOM, in dem die Gebäude enthalten sind, verschwinden die Hauswände, allerdings entstehen sichttote Räume, in denen Doppelabbildungen vorkommen. Erst wenn die Bildinformation in den sichttoten Räumen aus anderen Bildern aufgefüllt wird, entsteht ein True Orthophoto (Abb. 9.24, rechts). Das amtliche deutsche Vermessungswesen stellt das Standardprodukt Digitales Orthophoto aktuell in der Qualitätsstufe TrueDOP her. Unter Beachtung der Zyklen der Fortführung werden ab dem Jahr 2023 für ganz Deutschland flächendeckend solche DOPs vorliegen.



Abb. 9.24: Orthophoto (links), u. a. ist der Turm seitlich sichtbar und analoge Situation als True Orthophoto (rechts) (LAIV 2019)

#### 9.4.4 Luftbild- und Orthophotoarchiv

Die Landesvermessungsbehörden haben den gesetzlichen Auftrag, alle Luftbildoriginale in Landesluftbildsammlungen zu führen und Auszüge daraus für jedermann zur Verfügung zu stellen. Seit Beginn der systematischen Luftbildaufnahmen in den 1950er Jahren sind bundesweit bereits mehrere Millionen Luftbildoriginale archiviert worden (z. B. Abb. 9.25), die jeden Landesteil durchschnittlich 10- bis 20-mal im Abstand von wenigen Jahren abbilden.

Alterungsbedingt kommt es trotz der Aufbewahrung in klimatisierten und abgedunkelten Räumen bei vielen analogen Originalen mittlerweile zu Vergilbungen bzw. Ablösungen der Film- von der Trägerschicht. Um die topographischen Zeitdokumente als Kulturgut zu erhalten, sind deshalb viele Landesvermessungsbehörden dazu übergegangen, die analogen Luftbildoriginale in hoher Auflösung (1.000 dpi) zu scannen und in digitale Archive zu überführen. Neben diesen gesannten Luftbildoriginalen und den heute routinemäßig während der Befliegung entstehenden Luftbilddaten werden auch die daraus abgeleiteten DOP-Datenbestände in die Sammlungen und Archive aufgenommen. Diese digitalen Archive erleichtern auch wesentlich die Zugänglichkeit über Vertriebsplattformen im Internet. Exemplarisch sei hier Thüringen genannt; über das dortige Geoportal stehen z.B. historische Luftbilder für jedermann zum Download kostenlos zur Verfügung.



*Abb. 9.25: Historisches Luftbild von Jena, 10.04.1945 (©GDI-TH, Freistaat Thüringen, TLVERMGEO)*

Auszüge aus der Luftbildsammlung sowie Zeitreihen von Luftbildern/Orthophotos werden häufig für historische Fragestellungen benötigt, beispielsweise für Beweissicherungen vor Gericht, für Untersuchungen von Altlastenverdachtsflächen, zur Kampfmittelbeseitigung oder für Zwecke der Landschafts- bzw. Stadtentwicklung

Neben dem gesetzlichen Auftrag der Landesvermessungsbehörden, Luftbilder und Digitale Orthophotos in einer Landesluftbildsammlung zu führen, haben die Archivverwaltungen die Aufgabe, archivwürdige Daten in ihre Archive zu übernehmen. In Zusammenarbeit der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder (AdV) und der Konferenz der Leiterinnen und Leiter der Archivverwaltungen des Bundes und der Länder (KLA) wurden deshalb 2015 Leitlinien zur Archivierung von Geobasisdaten verabschiedet. Damit wird sichergestellt, dass die seit Jahren im Bereich der analogen Produkte bewährte Zusammenarbeit beider Verwaltungen auch für digitale Geobasisdaten fortgesetzt werden kann. Bei der Bewertung der Archivwürdigkeit werden sowohl die Interessen der verschiedenen Nutzergruppen berücksichtigt, als auch Einzelkriterien wie inhaltliche Relevanz oder das Erreichen technikhistorischer Meilensteine (ADV 2015).

### 9.4.5 Weitere Anwendungen und Projekte

Der Hauptanwendungsbereich für Luftbilder bzw. DOP und anderen Fernerkundungsdaten liegt in der Informationsgewinnung zur Dokumentation des Zustands und von Veränderungen der Landschaft, wie etwa in der Landesaufnahme zur Fortführung der Digitalen Landschaftsmodelle (Kapitel 9.6) oder im Liegenschaftskataster zur Erfassung der tatsächlichen Nutzung. Andere klassische Anwendungsbereiche finden sich in der Flurbereinigung, der Archäologie, der Landesplanung, der Land- und Forstwirtschaft (z. B. für EU-Flächenanträge), der Umweltüberwachung und dem Umweltschutz, der Meteorologie, der Bauplanung und der geophysikalischen Exploration sowie im Immobilienmanagement.

Neben diesen allgemeinen Nutzungen gibt es eine Vielzahl spezieller Anwendungen, von denen einige im Folgenden exemplarisch aufgeführt werden:

- Orientierte Luftbildpaare – also digitale Originalbilddaten mit bekannten Parametern der äußeren Orientierung – bieten die Grundlage für vielfältige ingenieurtechnische Auswertungen, beispielsweise für Flächenpotenzialanalysen, Bewuchshöhenbestimmungen sowie Halden- und Deponievermessungen. Als Orientierungsparameter können dazu die bereits während des Bildflugs registrierten oder die durch eine Aerotriangulation genauer bestimmten Werte benutzt werden.
- Luftbilder der Alliierten Streitkräfte aus dem 2. Weltkrieg dienen auch heute noch dazu, mithilfe analoger optischer Auswertemethoden Verdachtsstellen für Bombenblindgänger aufzufinden, um diese dann durch spezialisierte Bombenräumdienste untersuchen und tatsächlich gefundene Blindgänger räumen zu lassen. Automatische Verfahren werden u.a. von KRUSE ET AL. (2018) untersucht, die zur Erkennung von Bombenkratern so genannte markierte Punktprozesse verwenden.
- Neben dem Markt für Senkrechtaufnahmen hat sich in den letzten Jahren auch ein lukrativer Markt für Schrägaufnahmen entwickelt, und zwar speziell für Gebäude in verdichteten urbanen Gebieten. Luftbildaufnahmen werden dafür in niedriger Flughöhe durchgeführt und müssen zur Ablichtung aller Gebäudeseiten in vier zueinander senkrechten Richtungen erfolgen. Ausführende Stellen sind private Unternehmen, die einerseits im lokalen Bereich tätig sind und Einzelaufträge – beispielsweise mit Hubschrauberbefliegungen – ausführen, andererseits aber auch weltweit tätig sind, wie die Firmen Microsoft und Google.
- Forschungs- und Entwicklungsprojekte, die digitale Luftbilder oder Orthophotos nutzen, beschäftigen sich in der Regel mit der automatischen Auswertung der Bilddaten, z. B. mit Hilfe von Klassifikations- oder Bildanalyseverfahren. Dabei stehen sowohl die Gewinnung als auch die Aktualisierung bestehender Vektordaten im Fokus der Bemühungen. Insbesondere die Daten der Sentinel-Satelliten (s. Kap. 9.2.3) werden in letzter Zeit zunehmend für diese Aufgaben genutzt. Diese Entwicklung ist vor dem Hintergrund neuer europäischer Direktiven zu sehen, die Berichtspflichten für Agrar-, Umwelt-, Wasser-, Bodenschutz- und Naturschutzthemen sowie für die Raumplanung beinhalten; Beispiele dafür sind die Wasserrahmenrichtlinie und die Bodenschutzstrategie. In der Kombination der unterschiedlicher Datenquellen ATKIS<sup>®</sup>-Basis-DLM, IKONOS-Satellitendaten und Radardaten wird untersucht, wie signifikante Veränderungsinformationen basierend auf einem gesicherten Ausgangsdatenbestand ermittelt werden können (BÜSCHER ET AL. 2009).
- In Zusammenarbeit zwischen dem Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen, dem Landesamt für Vermessung und Geoinformation Schleswig-

Holstein, dem Amt für Geoinformation, Vermessungs- und Katasterwesen Mecklenburg-Vorpommern und dem Institut für Photogrammetrie und GeoInformation der Leibniz Universität Hannover wird seit einigen Jahren ein Projekt zur automatischen Aktualisierung von ALKIS<sup>®</sup>- und ATKIS<sup>®</sup>-Daten aus Luft- und Satellitenbildern durchgeführt. In einer ersten Stufe wurden für die Aufgabe so genannten Zufallsfelder verwendet (ALBERT ET AL. 2017). Dabei geht es um die automatische Aktualisierung der "Tatsächlichen Nutzung" aus ALKIS<sup>®</sup> mit Hilfe aktueller Luftbilder. In der Weiterentwicklung werden auf der Grundlage neuronaler Netze diejenigen Flächen aufgedeckt, die in einem weiteren Schritt vom menschlichen Operateur aktualisiert werden müssen (YANG ET AL. 2018).

- Im Projekt Cop4Stat arbeiten das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) und das Statistische Bundesamt zusammen. Das Ziel dieses Projektes ist die Evaluierung der Methode "Fernerkundung" zur Ableitung von Informationen für die Flächenstatistik auf nationaler und europäischer Ebene. Dafür werden Copernicus-Daten sowie bereits vorhandene Daten zur Beschreibung der Landbedeckung (Landbedeckungsmodell für Deutschland LBM-DE) genutzt. (BKG 2019).

#### 9.4.6 Angebote aus der Privatwirtschaft und der Wissenschaft

Im Bereich der photogrammetrischen Datenerfassung und -verarbeitung gibt es ein breites Betätigungsfeld für die Privatwirtschaft. Die Datenerfassung mithilfe von Bildflugzeugen wird in Deutschland ausschließlich durch private Unternehmen durchgeführt, die dazu von öffentlichen und privaten Stellen beauftragt werden. Auch im Bereich der Datenprozessierung bieten Unternehmen der Privatwirtschaft alle denkbaren Dienstleistungen von der Erstellung digitaler Orthophotos bis hin zu Bildauswertungen und automationsgestützten Strukturerkennungsverfahren an.

Am bekanntesten und in aller Munde sind die weltweit flächendeckenden Bilddaten in den Portalen Google Earth, Google Streetview und Microsoft Bing (GOOGLE 2019, MICROSOFT 2019). Die Bodenauflösung orientiert sich dabei an wirtschaftlichen Aspekten und ist in dicht besiedelten Regionen höher als in ländlichen Gebieten (zwischen 5 cm und 50 cm), die geometrische Genauigkeit ist hierbei in der Regel nicht ganz so hoch wie bei den öffentlichen Anbietern.

Deutsche Satellitenprogramme wie das System RapidEye (das inzwischen der kalifornischen Firma Planet gehört), die Radarsatelliten TerraSAR-X und TandemSAR-X sowie der geplante Hyperspektralsatellit EnMap werden unter starker Beteiligung privater Unternehmen sowie mit Forschungsgeldern des Bundes durchgeführt. RapidEye ist ein optisches Erderkundungssystem und besteht aus fünf baugleichen Satelliten mit einer Bodenauflösung von 6,5 m, Einsatzbereiche liegen u. a. in Land- und Forstwirtschaft, aber auch in der Aktualisierung geotopographischer Daten. TerraSAR und TandemSAR beobachten die Erde seit über 10 Jahren im Radarbereich, inzwischen ist auch ein mittels SAR-Interferometrie erstelltes globales DOM hoher Auflösung und einer Höhengenaugigkeit im Meterbereich verfügbar. EnMap steht für ein „Environmental Mapping and Analysis Program“, das über eine Vielzahl spektraler Kanäle und eine Bodenauflösung von 30 m verfügt. Diese Missionen sind zwar nicht in allen Belangen für die topographische Landesaufnahme geeignet, decken aber wichtige Aufgaben in der globalen Erdbeobachtung ab.

## 9.5 3D-Gebäudemodelle

3D-Gebäudemodelle (KOLBE 2009) können nicht ohne Weiteres der Geotopographischen Landesaufnahme zugeordnet werden, da bei ihrer Erstellung Daten sowohl aus dem Bereich Liegenschaftskataster als auch aus der Geotopographie Verwendung finden. 3D-Gebäudemodelle sind demnach ein klassisches Kombinationsprodukt, welches grundsätzlich aus vorhandenen Geobasisdaten erstellt wird. Im Wesentlichen sind dies der Gebäudegrundriss aus dem Liegenschaftskataster, Ergebnisse aus photogrammetrischen Bild- und Laserdaten sowie verschiedene Höheninformationen.

Die Vermessungsverwaltungen der AdV bieten das Produkt 3D-Gebäudemodell seit 2013 an. Die Daten werden auf Basis des AdV-Produktstandards für 3D-Gebäudemodelle sowie der Datenformatbeschreibung im AdV-CityGML-Profil erfasst (ADV 2019c). Die bisherige Modellierung im AAA-Datenmodell (GeoInfoDok 6.x) ließ es nicht zu die 3D-Gebäudemodelle direkt im AAA-Modell zu speichern. Mit der Fortschreibung zur GeoInfoDok 7 ist dies jedoch behoben. Zukünftig könnten die im AdV-City-GML vorliegenden 3D-Gebäudemodelle in das AAA-Modell migriert werden.

Grundsätzlich werden zur Klassifizierung von 3D-Gebäudemodellen verschiedene so genannte Level of Detail (LoD) unterschieden. An dieser Stelle soll nur auf die LoD 1 (Klötzchenmodell) und LoD 2 (Gebäude inkl. Dachformen) eingegangen werden, da nur für diese beiden Detaillierungsgrade ein bundesweiter Datenbestand erstellt wird. Die Abbildungen 9.26 und 9.27 zeigen exemplarisch jeweils 3D-Gebäudemodelle im LoD1 und LoD2. Der Produkt- und Qualitätsstandard ist in dem entsprechenden AdV-Dokument hinterlegt (ADV 2019b). Für das LoD1 liegt dieser Datenbestand von ca. 53 Millionen Gebäuden bereits vollständig vor und wird über die Zentrale Stelle Hauskoordinaten und Hausumringe (ZSHH) vertrieben. Für das LoD2 wird mit dem Vorliegen zum Ende des Jahres 2019 gerechnet, so dass auch hierfür der bundesweite Vertrieb gestartet werden kann.

Die Vermessungsverwaltungen der Länder haben bereits Anfang des Jahrtausends begonnen, 3D-Stadtmodelle bzw. 3D-Gebäudemodelle zu erstellen. Vorreiter waren die Stadtstaaten Berlin und Hamburg. 2007 lag für Nordrhein-Westfalen erstmals für ein Flächenland ein landesweites 3D-Modell in der Ausprägung LoD1 vor (OESTEREICH 2016). Die so erzeugten Modelle kombinierten amtliche Informationen des Liegenschaftskatasters mit mittleren Gebäudehöhen und erzeugten Gebäudeklötzchen, die auf Grundlage eines Digitalen Gelände-modells oder kombiniert mit Orthophotos anschaulich dargestellt werden konnten.

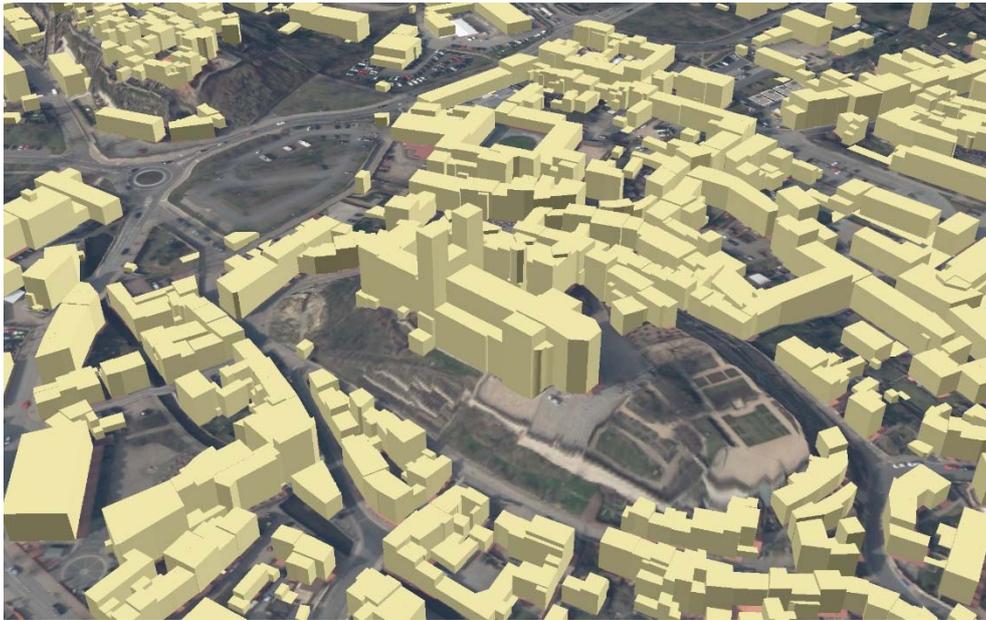


Abb. 9.26: LoD1, Darstellung mit DGM und DOP (LVERMGEO LSA 2019)

Diese Darstellungen fanden auf der einen Seite schnell Verwendung für verschiedenste Visualisierungen. Auf der anderen Seite konnten die Daten und Modelle hervorragend z.B. für Berechnungen zur Lärmausbreitung benutzt werden. Auch heute ist die Verwendung des Klötzchenmodells (LoD1) zur Ausbreitungsanalyse von Emissionen gängige Praxis.

Steigende Anforderungen und Bedarfe aus den Bereichen Planung, Visualisierung oder der Potentialanalyse für Photovoltaik erfordern allerdings eine höhere Genauigkeit und Differenzierung, sodass die Erstellung der Gebäudemodelle im LoD2 mit Dachformen notwendig ist. Der Ableitungsprozess ist hier im Vergleich zum LoD1 ungleich komplexer. Während bei der Erstellung des LoD1 hauptsächlich die Gebäudegrundrisse aus ALKIS<sup>®</sup> mit einer aus Airborne-Laserscandaten abgeleiteten mittleren relativen Gebäudehöhe kombiniert wird und so das Klötzchenmodell entsteht, sind für das LoD2 aufwändigere Prozessschritte erforderlich. Aus Airborne-Laserscandaten, Luftbilder sowie Ergebnissen von dense image matching werden typisierte Dachformen entsprechend des AdV-Produktstandards modelliert und mit dem ALKIS<sup>®</sup>-Grundriss zu einem 3D-Gebäudemodell im LoD2 kombiniert. Diese über Programmsysteme automatisch erzeugten Ergebnisse führen nicht in jedem Fall zu einer korrekten Lösung, sodass manuelle Nacharbeiten erforderlich sind. Die Ursachen hierfür sind sehr vielfältig: nicht jedes Haus hat einen exakt rechtwinkligen Grundriss, ohne Vorsprünge und andere Anbauten sowie ein einfaches Satteldach. Unterschiedliche Dachformen auf einem Gebäude, Anbauten verschiedener Höhen, diverse Aufbauten wie Erker sowie eine nicht ausreichende Punktdichte der Höheninformationen führen zu fehlerhaften Ergebnissen in der Klassifikation der Dachformen. Die wesentlichen Herausforderungen bestehen deswegen darin, den automatischen Ableitungsprozess durch bessere Algorithmen (z.B. RUTZINGER ET AL. 2009, LAFARGE & MALLET 2012, LI ET AL. 2019) und detailliertere Daten weiter zu verbessern, sodass die manuellen Eingriffe auf ein Minimum beschränkt können. Hinzu kommt,

dass ein einmal abgeleiteter Datenbestand mit jeder Fortführung des Gebäudegrundrisses oder anderen Änderungen am Gebäude altert.



Abb 9.27: LoD2, Darstellung mit DGM und DOP (LVERMGEO LSA 2019)

Aus diesem Grunde verfolgen die Landesvermessungsbehörden verschiedene Strategien zur Fortführung der 3D-Gebäudemodelle. Neben der regelmäßigen erneuten Befliegung mit ALS oder dem Ableiten eines bildbasierten Digitalen Oberflächenmodells (bDOM), siehe auch 9.3.2, mit denen regelmäßig eine erneute flächenhafte Ableitung berechnet werden kann, kommen parallel auch punktuelle Fortführungen zum Einsatz. So können die im Liegenschaftskataster bekannt werdenden Fortführungsanlässe (Neubau, Abriss, Veränderung) genutzt werden, um auch Hinweise zur Fortführung des 3D-Gebäudemodells zu generieren. Im Gegensatz zur regelmäßigen Neuableitung werden dann gezielt nur diese Gebäude in 3D neu modelliert – und das weitestgehend automatisiert. Ständige Verbesserungen der eingesetzten Softwarepakete sowie zusätzliche Informationen zu Bauteilen an Gebäuden resultieren in einer höheren Erfolgsquote der automatischen Erkennung der Dachformen. Die Tatsache, dass die Gebäudegrundrisse eine Grundlage für die 3D-Gebäudemodelle sind, bedingt gleichzeitig, dass alle Bauwerke, die nicht als Gebäude im Sinne des Liegenschaftskatasters im ALKIS<sup>®</sup> geführt werden, zunächst nicht Bestandteil für das Gebäudemodell sein können. Aber gerade diese Bauwerke wie Windräder, Strommasten, Schleusenkammern, Stadtmauern u.ä. haben wegen ihrer landschaftsprägenden Eigenschaften einen großen Einfluss auf das Erscheinungsbild einer dreidimensional modellierten Landschaft. Ebenso fordern die Nutzer die Einbeziehung dieser Bauwerke. Deshalb werden sie zukünftig standardmäßig in die 3D-Gebäudemodellierung aufgenommen. Für Ableitung, Modellierung und Präsentation sind für diese Bauwerke mitunter standardisierte Präsentationsobjekte definiert (Abb. 9.28).

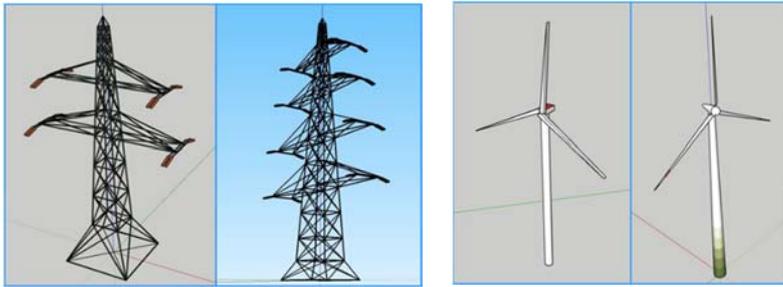


Abb. 9.28: Beispiele für standardisierte Präsentationsobjekte im LoD2 für ausgewählte Bauwerke (AK GT 2019)

Neben dem bundesweiten oder länderübergreifendem Bezug über die Zentrale Vertriebsstelle der AdV können 3D-Gebäudemodelle auch über die Internetauftritte der Geoinformationsverwaltungen (Abb. 9.29) betrachtet und die zugehörigen Daten bezogen werden.

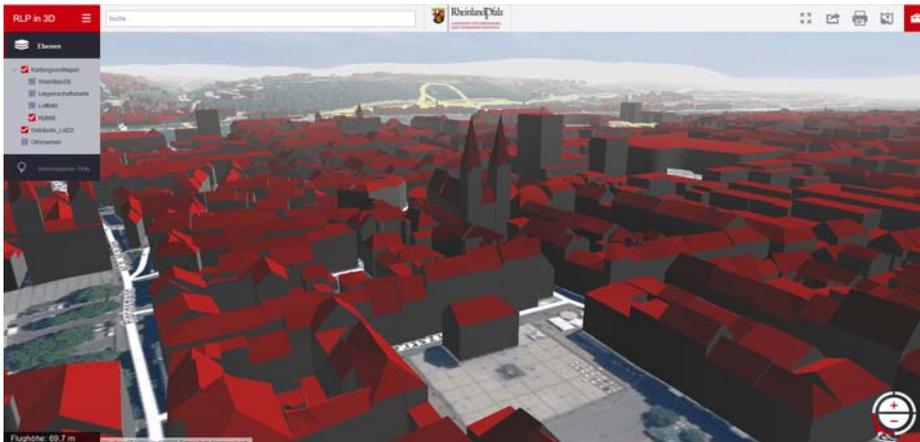


Abb. 9.29: Ausschnitt 3D-Gebäudemodell LVermGeo RLP (LVERMGeo RLP 2019)

## 9.6 Geotopographische Landschaftsmodellierung

### 9.6.1 Meilensteine der ATKIS®-DLM-Entwicklung

Jahrhundertlang war die analoge Karte das einzige Medium zur Speicherung landschaftsbeschreibender Informationen. Erst mit der Entwicklung leistungsfähiger Hard- und Software haben vektorbezogene Informationssysteme und Datenbanken diese Funktion übernommen; die Karte ist dadurch von einem originären zu einem abgeleiteten Produkt geworden.

Mit der Einführung von ATKIS®, dem Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystem, haben Digitale Landschaftsmodelle (DLM) die Primärspeicherfunktion für landschaftsbeschreibende Informationen übernommen. Ausgehend von einer im Jahr 1984 vorgelegten AdV-internen Studie entwickelten verschiedene Arbeitsgruppen der AdV bis zum Jahr 1989 eine geschlossene ATKIS®-Gesamtdokumentation (AdV 1989), auf deren

Grundlage ab 1990 alle Bundesländer begonnen haben, das Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM), das zunächst noch als DLM25 bezeichnet wurde, aufzubauen. Die Gesamtdokumentation von 1989 enthielt neben allgemeinen Erläuterungen als wesentliche Bestandteile die Objektartenkataloge (OK25 und OK200) für das DLM25 und ein DLM200 sowie den Signaturenkatalog (SK25) zur Ableitung eines Digitalen Kartographischen Modells (DKM25) im Vektorformat. Kennzeichnende Merkmale des DLM25 (des heutigen Basis-DLM) sind die Maßstabsunabhängigkeit, die Forderung nach einer Lagegenauigkeit von mindestens  $\pm 3$  m für die wichtigsten linearen Objekte sowie die Einteilung der Objektarten in 7 Objektartenbereiche:

1. Festpunkte (später ersetzt durch Präsentationsobjekte), 2. Siedlung, 3. Verkehr, 4. Vegetation, 5. Gewässer, 6. Relief und 7. Gebiete.

Für die Entwicklung von ATKIS<sup>®</sup> ist eine konsequente Objektsicht kennzeichnend gewesen, mit der alle Erscheinungsformen der Erdoberfläche beschrieben wurden. Als Objekt wurde ein konkret abgrenzbarer Teil der Landschaft definiert, der einer Objektart zugeordnet und mit Attributen und Namen näher beschrieben werden konnte. Zusätzlich war es möglich, über Referenzen auf andere Objekte hinweisen zu können, z. B. kann von einer Straße auf eine über ihr liegende Brücke verwiesen werden.

Der ATKIS<sup>®</sup>-OK25 umfasste ca. 150 verschiedene Objektarten, von denen etwa 65 als so wichtig eingestuft wurden, um sie in einer 1. Aufbaustufe von 1990 bis ca. 1995 zu erfassen (BREMER ET AL. 1992). In einer 2. Aufbaustufe des Basis-DLM wurden bis etwa 2001 weitere 50 Objektarten erstmals erfasst, während die Daten der 1. Stufe aktualisiert wurden. Schließlich ist von 2002 an eine 3. Aufbaustufe begonnen worden, in der neben der Aktualisierung aller bereits vorhandenen Daten ca. 15 weitere Objektarten sowie weitere Attributwerte neu erfasst wurden. Im Jahr 2009 lag das Basis-DLM erstmals flächendeckend und komplett für das ganze Bundesgebiet vor.

Bereits nach der Fertigstellung der 2. Aufbaustufe begannen die Entwicklungsarbeiten zur rechnergestützten Ableitung eines Digitalen Landschaftsmodells mittlerer Datendichte (DLM50) aus dem Basis-DLM durch Modellgeneralisierung und kartographische Generalisierung. Ein DLM50 war in der ATKIS<sup>®</sup>-Gesamtdokumentation von 1989 noch nicht vorgesehen, der Bedarf für ein solches Modell aber sowohl von der AdV-Seite als auch aus der Kundensicht Mitte der 1990er Jahre erkennbar geworden. Mit der Produktion des DLM50 wurde im Jahr 2004 begonnen (siehe 7.6.3).

Parallel zu den Erfassungsarbeiten des Basis-DLM in den Ländern wurde beim BKG beginnend im Jahr 1994 bis zum Jahr 2000 in einer ersten Inhaltsstufe das DLM1000 aufgebaut. Vom Jahr 2000 an wurde auch das Digitale Landschaftsmodell 1:250.000 (DLM250) in einer 1. Aufbaustufe erfasst. Einzelheiten zu den Erfassungsmethoden und -quellen der DLM enthält Kapitel 7.6.2.

Bevor sich die ersten Bundesländer mit der Ableitung kartographischer Modelle aus dem ATKIS<sup>®</sup>-Basis-DLM beschäftigten, wurde das ATKIS<sup>®</sup>-Referenzmodell im Jahr 1995 auf ausdrücklichen Kundenwunsch hin geändert, und zwar zugunsten einer rasterbasierten Kartenkomponente, der Digitalen Topographischen Karte (DTK), anstelle des DKM25 (HARBECK 1996).

Zeitgleich mit dieser Entwicklung begannen in der AdV, ebenfalls auf ausdrücklichen Kundenwunsch hin, erste Überlegungen zur Vereinheitlichung der Modellsichten des Liegenschaftskatasters (ALB, ALK) und der Geotopographie (JÄGER ET AL. 1998). Unter Einbeziehung der Modellierung der Festpunktfelder entstand so das AAA-Projekt mit den Teilkomponenten AFIS<sup>®</sup>, ALKIS<sup>®</sup> und ATKIS<sup>®</sup>. Umfangreiche Harmonisierungsarbeiten zur Abstimmung der liegenschaftsrechtlichen und der geotopographischen Objektsichten führten im Jahr 2002 zur Verabschiedung der Version 1.0 der „Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok)“, die bis zum Jahr 2008 zu einer Referenzversion 6.0 weiterentwickelt worden ist. Diese Referenzversion (ADV 2008) war für alle Bundesländer und beim Bund die Grundlage für die Migration der bestehenden Datenbestände des Raumbezugs, des Liegenschaftskatasters und der Geotopographie in das AAA-Datenmodell. Weitere Nutzeranforderungen, die Einbeziehung der 3D-Gebäudemodelle, die weiteren Harmonisierungsanstrengungen zwischen ALKIS<sup>®</sup> und ATKIS<sup>®</sup> sowie Anforderungen vor allem aus dem Bereich der amtlichen Statistik für Landbedeckung (LB) und Landnutzung (LN) führten zur Fortschreibung der Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens. Von 2023 ist die GeoInfoDok, AAA-Anwendungsschema 7.1, die Referenzversion für die AdV-Mitgliedsverwaltungen (ADV 2018).

### **9.6.2 Aufbau des Basis-DLM, des DLM50, des DLM250 und des DLM1000**

Digitale Landschaftsmodelle dienen in den Vermessungsverwaltungen zur Ableitung maßstabsentsprechender digitaler Kartenwerke (siehe Abb. 7.1) sowie bei externen Nutzern als Referenzdatensatz (Geobasisdaten) für eigene Geofachdaten, deren Geometrie sich an den Geobasisdaten orientiert.

Für den Aufbau des ATKIS<sup>®</sup>-Basis-DLM haben alle Bundesländer ihre jeweils geeignetste Datenquelle digitalisiert, um die Vorgaben der ATKIS<sup>®</sup>-Gesamtdokumentation nach einer geometrischen Genauigkeit von  $\pm 3$  m für linienförmige Objekte bestmöglich erfüllen zu können. Diese Datenquellen waren im Wesentlichen Luftbilder, Orthophotos, TK10 bzw. DKG5 (CHRISTOFFERS 1992).

Diese Datenquellen wurden in der Regel auch als Grundlage für die zweite und dritte Aufbaustufe genutzt. Ansonsten übernahm immer mehr das Orthophoto die Funktion als primäre Informationsquelle, insbesondere bei der Aktualisierung der bereits erfassten Objektarten. Dadurch konnten auch Ungenauigkeiten in den traditionellen Datenquellen aufgedeckt und behoben werden, sodass die geforderte Lagegenauigkeit von  $\pm 3$  m zum Ende der 3. Aufbaustufe überall erreicht worden ist.

Wie bereits in 9.6.1 erwähnt wurde, erfolgte mit jeder neuen Aufbaustufe die grundsätzliche Aktualisierung aller Objektarten, die bereits mit den vorausgegangenen Aufbaustufen erfasst worden waren. Damit wurde sukzessive der Zyklus der Grundaktualisierung gesteigert. Heute wird für das ATKIS<sup>®</sup>-BasisDLM eine Grundaktualität von drei Jahren angestrebt (ADV 2018a). Neben dieser Grundaktualisierung hat die AdV im Jahr 1999 eine sogenannte kontinuierliche Spitzenaktualisierung eingeführt (ADV 1999), um für die aus Kundensicht besonders wichtigen Objektarten (wie Straßen, Schienenbahnen, Masten, Freileitungen oder Windräder) eine wesentlich höhere Aktualität zu gewährleisten.

Das Verfahren der Spitzenaktualisierung bezieht explizit die Verursacher von Landschaftsveränderungen mit ein (Katasterämter, Deutsche Bahn, Netzbetreiber, Straßenbauämter, Wasserwirtschaft), um frühzeitig an gesicherte Veränderungsinformationen zu kommen und diese in das Basis-DLM einarbeiten zu können. Die Definition eines verpflichtenden Grunddatenbestandes gewährleistet einen bundesweit einheitlichen Datenbestand für das Basis-DLM (s. Abb. 9.30). Darüber hinaus erlaubt die Datenmodellierung jedem Land, spezifische Anforderungen abzubilden, die über den Grunddatenbestand hinaus gehen. Der Grunddatenbestand wiederum unterliegt einer ständigen Evaluierung, um auf neue Nutzeranforderungen oder Projekte reagieren zu können.



Abb. 9.30: Darstellung Struktur Basis-DLM (GDZ 2019)

Das DLM50 stellt eine Besonderheit in der Reihe der DLM dar, da es als einziges Produkt nicht von einer analogen Vorlage abdigitalisiert worden ist, sondern durch rechnergestützte Prozesse aus einem DLM höherer Auflösung abgeleitet wird (siehe Abb. 7.1). Es schließt mit seinen ca. 110 Objektarten die Lücke zwischen dem Basis-DLM (ca. 150 Objektarten) und dem DLM250 (66 Objektarten). Das DLM50 umfasst etwa 50 bis 60 % des Datenumfanges des Basis-DLM. Es wird vollständig aus dem Grunddatenbestand des Basis-DLM abgeleitet und ist geeignet für die Ableitung der DTK50 und der DTK100. Alle auf der Erdoberfläche liegenden Objekte sollen im DLM50 eine Lagegenauigkeit von  $\pm 15$  m aufweisen (ADV 2013).

Die Umsetzung dieser Vorgaben führte in den Bundesländern zunächst zu zwei unterschiedlichen Sichtweisen und Entwicklungen (SCHÜRER 2004, WODTKE 2004). Nachdem durch eine bundesweit ausgeschriebene und durchgeführte Machbarkeitsstudie im Jahr 1999 (JÄGER 2000) ermittelt worden war, dass die Entwicklung von Softwarebausteinen zur automatischen Modellgeneralisierung sowie zur kartographischen Generalisierung erfolgversprechend sein könne, haben sich zunächst fünf (später 11) Bundesländer zusammengeschlossen, um eine entsprechende Software in zwei Schritten in Auftrag zu geben. Der erste Schritt umfasst die Modellgeneralisierung der Objekte des Basis-DLM zu einem kartographisch noch nicht veränderten DLM50 (bis 2013 als DLM50.1 bezeichnet) (SCHÜRER 2004). In einem zweiten, zeitlich abgesetzten Schritt wird dieser Datenbestand durch weitgehend automatische Prozesse kartographisch generalisiert, um aus dem Ergebnis, dem vektorbasierten DLM50.2, die DTK50 ableiten zu können.

In der zweiten Sichtweise (vier Bundesländer) laufen die Prozesse der Modellgeneralisierung zwar in ähnlicher Weise ab, allerdings wird das Ergebnis – das sogenannte DLM50.1 – nicht als eigenständiges Produkt gespeichert, sondern dient lediglich als Zwischenstufe für die un-

mittelbar anschließende interaktive kartographische Generalisierung. Bei diesem Lösungsansatz stellt das DLM50.2 den angestrebten DLM50-Datenbestand dar (WODTKE 2004), der alle Kriterien der AdV-Vorgaben erfüllt und aus dem die DTK50 automatisch abgeleitet werden kann. Beide Sichtweisen sind im Abschnitt 5.4 der GeoInfoDok aufgezeigt worden und sind damit zulässig (ADV 2008).

Das Bundesland Bayern hat keine dieser beiden Lösungen realisiert, da der Bedarf nach einem DLM50 nicht gesehen wurde. Hier wird die DTK50 nach erstmaliger Herstellung in Ebenen getrennt im Rasterdatenformat aktualisiert. Das DLM50 liegt deshalb nicht bundesweit flächendeckend vor.

Das DLM250 (Abb. 9.31) beschreibt die topographischen Objekte der Landschaft im Vektorformat in wesentlich stärker aggregierter Form als das Basis-DLM. Die Daten sind entsprechend dem Signaturenkatalog 1:250.000 (SK250) kartographisch generalisiert. Der Objektartenkatalog beinhaltet aktuell über 60 Objektarten. Die Mindestgröße für flächenförmige Objekte beträgt im Regelfall 0,4 km<sup>2</sup>. Das BKG hat im Jahr 2000 mit dem Aufbau des DLM250 in einer 1. Aufbaustufe begonnen, deren Inhalt sich an der NATO-Anforderung zum Aufbau einer Vector Map Level 1 (VMapLv1) orientierte. Grundlage dafür war die bestehende militärische Karte Joint Operations Graphic (JOG250), die durch Mustererkennung und manuelle Digitalisierung mit anschließender interaktiver Attributierung in die digitale Form gebracht wurde. Durch nachfolgende Aktualisierungen unter Zuhilfenahme der Daten des Basis-DLM sind bis zum Jahr 2009 55 Objektarten des DLM250 erfasst worden. Heute wird das Digitale Landschaftsmodell 1:250.000 als Bestandteil des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystem (ATKIS<sup>®</sup>) für wesentliche Objektarten jährlich aktualisiert; die Lagegenauigkeit beträgt für alle Objekte +/- 100 m (GDZ 2019).



Abb. 9.31: Darstellung Struktur DLM250 (GDZ 2019)

Das DLM1000 (Abb. 9.32) beschreibt die topographischen Objekte der Landschaft im Vektorformat in noch stärker aggregierter Form als Basis-DLM und DLM250. Die Daten sind entsprechend dem Signaturenkatalog 1: 500 000 (SK500) kartographisch generalisiert. Der Objektartenkatalog beinhaltet aktuell über 40 Objektarten. Das DLM1000 ist seit 1994 vom BKG durch Digitalisierung der Übersichtskarte 1:500.000 (ÜK500) bearbeitet und in einer ersten Aufbaustufe bis zum Jahr 2000 fertig gestellt worden. Der Datenbestand ist kartographisch sehr stark generalisiert und soll zur Ableitung der Weltkarte 1:1.000.000 Verwendung finden (GDZ 2019). Die Mindestgröße für flächenförmige Objekte beträgt zwischen 5 und 10 km<sup>2</sup>. Heute wird das Digitale Landschaftsmodell 1 : 1.000.000 als Bestandteil des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystem (ATKIS<sup>®</sup>) für wesentliche Objektarten jährlich aktualisiert; die Lagegenauigkeit beträgt für alle Objekte +/- 250 m . Ebenso wie

das DLM250 beinhaltet das DLM1000 – im Gegensatz zum Basis-DLM - keine lückenlose Information der Tatsächlichen Nutzung der Erdoberfläche(GDZ 2019).



Abb. 9.32: Darstellung Struktur DLM1000 (GDZ 2019)

### 9.6.3 Landschaftsmodellierung im AAA-Datenmodell

In diesem Abschnitt soll exemplarisch auf ausgewählte Aspekte der Landschaftsmodellierung im AFIS<sup>®</sup>-ALKIS<sup>®</sup>-ATKIS<sup>®</sup>- (AAA)-Datenmodell eingegangen werden.

Das zentrale Element im AAA-Datenmodell ist das Objekt. Die vollständige Beschreibung von Objekten umfasst die Bestandteile (ADV 2008)

- Semantik (Sachdaten, Attribute, Werte),
- Raumbezug (Geometrie, Topologie) und
- Präsentation (Schrift, Signatur).

Nach einer insgesamt fünf Jahre andauernden Umstellungsphase hat das letzte Bundesland im Mai 2013 das neue AAA-Datenmodell eingeführt. Die Umstellung erfolgte über bundesweit abgestimmte Migrationstabellen und erforderte neben dem weitgehend automatisch durchgeführten Systemwechsel intensive Vor- und Nachmigrationsarbeiten.

Im neuen ATKIS<sup>®</sup>-DLM wird die Landschaft geometrisch und topologisch durch punkt-, linien- und flächenförmige Objekte („Raumbezogene Elementarobjekte“, „Zusammengesetzte Objekte“) beschrieben. Prinzipiell zählen dazu auch Präsentationsobjekte und Kartengeometrieobjekte. Präsentationsobjekte sind Texte und Kartensignaturen, die für einen bestimmten Zielmaßstab erzeugt und platziert werden. Ein Kartengeometrieobjekt entsteht bei der Ableitung eines bestimmten Kartenmaßstabs, wenn das zugrunde liegende DLM-Objekt zur Verhinderung von Darstellungskonflikten geometrisch verdrängt werden muss. Es verweist über eine einseitige Relation „istAbgeleitetAus“ auf das geometrisch nicht veränderte DLM-Objekt und übernimmt dessen Attribute. Präsentationsobjekte und Kartengeometrieobjekte tragen zur eindeutigen Zuordnung ihres Entstehungszwecks die Modellart des für sie bestimmten Kartenmaßstabs (Beispiel: DTK25).

Zusammengesetzte Objekte werden zur Modellierung komplexer Sachverhalte gebildet; sie können in der Geotopographie in der Regel mehrere Raumbezogene Elementarobjekte miteinander verknüpfen. Optional sind darüber hinaus auch Nichtraumbezogene Elementarobjekte

jekte in den ATKIS®-Daten zulässig, etwa in Form von Lagebezeichnungen. Zur Modellierung der Landschaft können sich die digitalen Landschaftsmodelle in Analogie zu ALKIS® grundsätzlich folgender AAA-Objektartenbereiche bedienen:

- Präsentationsobjekte,
- Tatsächliche Nutzung,
- Bauwerke, Einrichtungen und sonstige Anlagen,
- Relief,
- Gesetzliche Festlegungen, Gebietseinheiten, Kataloge sowie Lage, Eigentümer, Gebäude und Nutzerprofile.

Bedingt durch die Harmonisierung der Objektsichten zwischen dem Liegenschaftskataster und der Geotopographie gibt es im Vergleich zur Einteilung der Objektbereiche im bisherigen ATKIS® (9.6.1) große inhaltliche Unterschiede; so gehören zum neuen Objektartenbereich „Tatsächliche Nutzung“ die im „alten“ ATKIS® eigenständigen Objektartenbereiche Siedlung, Verkehr, Vegetation und Gewässer. Die neue Einteilung hat den Vorteil, dass der Objektartenbereich „Tatsächliche Nutzung“ genau die Objektarten enthält, die die Erdoberfläche lückenlos und redundanzfrei als sogenannte Grundflächen abbilden. Eine darüber hinausgehende, detailliertere Beschreibung der Erdoberfläche erfolgt durch überlagernde Objektarten der anderen Objektartenbereiche.

Ein digitales Landschaftsmodell ist grundsätzlich ein zweidimensionales Informationssystem. Um die Lage von Objekten über oder unter der Erdoberfläche zu modellieren, wird die Relation „hatDirektUnten“ verwendet – mit der Besonderheit, dass zu Objekten, die die Erdoberfläche selbst beschreiben, keine Relationen aufgebaut werden. So wird implizit vorausgesetzt, dass eine Brücke über und ein Tunnel unter der Erdoberfläche liegen. In Abbildung 9.33 werden schematisch die Relationen angezeigt, die zu bilden sind, wenn – von oben nach unten betrachtet – die Objekte Leitung, Brücke mit auf ihr liegender Straße, Brücke mit auf ihr liegender Eisenbahn und wieder Leitung zu modellieren sind.

Eine weitere wichtige Besonderheit des AAA-Datenmodells ist die integrierte Führung von Metadaten in einem Metainformationssystem nach ISO 19115 „Geographic Information – Metadata“ (ISO 2005). Festlegungen dazu sind im Kapitel 9 der GeoInfoDok enthalten (ADV 2008). Ein bedeutender Aspekt der Metadaten sind Aussagen über die Datenqualität, weshalb die AdV im AAA-Datenmodell auch ein umfangreiches Qualitätssicherungsmodell integriert hat. Zur Qualitätssicherung wird die AdV-Testsuite eingesetzt. Diese wurde konzipiert, um über die landesintern und softwarespezifischen Prüfungen hinaus eine formalisierte neutrale Qualitätsprüfung gegen das AAA-Datenmodell durchführen zu können. Die Prüfung erfolgt anhand von speziell dafür aufgestellten AAA-Testkriterien, die aus der GeoInfoDok und dem dazugehörigen AAA-Anwendungsschema abgeleitet sind. (KURSTEDT 2017).

Im Unterschied zum früheren ATKIS®-Datenmodell werden die Daten der digitalen Geländemodelle grundsätzlich nicht mehr im Objektbereich Relief des DLM geführt, sondern als eigener DGM-Bestandteil unter den objektstrukturierten Daten ausgewiesen. Damit wird die universelle Verwendbarkeit der DGM-Daten als eigenständiger Datenbestand verdeutlicht. Ausgenommen von diesem Grundsatz sind lediglich ausgewählte Reliefformen, die speziell aus kartographischer Sicht für die Kartenableitung benötigt werden; dies sind die Objektarten „Böschung, Kliff“, „Böschungsfäche“, „Damm, Wall, Deich“, „Einschnitt“, „Höhleneingang“, „Felsen, Felsblock, Felsnadel“, „Düne“, „Höhenlinie“ und „Geländekante“.

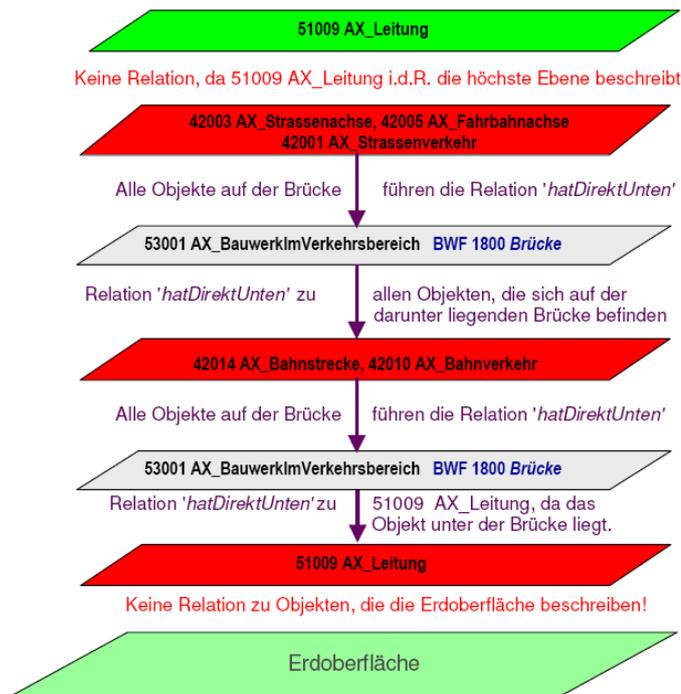


Abb. 9.33: Vertikale Abbildung der Landschaft über der Erdoberfläche (ADV 2008)

Seit 2008 wurde die DLM-Bearbeitung in allen Bundesländern nach den Vorgaben der Referenzversion 6.0 der GeoInfoDok durchgeführt. Im Jahr 2009 wurde durch die AdV eine fehlerbereinigte Version 6.0.1 beschlossen. Aufgrund von notwendigen Fehlerbereinigungen, Änderungen, Ergänzungen sowie weiteren Anforderungen, die an den AAA-Revisionsausschuss herangetragen worden, hat die AdV deshalb die Veröffentlichung einer neuen Referenzversion 7 vorbereitet. Inzwischen ist die Einführung der GeoInfoDok, AAA-Anwendungsschema in der Version 7.1 zum 31.12.2023 beschlossen. Die neue Version unterscheidet sich speziell aus ATKIS<sup>®</sup>-Sicht von der aktuellen Version 6.0.1 durch folgende wesentliche neue Modellierungen:

- 3D-Gebäudemodelle
- Digitale Höhenmodelle (DHM)
- Neue Objektarten wegen der Berücksichtigung der Anforderungen des europäischen CORINE Land Cover-Projekts für die zukünftige Ableitung der geotopographischen Basisdaten aus dem ATKIS<sup>®</sup>-Basis-DLM
- Berücksichtigung der Ergebnisse der Harmonisierung ALKIS<sup>®</sup>-ATKIS<sup>®</sup> (ADV 2014), der Anforderungen der amtlichen Statistik sowie der Ableitung von Landbeckung und Landnutzung (ADV 2018).

#### 9.6.4 Paradigmenwechsel in der Landschaftsmodellierung - Auf dem Weg zu GeoBasisDE

Die 2015 in allen Bundesländern abgeschlossene Umstellung auf das AAA-Datenmodell, verbunden mit der Verwendung eines einheitlichen Raumbezuges, ermöglichte erstmals unmittelbare Datenvergleiche von ALKIS<sup>®</sup> und ATKIS<sup>®</sup>, sowohl innerhalb eines Bundeslandes, als auch über Ländergrenzen hinweg. Von Interesse ist hier vor allem der Bereich der Tatsächlichen Nutzung, der sowohl für ALKIS<sup>®</sup> als auch für ATKIS<sup>®</sup> bisher getrennt erfasst, modelliert und geführt wird. Die Bandbreite der Unterschiede reicht von der Dokumentation im ALKIS<sup>®</sup> oder ATKIS<sup>®</sup> bis hin zu unterschiedlichen Standards, Genauigkeiten, der Art der Fortführung und Aktualitäten. In einigen Bundesländern wird die Tatsächliche Nutzung (TN) in ALKIS nur anlassbezogen fortgeführt, in ATKIS<sup>®</sup> wiederum erfolgt eine kontinuierliche Fortführung auf Basis von Orthophotos. Zudem wird die TN in ATKIS<sup>®</sup> mit einer wesentlich höheren Inhaltsdichte und maßstabsbedingt mit größeren Erfassungsgrenzen modelliert (OSTRAU 2016). Die Redundanzen und Unterschiede in der Modellierung der Tatsächlichen Nutzung im Liegenschaftskataster und in der Geotopographie sind der historischen Entwicklung geschuldet: während im ATKIS<sup>®</sup> die Landschaft vornehmlich nach topographischen Gesichtspunkten gegliedert und die topographischen Erscheinungsformen und Sachverhalte klassifiziert werden, werden im Liegenschaftskataster neben den eigentumsrechtlichen Informationen auch Angaben zur Flächennutzung geführt. Dies führte letztendlich zu einer „Mischung“ von Landbedeckungs- und Landnutzungsinformationen innerhalb der Tatsächlichen Nutzung. Deutlich wird dies in der Objektartengruppe „Siedlung“, in der Aspekte der Landnutzung überwiegen (Wohnbaufläche), während in der Objektartengruppe „Vegetation“ die Landbedeckung stärker im Fokus steht (Wald, Gehölz, Moor). Zusätzlich hat die stetig zunehmende Nutzung der Daten der Tatsächlichen Nutzung vor allem für deutschlandweite Auswertungen und (Flächen-)Statistiken dazu geführt, dass die unterschiedlichen Qualitäten von Nutzerseite aufgedeckt wurden. Um die Vermischung von Landbedeckung und Landnutzung in der TN und die daraus resultierenden Probleme zu beheben, soll zukünftig auch im amtlichen deutschen Vermessungswesen Landnutzung (LN) und Landbedeckung (LB) separat modelliert werden (ARNOLD ET AL. 2017, ADV 2016). Um diese Anforderungen zu erfüllen, soll die in der GeoInfoDok beschriebene Tatsächliche Nutzung erhalten und beibehalten werden; sie wird aber derart erweitert, dass daraus die Landnutzung vollständig automatisch abgeleitet werden kann. Die Landbedeckung wiederum soll weitestgehend automatisch aus Fernerkundungsdaten abgeleitet werden. Landbedeckung und Landnutzung sind auf Grundlage des AAA-Basischemas in zwei neuen Fachschematas modelliert.

Zur automatisierten Ableitung der LN aus der TN musste die bestehende Modellierung der TN angepasst werden: u.a. wurde der Objektartenbereich der TN um 3 Attributarten sowie 51 Wertarten ergänzt, 15 Wertarten wurden neu in den von allen Ländern zu erfassenden Grunddatenbestand aufgenommen. Im Gegensatz zur bisherigen flächendeckenden und überlagerungsfreien Modellierung der TN sind nun außerdem Überlagerungen in der TN zugelassen, um Unschärfen im Nachweis der Nutzung zu beseitigen (Objekte auf Wasserflächen, Parkplatzflächen bei Einkaufszentren). Für die künftige eindeutige Ableitung der LN sind wenige zusätzliche Daten neu zu erfassen (dies betrifft z.B. die Wertart Weihnachtsbaumkultur für die Objektart AX\_Wald). Diese Erfassungsarbeiten erfolgen parallel zu den angelaufenen Umstellungsarbeiten auf die GID, AAA-Anwendungsschema 7.1. Anschließend erfolgt mittels eines Algorithmus (Mappingtool TN2LN) die vollautomatische Ableitung der LN aus der TN.

Zur automatisierten Ableitung der LB erarbeitet die AdV ein einheitliches Verfahren, welches zentral betrieben und eingesetzt werden kann, um einen bundesweit homogenen Datensatz für die Landbedeckung erzeugen zu können. Dazu werden bestehende und in Entwicklung befindliche Verfahrenslösungen aus Schleswig-Holstein (LUCAS 2017), Rheinland-Pfalz (SCHÜRER 2019) und Nordrhein-Westfalen analysiert. Da die Verfahren der Länder Rheinland-Pfalz (FernVE) und Schleswig-Holstein (DLM-Update) vornehmlich zur Erkennung von Veränderungshinweisen für die TN bezüglich ATKIS® und ALKIS® unter Nutzung von Fernerkundungsdaten entwickelt wurden, ist die direkte Ableitung der LB hier zunächst nicht vorgesehen. Eine entsprechende Erweiterung ist aber möglich. Das Verfahren aus NW zielt dagegen auf die AdV-konforme Ableitung der LB und liefert darüber hinaus Veränderungsinformationen für ALKIS® und ATKIS®. Das Verfahren ist derzeit noch in der Entwicklung (SANDMANN 2018).

Die Harmonisierung der TN in ALKIS® und ATKIS®, die Weiterentwicklung der TN zur Ableitung von Landdeckung und Landnutzung sowie die Entwicklung von Verfahren, die die automatisierte Ableitung von Landbedeckung und Landnutzung erlauben, werden in der Konsequenz auch dazu führen, die bisherigen Fortführungsprozesse der Tatsächlichen Nutzung zu evaluieren. Bei schwindenden (personellen) Ressourcen stellt sich zwangsläufig die Herausforderung, die parallele Erhebung, Modellierung und Führung der TN für ALKIS® und ATKIS® abzulösen. Die AdV-Arbeitsgruppe zur Harmonisierung der TN für ALKIS® und ATKIS® hat mit ihrem Konzept, bis 2030 einen bundesweit einheitlichen, neutralen und möglichst redundanzfreien Geobasisdatenbestand – GeoBasisDE – aufzubauen, einen Weg vorgezeichnet.

## **9.7 Topographische Landeskartenwerke**

### **9.7.1 Topographische Standardausgaben**

Ergebnisse aller topographischen Landesaufnahmen der vergangenen Jahrhunderte waren topographische Karten, die sowohl das Landschaftsbild als auch die messtechnischen und graphischen Fertigkeiten der jeweiligen Zeit widerspiegeln (siehe 7.1.1). Jede Region Deutschlands und Europas hat dabei je nach geschichtlicher Entwicklung eigene historische Kartendokumente hervorgebracht (HAKE 1978; GEUDEKE 1992; SCHAFFER 2003), auf die an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden kann. Die Vielfalt der kartographischen Landschaftsdokumentationen in Deutschland konnte erst mit der Gründung und der entsprechenden Zuständigkeit des Reichsamts für Landesaufnahme im Jahr 1919 beendet werden. Mit dem Übergang des Vermessungs- und Katasterwesens in den Zuständigkeitsbereich der Länder ist die AdV seit dem Jahr 1949 die Stelle, die sich um die Einheitlichkeit der geotopographischen Daten und Kartenwerke bemüht – durch die Erstellung und Abstimmung von Musterblättern in den 1950er bis 1980er Jahren sowie danach durch die Entwicklung von ATKIS®-Signaturenkatalogen und ATKIS®-Kartenproben.

Unter topographischen Standardausgaben sollen im Folgenden amtliche Kartenwerke verstanden werden, die länderübergreifend einen definierten Maßstab, eine einheitliche Kartographie, eine abgestimmte Bezeichnung (Kartenummer und Kartename) und einen fest definierten Blattschnitt aufweisen. Die topographischen Standardausgaben – in der Maßstabsfolge 1:10.000 (optional) - 1:25.000 - 1:50.000 - 1:100.000 - 1:250.000 - 1:1.000.000 –

waren und sind in der Regel die Grundlage für fachthematische Darstellungen und Planungen vieler anderer Fachbereiche.

Die Maßstäbe 1:10.000 in den östlichen und 1:25.000 in den übrigen Bundesländern gelten als topographische Grundmaßstäbe, die die Landschaft in detaillierter Form beschreiben. In weiten Teilen Deutschlands ist bereits im 19. Jahrhundert der Maßstab 1:25.000 in Form der sogenannten Messtischblätter als Grundkartenwerk entstanden und als solcher gepflegt worden. In den östlichen Bundesländern ist darüber hinaus im Zeitraum von 1956 bis etwa 1970 die Topographische Karte 1:10.000 (TK10) als Grundkartenwerk aufgebaut worden. Die Grundlage dafür bildeten sowohl topographische Neuaufnahmen als auch Grundrissauswertungen auf photogrammetrischer Basis (SCHAFER 2003).

Grundlage für die Kartenableitung im Maßstab 1:10.000 ist das ATKIS®-Basis-DLM. Der Aufwand für die kartographische Generalisierung ist relativ gering; trotz verbreiteter Straßendarstellung wird sie teilweise gar nicht oder nur in den nötigsten Fällen durchgeführt. In der breiten Öffentlichkeit wird der Maßstab 1:10.000 besonders als Orientierungskarte speziell im Leit- und Rettungswesen und im Freizeitbereich sowie als Grundlage für Stadt- und Ortspläne verwendet.

Anders als im Maßstabsbereich 1:10.000 wird die Topographische Karte 1:25.000 (TK25) erst seit 2014 von allen Bundesländern aus dem ATKIS®-Basis-DLM abgeleitet. Einige Länder haben bis zu diesem Zeitpunkt die „alte“ TK25 in rasterbasierter Form aktualisiert und herausgegeben. Abbildung 9.34 zeigt im Vergleich eine jeweils verkleinerte TK25 in alter und in neuer Kartengraphik.

Bei der Fortführung der alten TK25 in Rasterform wurden die ursprünglich gescannten analogen Folien (Grundrissfolie, Gewässerfolie, Höhenlinienfolie) jeweils einzeln bearbeitet; wegfallende Objekte wurden im Rasterformat gelöscht, neue Objekte zunächst in Vektorform digitalisiert und nach der Symbolisierung in die entsprechende Rasterebene „eingebrennt“. Bei der DTK25-Ableitung aus dem Basis-DLM werden alle interaktiven kartographischen bzw. automationsgestützten Prozesse im Vektorformat durchgeführt. Erst für die Druckaufbereitung werden die Vektordaten entsprechend der Zuordnung zu einem der 23 Farbtöne auf die digitalen Druckfolien für Cyan, Magenta, Gelb und Schwarz verteilt.

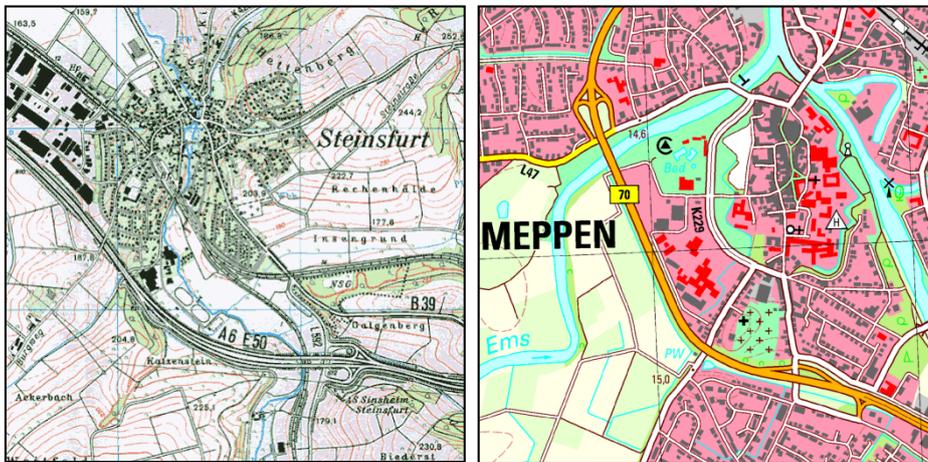


Abb. 9.34: Verkleinerte TK25 in alter (links)(LGL BADEN-WÜRTTEMBERG 2009) und neuer Kartengraphik (rechts)(LGN 2009)

Mit der erstmaligen Herstellung der Topographischen Karte 1:50.000 (TK50) wurde erst Mitte der 1950er Jahre begonnen. Damit schloss sich die Lücke zwischen den traditionellen Maßstäben 1:25 000 (Messtischblatt) und 1:100 000 (Generalstabskarte). Die TK50 weist, verglichen mit der TK25, eine stärkere Generalisierung insbesondere bei der Landschaftsdarstellung auf und eignet sich vor allem für die zusammenhängende detaillierte Darstellung größerer Gebiete (22 \* 22 km<sup>2</sup>) in einem Kartenblatt. Sie deckt die Fläche von 4 TK25 ab und ist häufig die Basis für thematische Karten mit regionalem Charakter – wie Freizeitkarten und Waldbrandeinsatzkarten.

Ebenso wie bei der TK25 haben einige Bundesländer die TK50 bis zum Jahr 2013 noch in alter Kartengraphik fortgeführt (Baden-Württemberg, Hamburg, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Saarland, Schleswig-Holstein), während in den übrigen Ländern teilweise bereits seit dem Jahr 2004 das ATKIS®-DLM50 als Grundlage für die Ableitung dieses Kartenwerks in neuer Kartengraphik genutzt wurde. Neben der Verwendung einer breiteren Farbpalette unterscheidet sich die neue Karte insbesondere durch den Verzicht auf die Einzelhausdarstellung im Siedlungsbereich von der alten TK50 (Abb. 9.35 a, b). Einzelhäuser wurden lediglich dann noch dargestellt, wenn sie eine größere Fläche als 2000 m<sup>2</sup> abdecken, in Industriegebieten liegen oder öffentliche Gebäude sind. Diese Entscheidung wird allerdings aktuell wieder revidiert. Entsprechend der Analyse der Bundeswehr hat sich der Verzicht auf die Einzelhausdarstellung nicht bewährt, da eine Unterscheidung von Siedlungsgebieten zu anderen Flächen erschwert wird. Die Darstellung der Einzelgebäude gibt den siedlungsstrukturellen Charakter wieder, der für die Orientierung vom Boden sowie aus der Luft elementar ist und auch wichtige Informationen über Bewegungsmöglichkeiten und Einsehbarkeit enthält (ADV 2015b). Deshalb werden die in einem vollautomatischen Ableitungs-/Generalisierungsprozess erzeugte Einzelhäuser aktuell wieder dargestellt (Abb. 9.35 c).

Die TK50 wird nach einem Beschluss der AdV aus dem Jahr 2000 als gemeinsame zivil-militärische Ausgabe geführt, weshalb die bis dahin gesondert angefertigte Militärische Ausgabe M745 nicht mehr produziert wird (ADV 2000). Als Folge dieses Beschlusses beinhaltet die TK50 seitdem das UTM-Koordinaten-Gitter, eine dreisprachige Legende (deutsch, englisch, französisch) sowie Angaben über die Meridiankonvergenz.





Abb. 9.35 a, b, c: Verkleinerte TK50 in alter (oben links) und neuer Kartengraphik (oben rechts), sowie in aktueller Ausprägung mit wiedereingeführter Einzelhausdarstellung (LVERMGEO LSA 2019)

Der Kartenmaßstab 1:100.000 ist in Deutschland als Generalstabskarte im 19. Jahrhundert entstanden. Die TK100 hat die Karte des Deutschen Reiches 1:100.000 abgelöst und ist etwa Mitte der 1960er Jahre entstanden; sie deckt die Fläche von 4 TK50 ab und ist insbesondere dazu geeignet, größere Gebietseinheiten wie Landkreise zusammenhängend in ausreichender Detailliertheit darzustellen.

Die TK100 ist bis zum Jahr 2010 von den meisten Bundesländern noch in alter Kartengraphik auf der Grundlage der einmal eingescannten analogen Kartenoriginalen im Rasterformat fortgeführt worden. Auf der Grundlage einer Verwaltungsvereinbarung zwischen dem Bundesministerium für Verteidigung und den Ländern aus dem Jahr 2006 ist bis etwa Mitte 2012 flächendeckend für das Bundesgebiet eine DTK100 in Form einer gemeinsamen zivil-militärischen Karte in neuer Kartengraphik entstanden (ADV 2006, WIEBNER & PATZSCHKE 2012).

Mit dem „Abkommen über Maßnahmen auf dem Gebiet des amtlichen Landkartenwesens“ vom 31. März 1963 zwischen dem Bund und den Ländern hat das Institut für Angewandte Geodäsie (IfAG, heute: BKG) die Herstellung, Laufendhaltung, Vervielfältigung und Veröffentlichung der amtlichen Landkartenwerke in den Maßstäben 1:200.000 und kleiner übernommen. Diese Arbeitsteilung galt ursprünglich für die analoge Kartenwelt, ist dann aber folgerichtig auch auf die digitale Bearbeitungstechnik übertragen worden, so dass das BKG für die Bearbeitung des DLM250 und des DLM1000 (9.6.2) sowie die Ableitung der DTK250 und der DTK1000 verantwortlich ist. Auch die DTK250 und der DTK1000 sind in neuer Kartengraphik verfügbar.

Die Blattsnitte der Topographischen Landkartenwerke TK25, TK50 und TK100 basieren als sogenannte Gradabteilungskarten auf den geographischen Netzlinien des Bessel-Ellipsoids. In Bezug auf die TK25 sind dies 6 Breiten- und 10 Längenminuten, bei der TK50 entsprechend 12 Breiten- und 20 Längenminuten sowie bei der TK100 24 Breiten- und 40 Längenminuten. Als Kartenabbildung ist bis zum Ende der 1990er Jahre das Gauß-Krüger-Koordinatensystem verwendet worden. Im Jahr 1997 hat die AdV beschlossen, als Abbildungsgrundlage zukünftig die Universale Transversale Mercatorprojektion (UTM) auf der Basis des Europäischen Terrestrischen Referenzsystems 1989 (ETRS89), das dem Weltweiten Geodätischen System 1984 (WGS84) entspricht, zu verwenden (ADV 1997). Aus Rücksicht auf analoge Kartennutzer wurde die Projektions- und Abbildungsänderung ohne Ände-

rung der Blattschnitte umgesetzt, was zur Folge hat, dass die Blattecken der analogen Topographischen Landeskartenwerke nunmehr unrunde geographische Koordinatenwerte aufweisen.

### 9.7.2 Geotopographische Sonderausgaben

Neben den o. a. topographischen Standardausgaben gibt es eine ganze Reihe geotopographischer Sonderausgaben, die in Ermangelung einer allgemein anerkannten Definition sehr weit gefasst werden können, bis hin zu Planungskarten und Stadtkarten. Im engeren Sinne sollen geotopographische Sonderausgaben hier als Karten(werke) verstanden werden, die regelmäßig von einer amtlichen, für die Geotopographie zuständigen Stelle bearbeitet und herausgegeben werden und nicht die Anforderungen an eine Standardausgabe (9.7.1) erfüllen. Darunter fallen alle regionalen Gebietskarten (Bezirkskarten, Kreiskarten), die auf den topographischen Kartenwerken aufsetzen, sich aber nicht an den dort definierten Blattschnitt halten. Dazu zählen auch alle beliebigen Einzelplots aus einer blattschnittfreien DTK-Datenbank („Plot on Demand“), wie sie bereits von einigen Landesvermessungsbehörden angeboten werden.

Ebenso zu den geotopographischen Sonderkarten zählen die auf der Basis der TK25, TK50 oder TK100 erstellten Freizeitkarten (Wanderkarten, Radwanderkarten) der Landesvermessungsbehörden, die oft flächendeckend als Infrastrukturmaßnahme zur Tourismusförderung eines Landes erstellt werden und die neben dem geotopographischen Raumbezug zusätzliche freizeitrelevante Informationen enthalten.

Schließlich können auch alle historischen Karten zu den geotopographischen Sonderausgaben gezählt werden, auch wenn sie nicht immer flächendeckend vorliegen.

### 9.7.3 Schlaglichter aus dem europäischen Umfeld

In der Schweiz werden als Landeskartenwerke die Maßstäbe 1:25.000, 1:50.000 und 1:100.000 in festen Blattschnitten geführt. Für ausgewählte Gebiete gibt es in allen drei Maßstäben sogenannte Zusammensetzungen, in denen touristisch interessante Regionen zusammenhängend dargestellt werden. Darüber hinaus gibt die Schweizer Landesvermessung eine aus vier Blättern bestehende Landeskarte 1:200.000 heraus, eine Generalkarte 1:300.000 als Verkleinerung der Landeskarte 1:200.000 sowie jeweils eine Landeskarte im Maßstab 1:500.000 und 1:1.000.000. Die Schweizer Landeskarten haben einen Aktualisierungszyklus (Nachführungsstand) von bis zu sechs Jahren und bietet alle Maßstäbe digital und in den Anwendungen SwissMapRaster oder SwissMapVector an (SWISSTOPO 2019). Ausführliche Informationen zur Herstellung der neuen Schweizer Kartenwerke können z.B. FORTE (2016) entnommen werden.

In Österreich ist die Karte 1:50.000-UTM das topographische Grundkartenwerk; sie wird gemeinsam mit dem Institut für Militärisches Geowesen (IMG) des Bundesministeriums für Landesverteidigung (BMLV) herausgegeben und ist inhaltlich mit einem zusätzlichen militärischen Aufdruck versehen. Eine Karte im Maßstab 1:25.000 wird aus dieser Grundkarte durch Vergrößerung abgeleitet. Darüber hinaus werden noch die Maßstäbe 1:250.000 und 1:500.000 herausgegeben. Die Österreichische Karte 1:250.000 auch eine offizielle Militärkarte, auf der zusätzliche Informationen über Verbindungsbedeutung, Straßenbreiten, Engstellen, eingeschränkte Brückenbelastbarkeit und Durchfahrtshöhen, sowie außergewöhnliche Steigungen und Standorte von Krankenhäusern dargestellt sind (BEV 2019).

Großbritannien produziert seine topographischen Karten im Maßstab 1:25.000 (Explorer Map) und im Maßstab 1:50.000 (Landranger Map) in großen Blattschnittformaten mit Ausdehnungen von bis zu 1\*1m. Auf Basis dieser Karten kann auf der Internetseite des Ordnance Survey ein nutzerspezifischer Kartenausdruck erstellt werden. Daneben werden noch sogenannte Road Maps und Tour Maps angeboten (ORDNANCE SURVEY 2019).

## 9.8 Web-Map-Karten

Die Umstellungen auf das AAA-Datenmodell sind inzwischen in den Bundesländern und beim Bund auch für die topographischen Kartenwerke abgeschlossen. Die Topographischen Kartenwerke basieren auf den Digitalen Landschaftsmodellen und den korrespondierenden Digitalen Geländemodellen. Die Kartengrafik (ATKIS<sup>®</sup>-Signaturenkataloge) ist in der GeoInfoDok beschrieben. Die Entwicklungen der vergangenen Jahre waren vor allem geprägt von der zunehmenden Automatisierung im Herstellungsprozess Topographischer Karten. Dazu gehört neben der Formalisierung und Vereinheitlichung der jeweiligen Signaturenkataloge vor allem die automatische Generalisierung zur Ableitung von Topographischen Karten (JÄGER 2016, SCHÜRER 2015, ISPATIAL 2017).

Angetrieben durch steigende Nutzeranforderungen nach höherer Aktualität und schnellerer Verarbeitung der Daten stellt sich die Frage, inwieweit klassische gedruckte Topographische Karten diese Anforderungen erfüllen können. Zwar wird es auf absehbare Zeit sowohl für die Bundeswehr (für die gemeinsam erstellten zivil-militärischen Karten 1:50.000 und 1:100.000) als auch im Bereich der Freizeitaktivitäten (Wanderkarten) einen konstanten Bedarf an gedruckten Karten geben. Daneben ist aber der Bedarf nach Kartendiensten des amtlichen deutschen Vermessungswesen stark gestiegen. Neben einer guten Performance und einer hohen Verfügbarkeit werden insbesondere ein stufenloses Zoomen, ein einfacher, einheitlicher Kartenduktus sowie eine deutschlandweit flächendeckende und länderübergreifenden Bereitstellung des Kartendienstes erwartet (ADV 2015a). Mit dem WebAtlasDE, einem gemeinsamen Dienst von Bund und Ländern sowie mit dem Verfahren TopPlus des BKG liegen seit einiger Zeit solche webbasierten Kartendienste vor, auf die an dieser Stelle nicht weiter eingegangen wird; sie sind in der Literatur bereits ausführlich beschrieben, u.a. in BKG (2016) sowie KUNZ (2014) und KUNZ (2018).

Die AdV hat im Jahr 2017 beschlossen, noch einen Schritt weiter zugehen. Basierend auf den Ergebnissen einer kritischen Analyse des Produktportfolios der Geotopographie sowie der Rahmenbedingungen bei Erhebung, Führung und Bereitstellung der Geobasisdaten wurde das Projekt Smart Mapping ins Leben gerufen. Mit Smart Mapping sollen die bestehenden Präsentationen der Geobasisdaten, also die Digitalen Topographischen Karten (DTK) und die Kartendienste (WebAtlasDE, TopPlus) zu einem neuen kartographischen Produkt verschmelzen. Mit Smart Mapping sollen auf der Basis von amtlichen Daten hochaktuelle kartographische Produkte erzeugt werden. Dabei stehen die Ziele Aktualität, Flächendeckung und Einheitlichkeit, Individualisierung und freie Parametrisierung sowie flexible Erweiterungen und Ausgabeformen im Vordergrund der Entwicklung (ADV 2018b). Das Smart Mapping Projekt geht in vielerlei Hinsicht neue Wege. Es basiert auf einer Entwicklungsplattform, in der im Wesentlichen Open Source Software zum Einsatz kommt. Daneben findet ein einheitliches, schlankes und vektorielles Datenmodell Anwendung, da das AAA-Modell, welches Grundlage sowohl für die DTK als auch für den WebAtlasDE ist, die Anforderungen nach einer hohen Performance nicht in jeder Hinsicht erfüllen kann. Als Datengrundlage

werden neben den Geobasisdaten (Basis-DLM, DGM, Gebäudegrundrisse und 3D-Gebäude) auch amtliche europäische oder weltweite Daten (EuroGlobalMap) verwendet, die ggf. um nicht amtliche Daten (OpenStreetMap) ergänzt werden. Die Ableitungsprozesse erfolgen vollautomatisch. Abbildung 9.36 zeigt die schematische Architektur des Smart Mapping-Projektes.

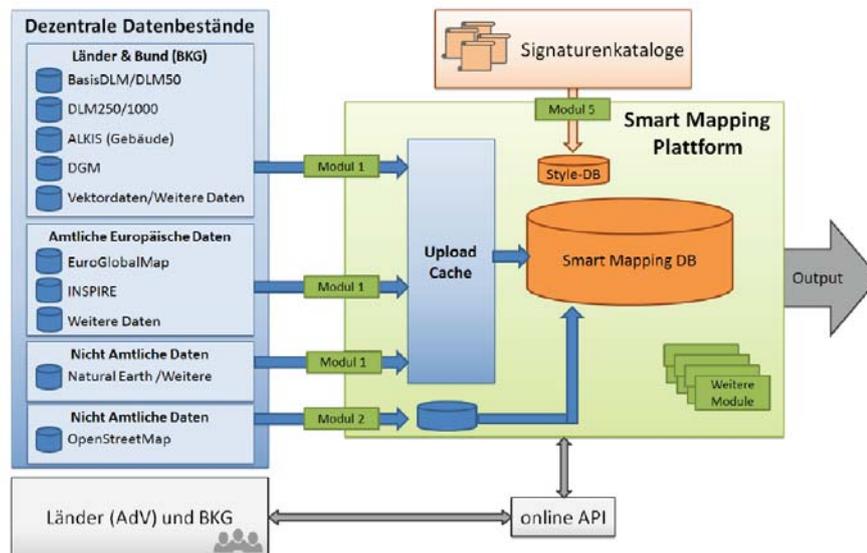


Abb. 9.36: Smart Mapping-Architektur nach SEIFERT (2019)

In einem ersten Schritt wurde im Smart Mapping Projekt eine vektorbasierte Webkarte auf Basis von VectorTiles umgesetzt. Dabei werden zur Visualisierung nicht mehr vorkonfigurierte Rasterbildpyramiden verwendet, sondern Dank zunehmender Leistungsfähigkeit der Clients und wachsender Bandbreiten werden Vektordaten an die Clients übermittelt, die dort angezeigt (gerendert) werden (SEIFERT 2019). Zum Vergleich: Die Bereitstellung des WebAtlasDE erfolgt auf Basis von Rasterdaten und WMS- oder WMTS-Diensten. Die nachfolgenden Abbildungen 9.37 bis 9.39 zeigen an drei Beispielen, bei denen jeweils unterschiedliche Daten und Ansichten kombiniert sind, den aktuellen Stand des Projektes.





phischen Landschaftsmodells (vergleichbar mit dem Basis-DLM) durch eine automatisch erzeugte Landeskarte mit kartografischer Darstellungsqualität abgelöst. Die Rahmenbedingungen sind ähnlich wie in Deutschland: Erstellung mit vorhandenen Daten, automatische Ableitung, keine Nachbearbeitung, Auslegung auf digitale Nutzung. Das von FORTE (2016) gezogene Fazit gilt auch für Deutschland: „Karten sind relevant für die Orientierung im Raum, egal ob sie digital oder analog genutzt werden. Die Bereitstellung von lesbaren und interpretierbaren Geoinformationen ist auch in Zukunft eine Domäne der Kartografie, in die es sich lohnt, zu investieren, damit auch in Zukunft Maßstäbe gesetzt werden!“

## 9.9 Quellenangaben

### 9.9.1 Literaturverzeichnis

- ADV (1989): ATKIS®-Gesamtdokumentation, 1989. AdV-Geschäftsstelle, Hannover.
- ADV (1997): Darstellung des UTM-Gitters in den topographischen Landeskartenwerken. AdV-Beschluss 101/15, 1997, AdV-Geschäftsstelle, Hannover.
- ADV (1999): Interne Unterlagen des AdV-Arbeitskreises Topographie und Kartographie, 1999, Hannover.
- ADV (2000): Gemeinsames zivil-militärisches Kartenwerk Topographische Karte 1:50.000 (TK50). AdV-Beschluss 106/12, 2000, AdV-Geschäftsstelle, Hannover.
- ADV (2006): ATKIS®-Produktkatalog - Version 2.0. Interne Unterlagen des AdV-Arbeitskreises Geotopographie, 2006, Hannover.
- ADV (2013): Interne Unterlagen des AdV-Arbeitskreises Geotopographie, 2014, Hannover.
- ADV (2014): Interne Unterlagen des AdV-Arbeitskreises Geotopographie, 2014, Hannover.
- ADV (2015a): Interne Unterlagen des AdV-Arbeitskreises Geotopographie, AK GT Dokument Nr. 1265, 2015, Hannover.
- ADV (2015b): Interne Unterlagen des AdV-Arbeitskreises Geotopographie, AK GT Dokument Nr. 1238, 2015, Mainz.
- ADV (2018): Beschluss P2018/6 des AdV-Plenums, Strategische Eckpunkte zur Einführung der nächsten Referenzversion der GeoInfoDok und zur Einführung von Landbedeckung und Landnutzung. Internes Dokument, 2018, München.
- ADV (2018a): Beschluss P2018/8 des AdV-Plenums, Grundaktualität für Digitale Landschaftsmodelle. Internes Dokument, 2018, München.
- ADV (2018b): Beschluss P2018/14 des AdV-Plenums, Smart Mapping. Internes Dokument, 2018, München.
- ADV (2018c): Produktblatt Digitales Geländemodell Gitterweite 1 m, (DGM1), Stand 31.12.2018, 2018, München.
- ADV (2018d): Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok), Erläuterungen zum Objektartenbereich Relief, Stand: 15.03.2018, 2018, München.
- ADV (2019c): Tätigkeitsbericht 2018/2019, 2019, München.

- AK GT (2019): Vorbericht zur 32. Tagung des Arbeitskreises Geotopographie, AK GT Dokument Nr. 1510, interne Unterlage, 2019, Köln.
- ALBERT L., ROTTENSTEINER R., HEIPKE C. (2017): A higher order conditional random field model for simultaneous classification of land cover and land use. *International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (130) 63-80, doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.04.006.
- ARNOLD, S., KURSTEDT, R., RIECKEN, J., SCHLEGEL, B. (2017): Paradigmenwechsel in der Landschaftsmodellierung – von der Tatsächlichen Nutzung hin zu Landbedeckung und Landnutzung. In: *zfv-Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement* 1/2017, S.30 ff., Wißner-Verlag, 2017, Augsburg.
- BAY, H., ESS, A., TUYTELAARS, T., VAN GOOL, L. (2008): SURF: Speeded Up Robust Features. *Computer Vision and Image Understanding (CVIU)*, Vol. 110, No. 3, pp. 346–359, 2008.
- BESL, P. J. & MCKAY, N.D. (1992): A Method for Registration of 3-D Shapes. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 14 (2): 239–256.
- BREMER, M., LIEBIG, W., PRÖBLER, S. (1992): Einrichtung des ATKIS®-DLM25/1 in Niedersachsen. *Nachrichten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung*, Heft 3/1992, 134 - 157, Hannover.
- BUNDESREGIERUNG (2017): Die Copernicus-Strategie der Bundesregierung, BMVI, 2017, Berlin.
- BÜSCHER, O., BUCK, O., LOHMANN, P., HOFMANN, P., MÜLLER, S., SCHENKEL, R., WEISE, C., (2008): Einsatz von Change Detection Methoden zur Fortführung von DeCOVER Objektarten. In: *PGF* (2008), Nr. 5, 395-407.
- CHRISTOFFERS, F. (1992): Rahmenbedingungen zur Einrichtung des ATKIS®-DLM25/1 in Niedersachsen. In: *Nachrichten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung*, Heft 3/1992, 121 - 133, Hannover.
- DIN (2001): DIN 18740-1: Anforderungen an Bildflug und analoges Luftbild. Deutsches Institut für Normung e. V., 2001, Beuth Verlag, Berlin.
- ESA (2018): sentinel -> space for copernicus, BR-319 (4th ed.) | ISBN 978-92-9221-125-7 | ISSN 0250-1589 Copyright © 2018 European Space Agency.
- FÖRSTNER, W. (1982): On the Geometric Precision of Digital Correlation, *Proceedings ISPRS Symposium Commission III*, Vol. 24, Part 3, 176-189.
- FORTE, O. (2016): Mit GIS kartografische Massstäbe setzen – Die neuen Landeskarten der Schweiz 1:10.000 und 1:50.000. In: *Kartografische Nachrichten* 6/2016, 2016, Ort.
- GEUDEKE, P.-W. (1992): Die topographische Landesaufnahme in den Niederlanden. *Kartographisches Taschenbuch*, 33 - 52, Kirschbaum Verlag, 1992, Bonn.
- GOMILLE, U. (2008): Niedersächsisches Vermessungsgesetz. Kommentar, Kommunal- und Schul-Verlag, 2008, Wiesbaden.
- HAALA, N. (2009): Comeback of Digital Image Matching, *Photogrammetric Week 2009*, Wichmann Verlag, pp. 289-301.
- HAALA, N. & WOLFF, K. (2009): Digitale photogrammetrische Luftbildkamerasysteme – Evaluation der automatischen Generierung von Höhenmodellen. *Tagungsband 18/2009 der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung*, München.

- HAKE, G. (1978): Historische Entwicklung des Kartenwesens im Raum Hannover. In: Erikson, W., Arnold, A. (Hrsg.): Hannover und sein Umland, Festschrift zur Feier des 100jährigen Bestehens der Geographischen Gesellschaft zu Hannover, 50 - 67, 1978, Hannover.
- HANSEN R. (2001): Radar interferometry – data interpretation and error analysis. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, ISBN 0-7923-6945-9.
- HARBECK, R. (1996): Das ATKIS®-Systemdesign in der Entwicklung. In: Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz (Hrsg.). In: Das Geoinformationssystem ATKIS® und seine Nutzung in Wirtschaft und Verwaltung, 185 - 192, 1996, Koblenz.
- HEIPKE, C. (1997): Automation of interior, relative and absolute orientation, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing Vol. 52, Nr. 1, p. 1-19.
- HEIPKE C. (2010): Crowdsourcing geospatial data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing Vol. 65, Nr. 6, p. 550-557.
- HEIPKE, C. & EDER, K. (1998): Performance of tie-point extraction in automatic aerial triangulation, OEEPE Official Publications No. 35, 125-185.
- HEIPKE, C., JACOBSEN, K., WEGMANN, H. (2002): Analysis of the Results of the OEEPE Test of Integrated Sensor Orientation. In: Heipke, C, Jacobsen, K., Wegmann, H. (Hrsg.), Integrated Sensor Orientation, OEEPE Official Publication No. 43.
- HIRSCHMÜLLER, H. (2008): Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence Vol. 30 Nr. 2: 328–341.
- HIRSCHMÜLLER, H. & BUCHER, T. (2010): Evaluation of Digital Surface Models by Semi-Global Matching. In: Kohlhofer G., Franzen M. (Hrsg.): Publikationen der DGPF. Vol. 19. Wien, 2010, S. 571-580.
- JACOBSEN, K., CRAMER, M., LADSTÄTTER, R., RESSL, C.; SPRECKELS, V. (2010): DGPF project: Evaluation of digital photogrammetric camera systems - geometric performance. PFG 2010 (2), pp 85 – 98.
- JÄGER, E. (2000): ATKIS®- Modell- und kartographische Generalisierung. Schriftenreihe des DVW, Band 39/2000, 23 - 29, Wittwer Verlag, Stuttgart.
- JÄGER, E. (2016): Die zukünftige Ausrichtung der geotopographischen Produkte des LGLN - Vortragsfolien, <https://www.lgln.niedersachsen.de>, 2016, Hannover.
- JÄGER, E. & HEIPKE, C. (2014): Geotopographie und Photogrammetrie, in: Das deutsche Vermessungs- und Geoinformationswesen, Wichmann-Verlag, 2014, Berlin.
- JÄGER, E., SCHLEYER, A., UEBERHOLZ, R. (1998): AdV-Konzept für die integrierte Modellierung von ALKIS® und ATKIS®. In: zfv, Heft 6/1998, 176-193, Wittwer-Verlag, Stuttgart.
- KAGER, H. (2004): Discrepancies between overlapping laser scanning strips – simultaneous filtering of aerial laser scannstrips. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 35, Part 1, 555-560.
- KOLBE, T. H., (2009): Representing and exchanging 3D city models with CityGML. 3D Geo-Information Sciences, Springer, 15– 31.
- KRUSE C., ROTTENSTEINER F., HOBERG T., ZIEMS M., REBKE J., HEIPKE C. (2018): Generating impact maps from automatically detected bomb craters in aerial wartime images using marked point processes. In: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and

- Spatial Information Sciences IV-3, 127-134, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-3-127-2018>.
- KUMMER, K. & MÖLLERING, H. (2005): Vermessungs- und Geoinformationsrecht Sachsen-Anhalt. Kommentar, Kommunal- und Schul-Verlag, 2005, Wiesbaden.
- KUNZ, P. (2014): TopPlus – von der Stadtkarte bis zur europaweiten Übersichtskarte. In: Kartographische Nachrichten, 2/2014, S. 59-67, Kirschbaum Verlag, 2014, Bonn.
- KUNZ, P. (2018): Kartographische Herausforderungen bei der Herstellung der TopPlus-Web-Open, in: 38. In: Wissenschaftliche-Technische Jahrestagung der DGPF und PFGK18 Tagung in München, Publikation der DGPF, Band 27, 2018, München.
- KURSTEDT, R. (2017): Qualitätssicherung durch die AdV - Testsuite – Sachstand ATKIS® Basis-DLM. In: Meinel, G.; Schumacher, U.; Schwarz, S.; Richter, B. (Hrsg.): Flächen-nutzungsmonitoring IX. Nachhaltigkeit der Siedlungs- und Verkehrsentwicklung? Rhombos, IÖR Schriften 73, S. 103-109, 2017, Berlin.
- KRAUSS, K. (2004): Photogrammetrie. de Gruyter, Berlin, 7. Auflage.
- LAFARGE, F. & MALLET, C. (2012): Creating large-scale city models from 3D point clouds: a robust approach with hybrid representation. International Journal of Computer Vision, 99(1), 69-85.
- LI, M., ROTTENSTEINER F., HEIPKE C. (2019): Modelling of buildings from aerial LiDAR point clouds using TINs and label maps, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing (154), 127-138. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.06.003>.
- LOWE, D. G. (2004): Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. International Journal of Computer Vision, 60, 2, pp. 91-110, 2004.
- LVERMGEO (2015): Die geotopographische Landesaufnahme, Anwendungsbeispiele im AAA-Datenmodell. LVermGeo LSA, 2015, Magdeburg.
- MAYR, W. & HEIPKE, C. (1988): A contribution to digital orthophoto generation. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 27, Part B11, 430-439.
- MAYR, W. (2002): Bemerkungen zum Thema "True Orthoimage", PFG 4/2002, pp. 237-244.
- MÜLLER, F. (1991): Photogrammetrische Punktbestimmung mit Bilddaten digitaler Dreizeilenkameras. DGK-Reihe C Nr. 372.
- OESTEREICH, M. (2016): Die Fortführung des 3D-Gebäudemodells LoD2 in Nordrhein-Westfalen. In: zfv-Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 192-197, Wißner-Verlag, 2016, Augsburg.
- OSTRAU, S. (2016): Auf dem Weg zu GeoBasisDE 2030 – Ein Zwischenfazit aus kommunaler Sicht, zfv-Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 274-281, Wißner-Verlag, 2016, Augsburg.
- PATZSCHKE, S. (2003): Building the DTM for the state of Saxony-Anhalt, Proceedings, Trends in Landscape Modeling. Wichmann-Verlag, 2003, Heidelberg.
- Politz, F. & Sester, M. (2018): Exploring ALS and DIM data for semantic segmentation using CNNs, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-1, 347-354, [doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-1-347-2018](https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-1-347-2018).
- RUTZINGER, M., ROTTENSTEINER, F., PFEIFER, N. (2009): A comparison of evaluation techniques for building extraction from airborne laser scanning. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing. 2(1), 11-20.

- SCHAFFER, J. (2003): Von der Mecklenburg-Karte Tilemann Stellas zum Geo-Informationssystem ATKIS® – Die Entwicklung der topographischen Landesaufnahme in Mecklenburg. In: 150 Jahre Mecklenburgische Landesvermessung, 2003, Schwerin.
- SCHÜRER, D. (2004): Die Modellgeneralisierung – Ein Werkzeug zur automatischen Ableitung von Digitalen Landschaftsmodellen. In: Kartographische Schriften, Band 9, 158 - 166, 2004, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- SCHÜRER, D. (2015): AdV-Projekt ATKIS®-Generalisierung. Vortragsfolien Intergeo, 2015, Stuttgart.
- SCHÜRER, D. (2019): AAA-Bestandsdatenbank. Interne Unterlage des AK GT, 2019. Köln.
- SEIFERT, M. (2019): Smart Mapping – das agile Verfahren der AdV. In: zfv-Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement 06/2019, Wißner-Verlag, Augsburg, 2019.
- SITHOLE, G. (2005): Segmentation and Classification of Airborne Laser Scanner Data. Dissertation, TU Delft, 146p.
- SONG Y., NIEMEYER J., ELLMER W., SOERGEL U., HEIPKE C. (2015): Comparison of three airborne laser bathymetry data sets for monitoring the German Baltic Sea Coast. In: Bostater C., Mertikas S., Neyt X. (eds.), Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2015, SPIE Proceedings Vol. 9638, 9p.
- TORGE, W. (2007): Geschichte der Geodäsie in Deutschland. W. de Gruyter, 2007, Berlin, New York.
- WAGNER, W., ULLRICH, A., DUCIC, V., MELZER, T. AND STUDNICKA, N. (2006): Gaussian decomposition and calibration of a novel small-footprint full-waveform digitising airborne laser scanner. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 60 (2), 100-112.
- WIEßNER, O. & PATZSCHKE, S. (2012): Herstellung des gemeinsamen zivil-militärischen Kartenwerkes im Maßstab 1:100 000. In: LSA Verm 1/2012 S. 29-36, 2012, Magdeburg.
- WODTKE, K.-P. (2004): Die neue DTK50 – Umsetzung des AdV-Konzepts in Niedersachsen. In: Kartographische Schriften, Band 9, 171 - 184, 2004, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- YANG C., ROTTENSTEINER F., HEIPKE C., (2018): Classification of land cover and land use based on convolutional neural networks. In: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences IV-3, 251-258, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-3-251-2018>, 2018.

## 9.9.2 Internetverweise

- ISPATIAL (2017): Fallstudie AdV-Projekt ATKIS®-Generalisierung, [https://1spatial.com/au/wp-content/uploads/sites/4/2017/05/1Spatial\\_AdV\\_CaseStudy-v5.pdf](https://1spatial.com/au/wp-content/uploads/sites/4/2017/05/1Spatial_AdV_CaseStudy-v5.pdf) 1Spatial Group Ltd., 2017, Cambridge
- ADV (2008): Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok). [www.adv-online.de/GeoInfoDok/GeoInfoDok-6.0/Dokumente/](http://www.adv-online.de/GeoInfoDok/GeoInfoDok-6.0/Dokumente/)

- ADV (2015): AdV und KLA, Leitlinien zur bundesweit einheitlichen Archivierung von Geobasisdaten; [www.bundesarchiv.de/DE/Content/Downloads/KLA/leitlinien-geobasisdaten.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bundesarchiv.de/DE/Content/Downloads/KLA/leitlinien-geobasisdaten.pdf?__blob=publicationFile)
- ADV (2016): Bericht der AdV-Arbeitsgruppe Harmonisierung ALKIS®-ATKIS®, Version 1.0.3; [www.adv-online.de/Veroeffentlichungen/Weitere-Veroeffentlichungen/](http://www.adv-online.de/Veroeffentlichungen/Weitere-Veroeffentlichungen/)
- ADV (2019): Leitfaden zur Ausschreibung einer Luftbildbefliegung für Zwecke der Landesvermessung, Version 1.9; [www.adv-online.de/AdV-Produkte/Standards-und-Produktblaetter/Standards-der-Geotopographie/](http://www.adv-online.de/AdV-Produkte/Standards-und-Produktblaetter/Standards-der-Geotopographie/)
- ADV (2019a): Produkt- und Qualitätsstandard für Digitale Geländemodelle, Version 3.0, 2019; [www.adv-online.de/AdV-Produkte/Standards-und-Produktblaetter/Standards-der-Geotopographie/](http://www.adv-online.de/AdV-Produkte/Standards-und-Produktblaetter/Standards-der-Geotopographie/)
- ADV (2019b): Produkt- und Qualitätsstandard für 3D\_Gebäudemodelle, Version 2.0; [www.adv-online.de/AdV-Produkte/Standards-und-Produktblaetter/Standards-der-Geotopographie/](http://www.adv-online.de/AdV-Produkte/Standards-und-Produktblaetter/Standards-der-Geotopographie/)
- ADV (2019d): AdV-Produkte/Geotopographie/ATKIS/, 2019; [www.adv-online.de](http://www.adv-online.de)
- BEV (2019): Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien; [www.bev.gv.at](http://www.bev.gv.at)
- BKG (2016): WebAtlasDE; [www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de)
- BKG (2019): [www.bkg.bund.de/DE/Ueber-das-BKG/Geoinformation/Fernerkundung/Copernicus/Projektaktivitaeten/projektaktivitaeten.html](http://www.bkg.bund.de/DE/Ueber-das-BKG/Geoinformation/Fernerkundung/Copernicus/Projektaktivitaeten/projektaktivitaeten.html)
- COPERNICUS (2019): [www.d-copernicus.de](http://www.d-copernicus.de)
- GDZ (2019): Geodatenzentrum des BKG; [www.bkg.bund.de/](http://www.bkg.bund.de/)
- EHLERT, I. & SCHWEITZER CHR. (2018): Copernicus für das Umweltmonitoring – Eine Einführung; [www.d-copernicus.de/infotehk/medien/infomaterialien/](http://www.d-copernicus.de/infotehk/medien/infomaterialien/)
- GOOGLE (2019): <http://google.de>
- LGLN (2014): Geodatenportal Niedersachsen; [www.geodaten.niedersachsen.de](http://www.geodaten.niedersachsen.de)
- LAIV (2019): Landesamt für Innere Verwaltung, Amt für Geoinformation, Vermessungs- und Katasterwesen Mecklenburg-Vorpommern; [www.laiv-mv.de/Geoinformation/Luftbilder](http://www.laiv-mv.de/Geoinformation/Luftbilder)
- LGL BADEN-WÜRTTEMBERG (2009): Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung; [www.lv-bw.de](http://www.lv-bw.de)
- LGN (2009): Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen; [www.-lgl.niedersachsen.de](http://www.-lgl.niedersachsen.de)
- LUCAS, C. (2017): DLM-Update automationsgestützte Aktualisierung des Basis-DLM; [www.schleswig-holstein.de](http://www.schleswig-holstein.de)
- LVERMGEO RLP (2019): Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation (LVerm-Geo) Rheinland-Pfalz; [www.rheinland-pfalz-in-3d.rlp.de](http://www.rheinland-pfalz-in-3d.rlp.de)
- LVERMGEO THÜRINGEN (2009): Landesamt für Vermessung und Geoinformation Thüringen; <http://www.thueringen.de>
- MICROSOFT (2019): <https://bing.com/>
- ORDNANCE SURVEY (2019): Ordnance Survey, London; [www.ordnancesurvey.co.uk/](http://www.ordnancesurvey.co.uk/)

- PFEIFER, N., HOLLAUS, M., RESSL, C., EYSN, L. (2007): Lidar point cloud for vegetation mapping, [http://foto.hut.fi/opetus/295/pg\\_course2011/lectures/Pfeifer\\_Vegetation.pdf](http://foto.hut.fi/opetus/295/pg_course2011/lectures/Pfeifer_Vegetation.pdf)
- SANDMANN, S. (2018): Copernicus für Landbedeckung, ALKIS® und ATKIS® in NRW, copernicus-Forum 2018; [www.d-copernicus.de/fileadmin/Content/pdf/Forum\\_2018/20181128\\_Sandmann\\_Copernicus-Tage\\_Berlin.pdf](http://www.d-copernicus.de/fileadmin/Content/pdf/Forum_2018/20181128_Sandmann_Copernicus-Tage_Berlin.pdf)
- SMARTMAPPING (2019): <https://www.adv-smart.de>
- SWISSTOPO (2019): Bundesamt für Landestopografie Schweiz; [www.swisstopo.admin.ch](http://www.swisstopo.admin.ch)