

7 Geotopographie und Photogrammetrie

Ernst JÄGER 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. Zu den nicht sichtbaren Objekten gehören unterirdische Leitungen sowie die Grenzen administrativer Einheiten oder von Schutzgebieten. Die sichtbaren Informationen beziehen sich auf die Objektartenbereiche Siedlung, Verkehr, Vegetation, Gewässer und Relief.

Zu den Verfahren der geotopographischen Datengewinnung gehören photogrammetrische Aufnahmen sowie Methoden der Fernerkundung, terrestrische Lage- und Höhenaufnahmen und das Laserscanningverfahren, 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.

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 7 „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. Am Ende der einzelnen Abschnitte wird aber jeweils noch auf

Lösungen und Angebote aus der Privatwirtschaft eingegangen und zur Abrundung ein Blick über den Zaun in einige Nachbarländer geworfen.

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. Examples of non-visible features are underground pipelines and administrative boundaries of municipalities or protective areas. Visible features include data about settlements, transportation, vegetation, waters and relief.

Photogrammetry and remote sensing incl. laser scanning are special techniques of geotopographic data capturing 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 Elevation Models (DGM), Digital Landscape Models (DLM) and analogue or Digital Topographic Maps (DTK). All these digital and analogue products are components of the German Authoritative Topographic Cartographic Information System (ATKIS®).

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 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. Since then, 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 potential.

Because of this basic function of geotopographic data, Chapter 7 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.

At the end of each subsection some solutions and offers of the private sector are described, as well as developments in some neighbouring countries in order to give a more complete picture.

7.1 Geotopographische Landesaufnahme

7.1.1 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 ersetzten. Schließlich ging 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.

Heute gelten die geotopographische Landesaufnahme und die Erstellung und Aktualisierung daraus hervorgehender Produkte (7.1.2) als Infrastrukturleistung des Staates, so dass sich die Ausführungen im Kapitel 7 im Wesentlichen auf die amtliche Geotopographie beziehen.

7.1.2 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. 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 Geländehöhen und Bruchkanten zur Ableitung von Höhenlinien bzw. DGM 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).

Die Zusammenhänge werden in Abbildung 7.1 verdeutlicht.

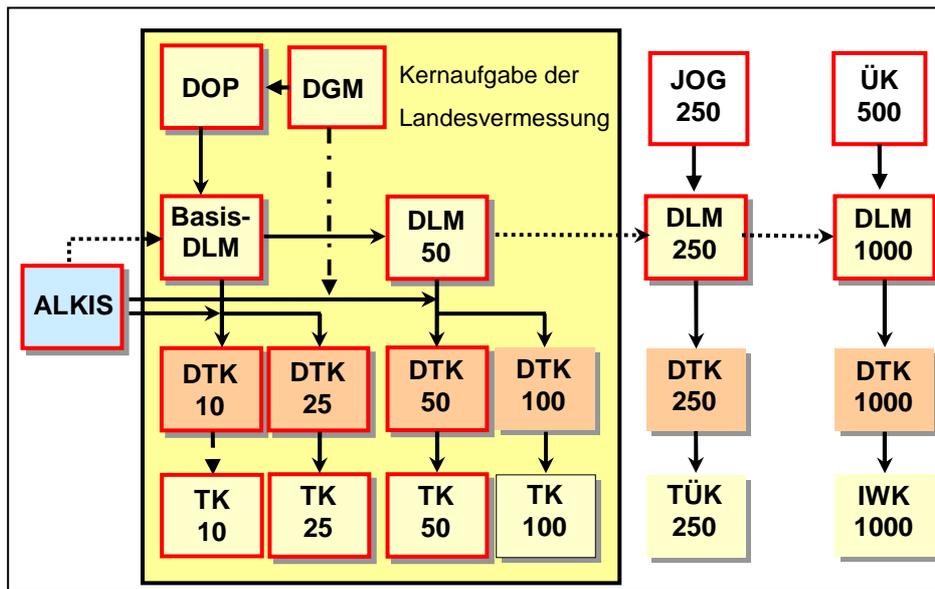


Abb. 7.1: Zusammenhänge innerhalb der ATKIS®-Produktpalette (punktierte Verbindungen gelten für die Aktualisierung)

7.2 Photogrammetrische Datenerfassung in Lage und Höhe

7.2.1 Einführung

Die photogrammetrische Datenerfassung dient in erster Linie der bildhaften Dokumentation der Landschaft zu bestimmten Zeitpunkten mit dem Ziel, durch Ausmessung und Interpretation der Bilddaten 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 0,5 m angeboten werden, beispielsweise für großräumige Oberflächenanalysen in der Landwirtschaft und der Statistik. Photogrammetrisch betrachtet werden Satellitenbilder sehr ähnlich ausgewertet wie Luftbilder. Bislang werden 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; sie werden daher im Folgenden nicht weiter gesondert betrachtet.

Vereinzelt kommen zur topographischen Geländeaufnahme auch SAR (Synthetic Aperture Radar) und InSAR (interferometrisches SAR) zur Anwendung. Radar operiert im Mikrowellenbereich, Strahlung dieser Wellenlänge durchdringt Wolken und ist daher sehr flexibel einsetzbar. Allerdings sind verfahrensbedingt nur Schrägaufnahmen möglich, so dass sich in bewegter Topographie und im städtischen Bereich größere Verdeckungen ergeben. Auch auf SAR und InSAR wird in diesem Kapitel nicht weiter eingegangen.

7.2.2 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° 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 km² und 700 km². 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 Bepflanzung beeinträchtigt wird. Andere Fachaufgaben benötigen dagegen Sommerbefliegungen, etwa für die Waldschadenskartierung, bzw. wünschen diese, da sie für Tourismuszwecke besser eingesetzt werden können. Die unterschiedlichen Anforderungen können nicht immer 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 wurde dieser Zyklus in allen Ländern auf drei Jahre und teilweise auf ein oder zwei Jahre verkürzt.

Für eine Stereobildauswertung werden ausreichende Längs- bzw. Querüberdeckungen der benachbarten Luftbildaufnahmen von in der Regel 60 bzw. 80 % bzw. 30 % vorgegeben, die laut der entsprechenden DIN-Norm DIN 18740-1 (DIN 2001) von den ausführenden Bildflugfirmen maximal um 5 % über- bzw. unterschritten werden dürfen. Die Bildflugplanungen sehen die streifenweise Aufnahme der Luftbilder in Ost-West-Richtung vor. Zur Erzielung einer geometrischen Orthophotogenauigkeit von besser als $\pm 0,4$ m werden etwa

fünf luftsichtbare Passpunkte pro 100 km² benötigt. Alternativ zu signalisierten Passpunkten können auch die Bild- und Landeskoordinaten gut bestimmbarer und im Luftbild gut erkennbarer Punkte – wie Gullideckel auf Straßen – ausgewählt werden.

7.2.3 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. Hoch aufgelöste Satellitenbilder spielen heute in der topographischen Landesaufnahme noch eine geringe Rolle, sie werden aber z. B. für Fragen der Aktualisierung oder als ergänzende Informationsquelle zunehmend genutzt.

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

Digitale Kamerasysteme besitzen gegenüber analogen Kameras eine Reihe von Vorteilen:

- Da zwischen CCD-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 und der Kammerkonstanten als Kalibrierwerte angesehen.
- Arbeiten im Photolabor entfallen ebenso wie das nachträgliche Scannen analoger Bilder.
- CCD-Sensoren besitzen eine höhere geometrische Stabilität als Film.
- CCD-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 gut 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 Infrarot-Signal als vierter Kanal aufgenommen.

Heute werden für Zwecke der Landesaufnahme ausschließlich digitale Kamerasysteme verwendet.

Luftbildkameras sind in zwei unterschiedlichen geometrischen Varianten erhältlich. Kameras mit flächenhaften CCD-Sensoren liefern konventionelle, zentralperspektivische Bilder. Zeilenkameras, die die Bildinformation mit zeilenartig quer zur Flugrichtung angeordneten CCD-Elementen aufzeichnen, tasten das Aufnahmegebiet gleichzeitig im Vorwärts-, Senkrecht- und Rückwärtsblick ab, wodurch es zu zumindest drei sich zu 100 % überlappenden digitalen Bildstreifen kommt (Abb. 7.2). 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.

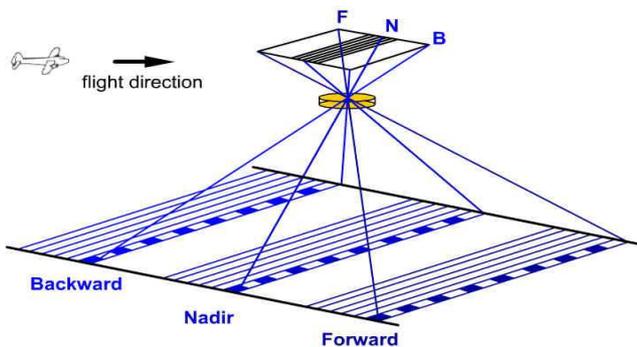


Abb. 7.2: Prinzip der Dreizeilenkamera (MÜLLER 1991)

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 IIe von Z/I Imaging mit ca. 17.000 x 14.000 CCD-Elementen à 5,6 µm im panchromatischen Kanal sowie die UltraCam Eagle von Microsoft Vexcel, die mehrere CCD-Sensoren besitzt und ein panchromatisches virtuelles Bild mit ca. 13.000 x 20.000 Pixeln à 5,2 µm liefert. Farbbilder werden bei beiden Kameras mit geringerer Auflösung aufgenommen, die höhere Auflösung des panchromatischen Kanals wird mittels der so genannten pan-sharpening Technik erreicht. Die bekannteste Zeilenkamera ist die ADS100 von Leica 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 mit Auflösungen im Bereich von 10.000 x 7.800 Pixeln an.

Viel Aufmerksamkeit haben in den letzten Jahren Schrägbildkameras auf sich gezogen (Abb. 7.3). Dabei wird in der Regel ein System angeboten, das aus bis zu 5 einzelnen Kameras besteht, 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.

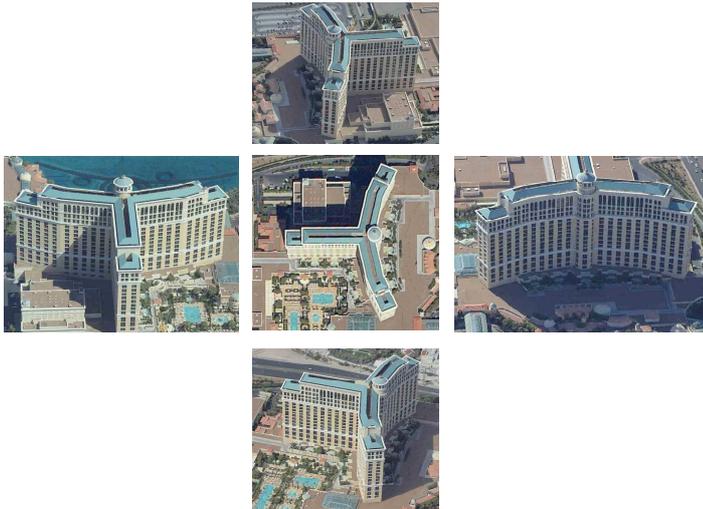


Abb. 7.3: Kombination einer Nadiraufnahme mit vier Schrägaufnahmen desselben Gebäudes (© Pictometry)

7.2.4 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. 7.4). Die Position des Laserscanners und die Ausstrahlrichtung werden mittels GNSS/IMU 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.

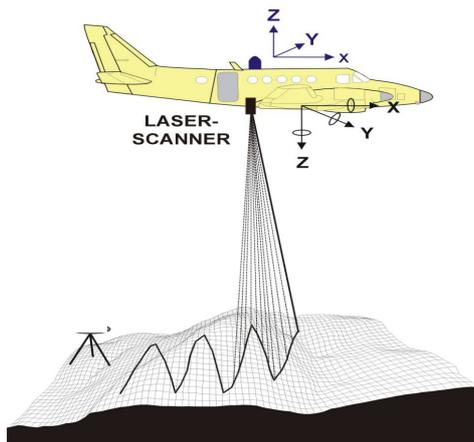


Abb. 7.4: Prinzip des luftgestützten Laserscanning (KRAUS 2004)

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. 80 cm. Öffnungswinkel heutiger Modelle liegen bei 60° - 80°. Während die Messpunktdichte Mitte der 1990er Jahre bei etwa einem Punkt auf 10 m² lag, sind mittlerweile Frequenzen von bis zu 800 kHz und Auflösungen von 10 bis 100 Punkten/m² möglich. Die Punkte weisen je nach Scanmuster in Flugrichtung einen größeren Abstand auf 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.

Beispiele für am Markt verfügbare Systeme sind die Scanner LMS-Q1560 der Firma Riegler, die ALS 70-Familie von Leica, der Orion C ALTM von Optech, und der AX80 von Trimble.

7.2.5 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 Nullpunktstrahlung 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 gro-

ßen 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 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. Lokale Verfahren beruhen vielfach auf dem Kreuzkorrelationskoeffizienten. Dabei wird im ersten Bild ein Grauwertfenster gewählt, Mustermatrix genannt; diese Mustermatrix wird dann innerhalb einer mittels Näherungswerte bestimmten Suchmatrix Pixel für Pixel verschoben (Abb. 7.5). 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 (z. B. der Förstneroperator, FÖRSTNER 1986). Hauptkriterium dafür sind ausreichende Variationen der Grauwerte in zwei zueinander senkrechten Richtungen. In letzter Zeit vermehrt eingesetzt werden auch Verfahren, die in mehreren Stufen 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. Zu diesen Verfahren gehören SIFT (scale invariant feature transform, LOWE 2004) und SURF (Speeded Up Robust Features, BAY ET AL. 2008).

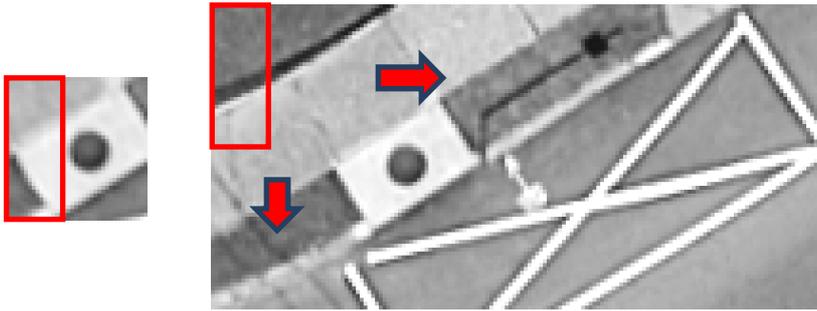


Abb. 7.5: Bildzuordnung mittels Maximierung des Kreuzkorrelationskoeffizienten, links Mustermatrix, rechts Suchmatrix

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 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 typischerweise 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. 7.6). 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).

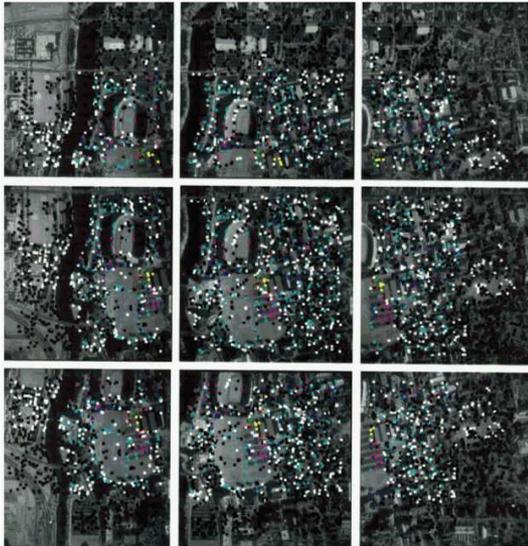


Abb. 7.6: Typische Verteilung der Verknüpfungspunkte bei der automatischen Aerotriangulation

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.

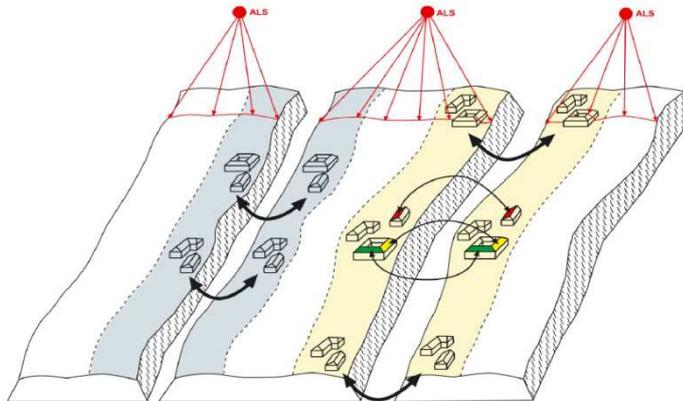


Abb. 7.7: Streifenausgleichung von Laserscannerdaten (KAGER 2004)

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. 7.7).

7.3 Digitale Höhenmodelle

7.3.1 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 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..

7.3.2 Datenerfassung

DHM können sowohl aus stereoskopischen Bildern als auch durch Laserscanning gewonnen werden. Die Verarbeitung von Bildern ähnelt derjenigen zur Bestimmung von Verknüpfungspunkten für die Bildorientierung und beruht auf der digitalen Bildzuordnung (vergl. Kap. 7.2.5). 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, so dass eine extrem dichte Punktwolke entsteht, die eine separate Erfassung von Strukturlinien in vielen Fällen überflüssig macht (Abb. 7.8). Nach der Zuordnung erfolgt die Berechnung von Objektkoordinaten per Vorwärtsschnitt; das Ergebnis ist eine unregelmäßig verteilte 3D Punktwolke. Im Anschluss an diesen automatischen Prozess sollte die Punktwolke wie bei der automatischen Aerotriangulation von einem menschlichen Operator kontrolliert und ggf. korrigiert bzw. ergänzt werden, am besten geschieht das an einem Stereoauswertegerät. 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.



Abb. 7.8: 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. attributiert mit der Nummer des zugehörigen Echos (Abb. 7.9). 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. 7.9: Ergebnisse der DOM Ableitung mittels Laserscanning: links Luftbild, rechts Laserscanningergebnis (HAALA 2009)

Die digitale Bildzuordnung ist zwar bereits seit mehr als 20 Jahren in kommerziellen Bildverarbeitungsprogrammen etabliert, erlebt aber nach der zwischenzeitlichen Verdrängung durch das Laserscanningverfahren seit wenigen Jahren speziell mit dem Aufkommen der digitalen Bildflüge und der leistungsfähigeren Rechnersysteme ein Comeback (HAALA 2009). Ein direkter Vergleich zeigt die unterschiedlichen Ergebnisse beider Verfahren. Die jeweils gewonnenen Höhen stimmen gut überein (Abb. 7.10), allerdings lassen die Profil-

auswertungen des Laserscannings (Abb. 7.10b) und der Bildzuordnung (Abb. 7.10c) erkennen, dass das Laserscanningverfahren schärfere Gebäudekanten liefert (auch zu sehen im Vergleich der Abbildungen 7.10d bis 7.10f). 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.

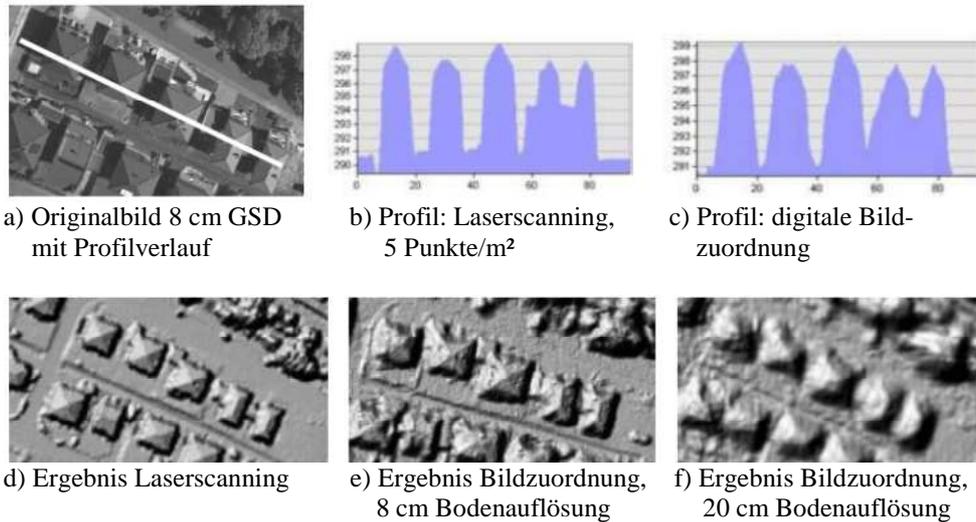


Abb. 7.10: Visueller Vergleich der DOM-Ergebnisse zwischen Laserscanning und digitaler Bildzuordnung (HAALA, WOLFF 2009)

7.3.3 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. 7.11). 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.

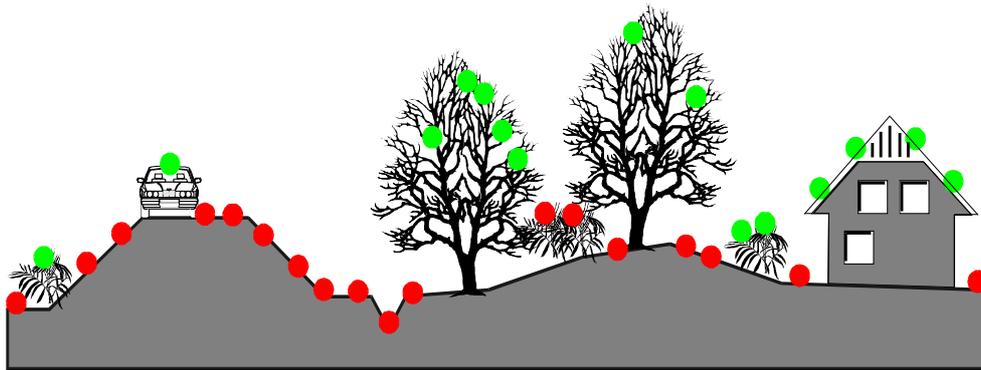


Abb. 7.11: Klassifizierte Bodenpunkte (rot) und Oberflächenpunkte (grün)

Ein typisches Ergebnis zeigt Abb. 7.12. Diese bereits gute Vorklassifizierung in Höhen- und Geländepunkte wird in der Regel noch interaktiv mit einem Stereobetrachtungssystem überprüft, in besonders dichten Nadelwaldgebieten werden auch terrestrische Nachmessungen durchgeführt.

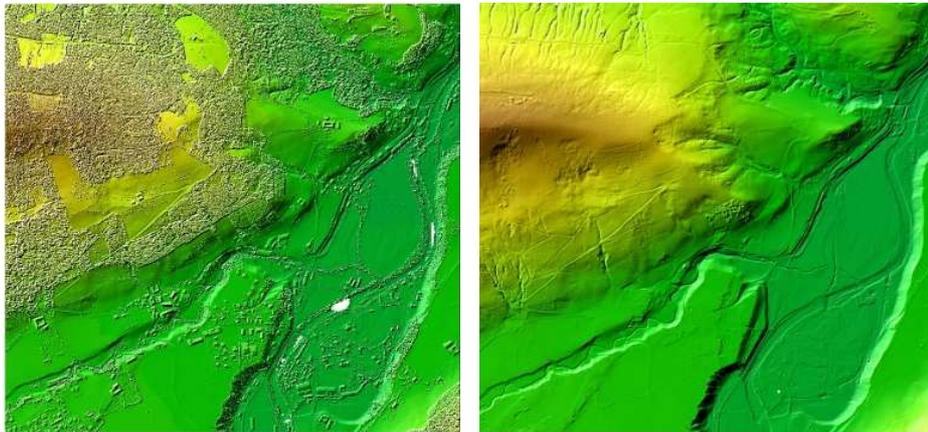


Abb. 7.12: Ergebnis einer DOM-Klassifikation: links vorher, rechts nachher (PFEIFER ET AL., 2007)

7.3.4 DGM-Aufbau

Die Bestandteile eines DGM werden in primäre und sekundäre Informationen unterschieden und auch dementsprechend im ATKIS[®]-Objektartenkatalog für das Digitale Geländemodell (OK-DGM) in der Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok) der AdV beschrieben (ADV 2008). *Primäre DGM-Informationen* bestehen aus unregelmäßig (aus Luftbildern und Laserscanning) oder

strukturiert (aus digitalisierten Höhenlinien der DGK5) erfassten Geländepunkten sowie aus geomorphologischen Strukturelementen (Bruchkanten, Gerippllinien, markante Höhenpunkte), Randlinien, Aussparungsflächen und Wegepunkten. In Niedersachsen beispielsweise stammen die primären DGM-Informationen derzeit noch zu 50 % aus digitalisierten Höhenlinien der DGK5, zu 30 % aus photogrammetrischen Auswertungen und nur zu ca. 20 % aus dem Laserscanningverfahren. In allen anderen Bundesländern wurden in den vergangenen zehn Jahren neue DGM-Daten aus Laserscanningdaten abgeleitet. *Sekundäre DGM-Informationen* sind alle aus diesen Primärdaten abgeleiteten, strukturierten Folgeinformationen – wie beliebige Gitter-DGM und Höhenlinien.

In der Regel werden heutzutage verschiedene 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 des primären DGM. 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. 7.13) 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 ist es, 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.

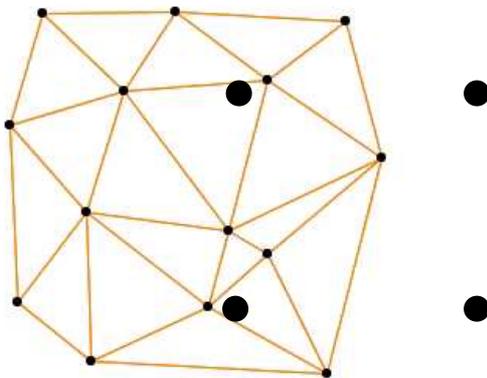


Abb. 7.13: Dreiecksnetz nach der Delaunay-Triangulation mit DGM-Gitterpunkten

7.3.5 DGM in der deutschen Landesvermessung

Die DGM-Punkte sind lagemäßig im Gauß-Krüger- und/oder im ETRS89/UTM-Koordinatensystem bestimmt, die Höhe bezieht sich auf das DHHN92 (Deutsches Haupthöhenetz von 1992).

Die Adv führt in ihrer Produktpalette (Stand: 2014) folgende DGM auf: DGM1, DGM2, DGM5, DGM10, DGM25, DGM50, DGM200 und DGM1000 (ADV 2014). Während die DGM ab dem DGM10 flächendeckend für das Bundesgebiet vorliegen, werden das DGM1 und das DGM2 noch nicht in allen Ländern geführt. In Bezug auf das DGM5 ist eine flächendeckende Verfügbarkeit ab dem Jahr 2014 in Aussicht gestellt. Tabelle 7.1 gibt einen zusammenfassenden Überblick über den *Stand der DGM-Produktion* in den Bundesländern.

Tabelle 7.1: DGM-Aufbaustand in [%], Stand: 31.12.2013 (ADV 2014)

Bundesland	DGM1	DGM2	DGM5	DGM10
Baden-Württemberg	100	100	100	100
Bayern	98	100	100	100
Berlin	0	100	100	100
Brandenburg	0	100	100	100
Bremen	100	100	100	100
Hamburg	100	100	100	100
Hessen	98	98	98	100
Mecklenburg-Vorpommern	7	40	100	100
Niedersachsen	0	0	100	100
Nordrhein-Westfalen	100	100	100	100
Rheinland-Pfalz	5	100	100	100
Saarland	100	100	100	100
Sachsen	0	100	100	100
Sachsen-Anhalt	100	100	100	100
Schleswig-Holstein	100	100	100	100
Thüringen	0	93	100	100

Als Höhengenaugigkeit der Gitterpunkte mit einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95 % (2 Sigma) sind folgende Werte einzuhalten:

- 5 % der Gitterweite für flaches bis wenig geneigtes Gelände mit geringem Bewuchs,
- 15 % der Gitterweite für stark geneigtes Gelände mit geringem Bewuchs sowie
- 20 % der Gitterweite für flaches bis wenig geneigtes Gelände mit starkem Bewuchs,

wobei aus technischen Gründen in Abhängigkeit von Gelände und Bewuchs maximal eine Genauigkeit von 15 bis 40 cm zu erreichen ist (ADV 2009).

Die erstmalige Herstellung eines hochgenauen DGM ist ein Prozess, der in allen Bundesländern mehrere Jahrzehnte in Anspruch genommen hat. Überschlägig sind dabei Produktionskosten in Höhe von etwa 1000 €/km² angefallen. Zur *Aktualisierung* dieser teilweise 40 bis 60 Jahre alten Daten setzen die Länder das Laserscanningverfahren ein (Kapitel 7.2.4).

Damit wird das alte DGM nicht nur punktuell, sondern in der Regel flächendeckend neu berechnet. Vergleiche zwischen altem und neuem DGM lassen teilweise erhebliche Unterschiede erkennen, die sowohl durch unterschiedliche Erfassungsmethoden als auch durch tatsächliche Höhenveränderungen bedingt sein können (Abb. 7.14).

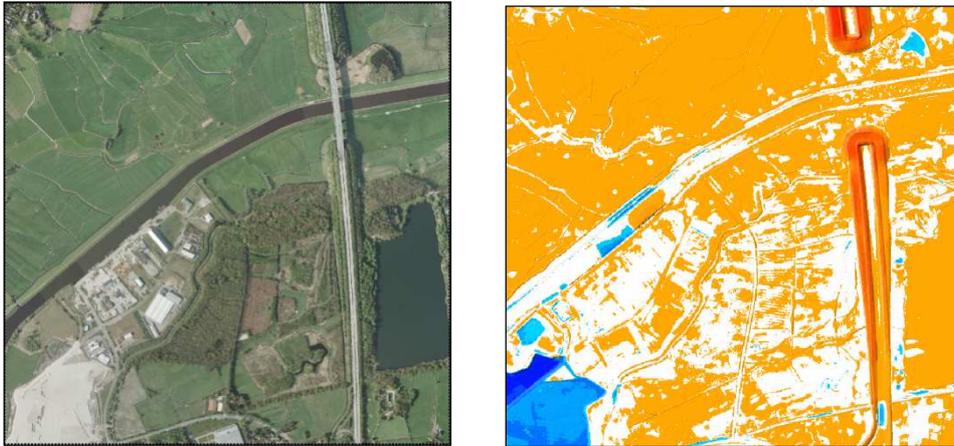


Abb. 7.14: Luftbildausschnitt (links) und Höhenunterschiede (rechts) zwischen altem und neuem DGM5 (alte Methode: Höhenliniendigitalisierung; neue Methode: Laserscanning)

Die orangefarbenen Flächen in Abbildung 7.14 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.

7.3.6 Anwendungsbereiche und Projekte

Einer der häufigsten Anwendungsfälle 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. 7.15). Besonders im Flachland können dabei kaum miteinander vergleichbare Linienvläufe entstehen. Das Misstrauen mancher Kartennutzer gegenüber den automatisch erzeugten Höhenlinien ist jedoch unbegründet, sofern bei der Höhenlinienableitung auch die Strukturelemente (Bruchkanten, Gerippllinien) 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 Linienführungen maximale Neigungswinkel einhalten und um im Bergland die Anzahl und Länge kostenintensiver Tunnel- und Brückenstrecken minimieren zu können.

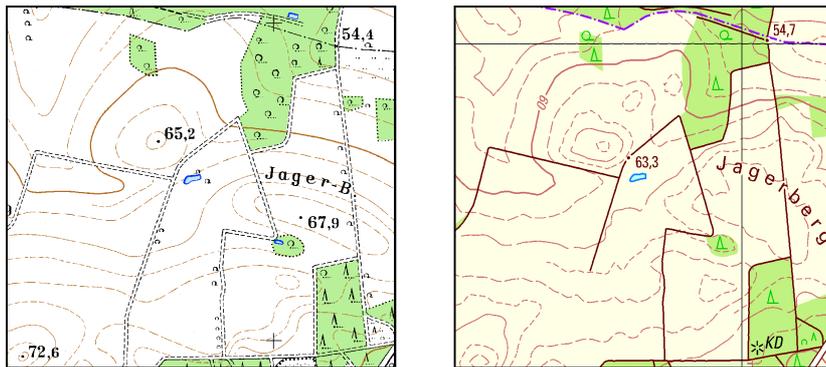


Abb. 7.15: Höhenlinienausschnitte, links: alte TK; rechts: aus dem DGM5 berechnet

Weitere Anwendungsbereiche sind:

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

In den letzten Jahren sind zum Thema DGM verschiedene Forschungs- und Entwicklungsprojekte bearbeitet worden. Exemplarisch wird hier die Integration von Lage- und Höhen-daten aus dem ATKIS-Basis-DLM und dem ATKIS-DGM5 erwähnt. Eine rein geometrische Integration führt wegen unterschiedlicher Zwecke, Zeitpunkte und Genauigkeiten der Lage- und Höhendaten in der Regel nicht zu einem konsistenten Ergebnis, bei dem z. B. Wasser prinzipiell bergab fließt. Derartige Bedingungen können bei der Integration mit Hilfe eines Ausgleichsansatzes berücksichtigt werden, wobei die Höhen lokal so verändert werden können, dass physikalisch oder bautechnisch motivierte Bedingungen eingehalten werden (KOCH, HEIPKE 2006, GÖPFERT ET AL. 2011). Im Ergebnis entsteht ein semantisch konsistentes Integrationsergebnis, das sowohl für eine Weiterverarbeitung als auch für eine Visualisierung (Abb.7.16, rechtes Bild) im Vergleich zu herkömmlichen Integrationen deutliche Vorteile besitzt.

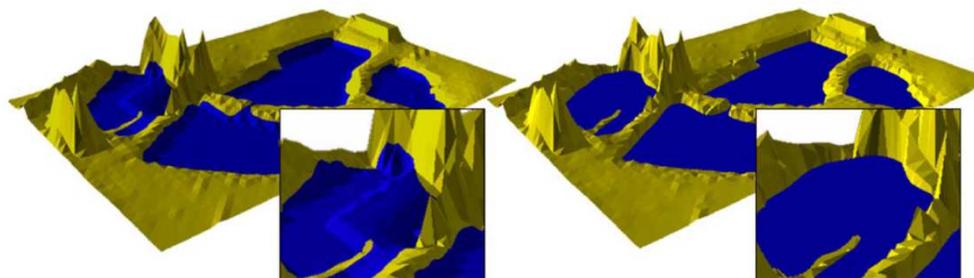


Abb. 7.16: Integration einer Gewässerfläche in die DGM-Struktur (Koch, Heipke 2006)

7.3.7 Lösungen und Angebote aus der Privatwirtschaft

Aufgrund der hohen Kosten für exakte Geländehöhenbestimmungen beschränken sich entsprechende Vermessungen durch private Unternehmen bisher auf örtlich begrenzte Bereiche, um beispielsweise beim Trassenbau durch Längs- und Querprofile eine sichere Planungsgrundlage zu gewinnen. Dazu zählen im Einzelfall auch Tiefenmessungen durch Echolotung in fließenden oder stehenden Gewässern.

Außerhalb der amtlichen Geotopographie werden in der Privatwirtschaft flächendeckend lediglich die im Kapitel 7.2.1 kurz angerissenen Radarverfahren eingesetzt. Im Falle der TanDEM-X-Mission wird erstmals ein deutsches Weltraumprojekt in öffentlich-privater Kooperation durchgeführt. Die Kooperation ermöglicht einerseits der wissenschaftlichen Forschung den freien Zugriff auf die Daten und andererseits den privaten Unternehmen deren kommerzielle Vermarktung (DLR 2014). Ein Überblick über bereits erfasste und verfügbare Daten kann unter anderem in den Internetauftritten des DLR (Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, siehe auch: EOWEB 2014) und der Firma AIRBUS Defence & Space gewonnen werden (ASTRIUM-GEO, 2014).

Die Fa. Intermap Technologies stellt dagegen seit 2006 zunächst aus flugzeuggestützten Radaraufnahmen rein kommerzielle Daten von Großbritannien, Deutschland, Frankreich und Italien sowie von einigen nicht europäischen Ländern zur Verfügung. Die Höhen Genauigkeit der entzerrten Radardaten wird von der Fa. Intermap mit ± 1 m angegeben, die Lagegenauigkeit mit ± 2 m. Die NEXTMap® Höhendaten sind in den folgenden Jahren flächenmäßig ausgedehnt und teilweise um Laserscanningdaten ergänzt worden. (INTERMAP 2014).

7.3.8 Schlaglichter aus dem europäischen Umfeld

Das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen in Österreich bietet DGM-Daten in den Rasterweiten 10 m, 25 m, 50 m, 100 m, 250 m sowie 500 m an, und zwar wahlweise mit oder ohne Strukturlinien (BEV 2014).

Die Schweiz bietet für hohe Genauigkeitsansprüche das Höhenmodell swissALTI^{3D} an, das für Gebiete unter 2000 m Höhe aus Laserscanningdaten (Genauigkeit $\pm 0,5$ m) und für Gebiete über 2000 m Höhe aus Stereokorrelation (Genauigkeit ± 1 bis 3 m) abgeleitet worden ist. Für weniger hohe Ansprüche gibt es daneben noch das aus den Höhenlinien der Landeskarte 1:25.000 abgeleitete DGM25 in Rasterweiten ab 25 m (Genauigkeit $\pm 1,5$ bis 10 m). Zusätzlich wird für Gebiete unter 2000 m noch ein aus Laserscanningdaten abgeleitetes DOM mit einer Punktdichte von 1 bis 2 Punkten/m² angeboten (SWISSTOPO 2014).

Beim Ordnance Survey in Großbritannien werden zwei flächendeckende Höhenmodelle angeboten: das OS Terrain 5 mit einem 5 m-Raster (Genauigkeit $\pm 1,0$ m) und das OS Terrain 50 mit einem 50 m-Raster (Genauigkeit ± 4 m). (ORDNANCE SURVEY 2014).

Das Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) in Frankreich hat das Ziel, bis zum Ende des Jahres 2014 flächendeckend ein hoch aufgelöstes RGE ALTI® mit einer Rasterweite von 1 m anzubieten. Darüber hinaus gibt es bereits DGM in den Rasterweiten 5 m, 25 m, 50 m, 75 m, 250 m, 500 m sowie 1000 m (IGN 2014).

JACOBSEN (2014) gibt einen aktuellen Überblick zu Stand und Genauigkeit weltweit verfügbarer Digitaler Geländemodelle.

(Orthophotomosaik). 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 zusammengefügt. Danach erfolgt eine automatisierte radiometrische Anpassung der Einzelbildausschnitte 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. 7.18).



Abb. 7.18: Gesamt-DOP-Mosaik von Deutschland mit unvermeidlichen radiometrischen Unterschieden; Quelle: Geodatenzentrum des BKG (GDZ 2014)

7.4.3 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 reiner Gitter-DGM ohne Strukturinformation zur Luftbildentzerrung auftreten. Über reine Gitter-DGM mit einer üblichen Gitterweite von 10 m lassen sich Verkehrslinien auf langen Brücken oder auf Dämmen nicht exakt entzerren, sondern werden im Gegenteil verzerrt dargestellt (Abb. 7.19).



Abb. 7.19: Verzerzte DOP-Darstellung einer Straßenbrücke



Abb. 7.20: Korrigierte Brückendarstellung im DOP

Abhilfe können in diesen Fällen nur sehr viel engere DGM-Gittermaschen (1 m oder kleiner) schaffen oder die Berücksichtigung entsprechender Bruchkanten bei Dämmen. Für Brückenbauwerke muss zusätzlich deren Bauwerkshöhen bekannt sein und als BrückendHM in die Berechnung eingeführt werden (Abb. 7.20). Die verzerzte Darstellung der Brücke in Abbildung 7.19 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. 7.21, 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. 7.21, rechts).



Abb. 7.21: Orthophoto (links), u. a. sind in den rot umrandeten Bereichen Hauswände sichtbar und leicht gedrehtes True Orthophoto (rechts; GÜNAY et al. 2007)

7.4.4 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, 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 den digitalen Luftbildoriginalen werden auch die daraus abgeleiteten DOP-Datenbestände in die Archive aufgenommen. Nach einer vorläufigen Schätzung werden für die historischen Schwarz-Weiß-Luftbildoriginale beispielsweise in Niedersachsen insgesamt ca. vier TByte Speicherplatz benötigt; für die digitalen 4-Kanal-Originale der neuen Generation (RBG und Infrarot mit 0,20 m Bodenauflösung) sind pro Jahr ca. sechs TByte Speicherplatz bereitzustellen sowie etwa 1,25 TByte pro Jahr für die daraus abgeleiteten DOP-Daten.

Auszüge aus der Luftbildsammlung werden häufig für historische Fragestellungen benötigt, beispielsweise für Beweissicherungen vor Gericht, für Untersuchungen von Altlastenverdachtsflächen oder für Zwecke der Landschafts- bzw. Stadtentwicklung. Die bisher üblichen analogen Auszüge werden dabei schon heute fast vollständig durch digitale Auszüge ersetzt.

7.4.5 Weitere Anwendungen und Projekte

Der Hauptanwendungsbereich für Luftbilder bzw. DOP liegt in der Informationsgewinnung zur Dokumentation des Zustands und von Veränderungen der Landschaft, wie etwa in der Landesaufnahme zur Fortführung der Digitalen Landschaftsmodelle (Kapitel 7.6) 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 Aero-triangulation genauer bestimmten Werte benutzt werden.
- Luftbilder der Alliierten Streitkräfte aus dem 2. Weltkrieg dienen auch heute noch dazu, mithilfe analoger optischer Auswertemethoden oder halbautomatischer Mustererkennungsverfahren Verdachtsstellen für Bombenblindgänger aufzufinden, um diese dann durch spezialisierte Bombenräumdienste untersuchen und tatsächlich gefundene Blindgänger räumen zu lassen.
- 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 Richtung 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 Datengewinnung als auch die Aktualisierung bestehender Vektordaten im Fokus der Bemühungen. Als Beispiel für die Nutzung von Satellitenbildern sei das Projekt DeCOVER angeführt, das als deutscher Beitrag in die Europäische Initiative Copernicus (ehemals GMES, Global Monitoring of Environment and Security) eingebunden ist und als Zielsetzung die automationsgestützte Erkennung von Änderungen der Landbedeckungsdaten hat (DECOVER 2008). 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[®]-Basis-DLM, IKONOS-Satellitendaten und Radardaten wird untersucht, wie signifikante Veränderungsinformationen basierend auf einem gesicherten Ausgangsdatenbestand ermittelt werden können (BÜSCHER ET AL. 2009).

- Beim Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Photogrammetrie und GeoInformation der Leibniz Universität Hannover ein Wissensbasierter Photogrammetrisch-Kartographischer Arbeitsplatz (WiPKA) entwickelt und getestet, um anhand von automatisierten Bildanalyseprozessen in aktuellen Luft- und Satellitenbildern eine Qualitätsuntersuchung der Daten des ATKIS®-Basis-DLM durchzuführen (HELMHOLZ ET AL. 2012). In einer ersten Ausbaustufe wurden automatische Module zur Erkennung von Objekten mit hohen Aktualitätsanforderungen wie Straßen und Siedlungen entwickelt. Eine Übereinstimmung zwischen Bildinformation und DLM-Daten signalisiert die Richtigkeit letzterer; bei einer Nicht-Übereinstimmung erfolgt eine interaktive Überprüfung, die klärt, ob das DLM zu aktualisieren ist oder nicht.
- Einen ähnlichen Ansatz verfolgt ein Projekt, das in Zusammenarbeit zwischen dem Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Niedersachsen, Hannover, dem Landesamt für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein, Kiel und der Leibniz Universität Hannover durchgeführt wird (ALBERT ET AL., 2014). Dabei geht es um die automatische Aktualisierung der "Tatsächlichen Nutzung" aus ALKIS mit Hilfe aktueller Luftbilder. In einem zweistufigen Verfahren werden auf der Grundlage von so genannten Conditional Random Fields (einem probabilistisch motivierten überwachten Klassifikationsverfahren, in dem lokaler Kontext berücksichtigt wird) diejenigen Flächen aufgedeckt, die in einem weiteren Schritt vom menschlichen Operateur aktualisiert werden müssen.

7.4.6 Lösungen und Angebote aus der Privatwirtschaft

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 2014; MICROSOFT 2014). 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 nicht ganz so hoch wie bei den öffentlichen Anbietern, da alle Bildflüge weitgehend ohne luftsichtbare Passpunkte durchgeführt und ausgewertet werden.

Deutsche Satellitenprogramme wie die im Jahr 2008 gestartete RapidEye-Mission oder das für 2017 geplante Projekt EnMap werden unter starker Beteiligung privater Unternehmen sowie mit Forschungsgeldern des Bundes durchgeführt (DLR 2014). RapidEye ist ein optisches Erdkundungssystem u. a. für die Belange der Land- und Forstwirtschaft mit einer Bodenauflösung von 6,5 m; EnMap steht für ein „Environmental Mapping and Analysis Program“, das über eine Vielzahl spektraler Kanäle und eine Bodenauflösung von 30 m verfügt. Beide Missionen sind zwar für die Belange der topographischen Landesaufnahme nur bedingt geeignet, decken aber wichtige Aufgaben in der globalen Erdbeobachtung ab.

7.4.7 Schlaglichter aus dem europäischen Umfeld

Die Entwicklung der photogrammetrischen Datenerfassung und -verarbeitung ist im europäischen Umfeld entsprechend der Entwicklung in Deutschland verlaufen. So werden in der Schweiz seit dem Jahr 2005 fast alle Luftbildaufnahmen digital durchgeführt und je nach der Genauigkeit des verfügbaren DGM mit einer Bodenauflösung von 25 oder 50 cm angeboten. Bei der Landesvermessung dienen die berechneten DOP vornehmlich zur Fortführung der digitalen Landschafts- und Kartenwerke in einem 6-Jahres-Zyklus (SWISSTOPO 2014).

Das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) in Österreich setzt bei der Luftbildaufnahme zunehmend auf digitale Bildflüge. Abhängig von der Anwendung werden die Luftbilder mit Schwarz-Weiß-, Farbpositiv- oder Infrarot-Farbpositivfilm hergestellt. Dem BEV steht dafür ein eigenes Bildflugzeug zur Verfügung. Digitale Orthophotos werden seit dem Jahr 2010 standardmäßig in einer Bodenauflösung von 20 cm produziert (BEV 2014).

In Frankreich werden beginnend ab 2014 in einem Drei-Jahreszyklus farbige DOP mit einer Standard-Bodenauflösung von 50 cm produziert. Die zentrale Bildflugplanung orientiert sich dabei an der Größe und Form der Departements (IGN 2014).

In Großbritannien stellt der Ordnance Survey entzerrte Luftbilddaten in einem sogenannten Imagery Layer des topographischen Systems OS MasterMap zur Verfügung. Die Standardauflösung liegt bei 25 cm. Der Aktualisierungszyklus beträgt derzeit (Stand: 2014) fünf Jahre (ORDNANCE SURVEY 2014).

7.5 3D Stadtmodelle

3D Stadtmodelle stellen ein weiteres Produkt aus photogrammetrischen Bild- und Laserdaten dar, das in jüngster Zeit vermehrtes Interesse gefunden hat. Neben der für viele Zwecke notwendigen Visualisierung virtueller Gebäude und ganzer Stadtlandschaften werden 3D Stadtmodelle z. B. auch in Simulationen zur Lärm- und Schadstoffausbreitung sowie für Zwecke des Solarpotentialkatasters und zur Überprüfung der thermalen Eigenschaften von Dächern und Fassaden eingesetzt.

Grundsätzlich werden verschiedene so genannte Level of Detail (LoD) unterschieden (s. auch Kapitel 8.5.1). An dieser Stelle soll nur kurz auf die Datengewinnung für LoD 1 (Klötzchenmodell) und LoD 2 (Gebäude inkl. Dachformen) eingegangen werden, daneben wird die Fassadentexturierung kurz angerissen.

Neben der interaktiven Stereoauswertung eignen sich auch die bereits besprochenen Verfahren zur Gewinnung von DOM und DGM auf der Grundlage von Luftbildern und luftgestützten Laserdaten für die Ableitung von 3D Stadtmodellen. Betrachtet wird dabei die Differenz zwischen DOM und DGM, die die Gebäude und Bäume enthält. Die Überführung in einzelne Gebäudeobjekte, die vorgegebenen geometrischen Bedingungen entsprechen (Rechtwinkligkeit usw.) geschieht typischerweise in einem automatischen Prozess in der Regel unter Verwendung von Gebäudeumrissen aus den ALKIS-Daten. Die Verfahren sind dabei so weit entwickelt, dass bei einer ausreichenden Dichte der 3D Punkte aus Bild- oder Laserdaten Gebäudeteile separiert werden, die unterschiedliche Höhen aufweisen oder in denen die Dachformen bzw. die Dachausrichtung wechselt. Um in allen Belangen einwandfreie LoD1- oder LoD2-Daten zu erhalten, muss allerdings noch interaktiv an Stereoaus-

wertegeräten nachgearbeitet werden. Softwareseitig wird jedoch weiterhin an der stetigen Verbesserung der vollautomatischen Auswerteprozesse gearbeitet (z. B. ROTTENSTEINER ET AL. 2014).

Fassadentextur für LoD3-Gebäude wird heutzutage in der Regel mit Hilfe von Mobile Mapping Fahrzeugen erfasst, die mit Kameras und Laserscannern ausgestattet sind und zunehmend auch für die Ableitung der Fassadengeometrie eingesetzt werden. Allerdings sind so nur die für Fahrzeuge zugänglichen Bereiche erfassbar und Dachstrukturen fehlen vollständig. Abhilfe versprechen unbemannte Flugkörper (unmanned aerial vehicles, UAV), die Kameras und Laserscanner tragen und mit denen man ein Gebäude von allen Seiten aufnehmen und rekonstruieren kann.

7.6 Geotopographische Landschaftsmodellierung

7.6.1 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 ± 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® 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®-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 wei-

tere 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®-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®-Basis-DLM beschäftigten, wurde das ATKIS®-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®, ALKIS® und ATKIS®. 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 sein (siehe 7.6.4).

7.6.2 Aufbau des Basis-DLM, 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®-Basis-DLM haben alle Bundesländer ihre jeweils geeignetste Datenquelle digitalisiert, um die Vorgaben der ATKIS®-Gesamtdokumentation nach einer geometrischen Genauigkeit von ± 3 m für linienförmige Objekte bestmöglich erfüllen zu

können. Einen Überblick über die in den Anfangsjahren zur Erfassung genutzten Datenquellen zeigt Tabelle 7.2 (CHRISTOFFERS 1992).

Tabelle 7.2: Datenquellen zum Aufbau des ATKIS®-Basis-DLM

Bundesland	Datenquelle
Baden-Württemberg	TK25, Orthophoto
Bayern	TK25
Berlin	Stadtkarte 5
Brandenburg	TK10
Hamburg	DGK5, Luftbilder
Hessen	TK5, Orthophoto
Mecklenburg-Vorpommern	TK10
Niedersachsen / Bremen	DGK5
Nordrhein-Westfalen	DGK5, Luftbildkarte
Rheinland-Pfalz	DGK5, Orthophoto
Saarland	DGK5, ALK
Sachsen	TK10
Sachsen-Anhalt	TK10
Schleswig-Holstein	DGK5
Thüringen	TK10

Die in Tabelle 7.2 aufgeführten Datenquellen wurden in der Regel auch als Grundlage für die zweite und dritte Aufbaustufe genutzt, sofern sie noch aktuell gehalten werden konnten. Ansonsten übernahm immer mehr das Luftbild bzw. 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, so dass die geforderte Lagegenauigkeit von ± 3 m zum Ende der 3. Aufbaustufe überall erreicht worden ist.

Wie bereits in 7.6.1 erwähnt wurde, erfolgte mit jeder neuen Aufbaustufe die grundsätzliche Aktualisierung aller Objektarten, die bereits mit den vorausgegangenen Aufbaustufen erfasst worden waren. Damit konnte die bisher gewohnte Grundaktualisierung im Zyklus von 5 Jahren eingehalten werden. Neben dieser Grundaktualisierung hat die AdV im Jahr 1999 eine sogenannte kontinuierliche Spitzenaktualisierung eingeführt (ADV 1999), um für die aus Kundensicht besonders wichtigen Objektarten eine wesentlich höhere Aktualität zu gewährleisten. Tabelle 7.3 enthält die Objektarten, die seit Beginn des Jahres 2009 der Spitzenaktualisierung unterliegen.

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.

Tabelle 7.3: ATKIS®-Objektarten der Spitzenaktualität (Stand: 2009)

Objektart	Aktualität in Monaten
Straße (Bundesautobahn, Bundesstraße, Landesstraße, Kreisstraße)	3
Straße (Gemeindestraße)	12
Platz	12
Schienenbahn	12
Schienenbahn, komplex (mit Bahnkörper und Bahnstrecke)	12
Flughafen	6
Flugplatz, Landeplatz	6
Schifffahrtslinie, Fährverkehr (nur bei Autofährverkehr)	12
Bahnhofsanlage	12
Raststätte	6
Verkehrsknoten	12
Grenzübergang, Zollanlage	12
Anlegestelle, Anleger (bei Autofährverkehr)	12
Tunnel	wie: Straße
Brücke, Überführung, Unterführung	wie: Straße
Freileitung	12
Mast	12
Kanal (Schifffahrt)	12
Verwaltungseinheit	6
Nationalpark	6
Naturschutzgebiet	6
Windrad	12

Inhaltlich kann der Datenbestand des Basis-DLM von Bundesland zu Bundesland je nach den Anforderungen und Möglichkeiten in den einzelnen Ländern leicht variieren. Um dennoch einen bundesweit einheitlichen Datensatz zu gewährleisten, hat die AdV im Jahr 2005 die Erstellung eines sogenannten Grunddatenbestands beschlossen, der von allen Ländern zu realisieren ist. Bei wichtigen neuen Nutzeranforderungen, wie beispielsweise aus dem Projekt DeCOVER (siehe 7.4.5), ist dieser Grunddatenbestand ggf. zu erweitern.

Das DLM250 beschreibt die topographischen Objekte der Landschaft und des Reliefs in wesentlich stärker aggregierter Form als das Basis-DLM und mit kartographisch generalisierter Geometrie; der OK250 ist aus dem OK200 (siehe 7.6.1) abgeleitet worden und beinhaltet 66 Objektarten. Die Mindestgröße für flächenförmige Objekte beträgt im Regelfall 0,4 km². 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 (GDZ 2009). Eine weitere Verdichtung erfolgt im Zuge der Aktualisierungen.

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. Ende des Jahres 2008 waren 39 von 44 Objektarten, die im OK1000 enthalten sind, im DLM1000 erfasst. Der Datenbestand ist kartographisch sehr stark generalisiert und soll zur Ableitung der Weltkarte 1:1.000.000 Verwendung finden (GDZ 2009). Die Mindestgröße für flächenförmige Objekte beträgt zwischen 5 und 10 km².

7.6.3 Ableitung des DLM50

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 beim BKG erfassten DLM250 (66 Objektarten). Das DLM50 umfasst etwa 50 bis 60 % des Datenumfanges des Basis-DLM. Es soll vollständig aus dem Grunddatenbestand des Basis-DLM abgeleitet werden und geeignet sein für die Ableitung der DTK50 und der DTK100. Alle auf der Erdoberfläche liegende Objekte sollen im DLM50 eine Lagegenauigkeit von ± 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 erfolversprechend 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 in Rasterform 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 unmittelbar 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.

Die Trennlinie zwischen der Modell- und der kartographischen Generalisierung ist nicht scharf zu ziehen. In der wissenschaftlichen Methodenlehre (SESTER ET AL. 2008) werden alle semantisch wirkenden Prozesse (wie Zusammenfassung, Weglassen, Klassifizieren) zur Modellgeneralisierung gezählt, während geometrisch wirkende Prozesse (wie Vergrößern, Verdrängen, Punktreduktion) der kartographischen Generalisierung zugerechnet wer-

den. In der praktischen Umsetzung zur Ableitung des DLM50 und der DTK50 aus dem Basis-DLM werden auch geometrische Prozesse, wie im Folgenden verdeutlicht wird, zur Modellgeneralisierung gezählt.

Nach HAKE, GRÜNREICH und MENG (2002) ist die Modellgeneralisierung ähnlich wie die Erfassungsgeneralisierung ein Teil der Objektgeneralisierung, mit der aus einem Objektmodell höherer Auflösung ein Objektmodell geringerer Auflösung abgeleitet wird, um

- die erneute Digitalisierung originärer (analoger) Geodaten zur Erstellung eines digitalen Landschaftsmodells zu vermeiden,
- ein DLM als topographische Referenz für ein digitales Fachdatenmodell bereitzustellen oder
- die kartographische Generalisierung im Zuge der Kartenherstellung vorzubereiten.

Die Grundlage für die ATKIS®-Modellgeneralisierung liefern die beiden Objektartenkataloge Basis-OK und OK50. In beiden o. a. Lösungsansätzen der Bundesländer wirkt die Modellgeneralisierung wie eine semantische und geometrische Objektfilterung und verläuft weitgehend nach den gleichen Regeln (PODRENEK 2003; WODTKE 2004):

- Löschen (Weglassen) von Objekten, die im DLM50 nicht geführt werden oder die ein Größenkriterium unterschreiten,
- Klassifizieren von Objekten (z. B. Zusammenfassung der Basis-DLM-Objektarten „Wohnbaufläche“ und Fläche gemischter Nutzung“ zur DLM50-Objektart „Siedlungsfläche“),
- Verschmelzen (Zusammenfassen) von Objekten gleicher Objektart und Attributierung,
- Typisieren zu kleiner flächenförmiger Objekte (Beispiel: ein Objekt „Ackerland“ unter 10 ha Größe wird der Nachbarfläche zugeschlagen, die ihm semantisch am nächsten kommt, also möglichst dem „Grünland“),
- Geometrietywechsel bei Unterschreiten bestimmter Mindestdimensionen (Beispiel: aus einer flächenförmigen Deponie im Basis-DLM wird eine punktförmige Deponie im DLM50) sowie
- Geometrische Generalisierung zur Linienglättung und zur Stützpunktreduktion.

Interne Untersuchungen bei der Landesvermessung in Niedersachsen haben Reduktionsraten von bis zu 85 % vom Basis-DLM zum DLM50 in Bezug auf Siedlungsflächen ergeben, was insbesondere durch die im DLM50 erlaubte Zusammenfassung von Flächen über Straßengrenzen hinweg zustande kommt (PODRENEK 2003). Ähnlich hohe Reduktionsraten lassen sich bei den Objektarten Ackerland (77 %) und Grünland (83 %) erzielen, wobei die Mindestflächengröße mit 10 ha definiert ist. Bei der Objektart Wald, Forst können dagegen nur ca. 25 % eingespart werden, da die Mindestflächengröße für diese landschaftsprägende Objektart auf 1 ha herabgesetzt worden ist und auch kleine Waldflächen (< 1 ha) im DLM50 noch als punktförmige Objekte geführt werden. Kaum spürbare Reduktionen gibt es bei der Objektart Straße, die auch im DLM50 vollzählig darzustellen ist, kurze Sackgasen ausgenommen.

Außer durch die Anzahl der Objekte lässt sich die Datenmenge im DLM50 gegenüber dem Basis-DLM durch eine Verringerung der Stützpunktmenge für linienförmige Objekte und Flächenumringe reduzieren. Zu diesem Zweck werden in beiden Generalisierungslösungen der Länder die gleichen Algorithmen eingesetzt: zur Linienglättung eine Tiefpass-Filterung durch gleitende Mittelbildung (GOTTSCHALK 1973) und zur Punktreduktion der Ansatz von DOUGLAS und PEUCKER (1973). Die Tiefpass-Filterung führt zu neuen Koordinaten-

werten für alle Linienstützpunkte, ohne allerdings deren Anzahl zu verringern. Der Douglas-Peucker-Ansatz führt dagegen zu einer Auswahl von Stützpunkten, ohne deren Koordinaten zu verändern; dieser Ansatz wird grundsätzlich auf alle Linienarten angewandt, während die Tiefpass-Filterung in der Regel nur bei mäandrierenden (Gewässer-)Linien eingesetzt wird – gefolgt von der Punktreduktion nach Douglas-Peucker.

Bis etwa zum Anfang der 1990er Jahre diente die kartographische Generalisierung dazu, aus einer Karte größeren Maßstabs eine Folgekarte kleineren Maßstabs abzuleiten. Bei dieser „alten“ Art der kartographischen Generalisierung mussten auch alle Vorgänge der Modellgeneralisierung berücksichtigt und integriert werden (HAKE ET AL. 2002), während die „moderne“ Art nach einer zuvor durchgeführten Modellgeneralisierung nur noch das kartographische Verdrängen von Objekten zum Inhalt hat.

Die Verdrängung wird erforderlich, um graphische Konflikte zwischen Nachbarobjekten zu vermeiden, die infolge der zunehmend mehr Platz beanspruchenden Signaturierung von Objekten bei kleiner werdendem Maßstab unausbleiblich sind. Um diesen Prozess nach einer vorangegangenen automatischen Modellgeneralisierung auch weitgehend automatisiert durchführen zu können, müssen eindeutige und vielfältige Regeln zur Behandlung von Konfliktsituationen definiert werden (Mindestabstände zwischen Objekten, Objektprioritäten, Verdrängungstiefe, Formstabilität) (SCHÜRER 2008). Das Ergebnis wird aus heutiger Sicht aber immer noch interaktive Nachbereitungen erfordern, um im Ergebnis eine kartographisch ausgereiftes DTK50 zu erreichen.

7.6.4 Landschaftsmodellierung im AAA-Datenmodell

In diesem Abschnitt soll exemplarisch auf ausgewählte Aspekte der Landschaftsmodellierung im neuen AFIS[®]-ALKIS[®]-ATKIS[®] - (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[®]-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, siehe auch 7.7.3).

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 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 notwendige Harmonisierung der Objektsichten zwischen dem Liegenschaftskataster und der Geotopographie gibt es im Vergleich zur Einteilung der Objektbereiche im bisherigen ATKIS® (7.6.1) 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 aber 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 7.22 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 (siehe 15.5).

Im Unterschied zum bisherigen 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“.

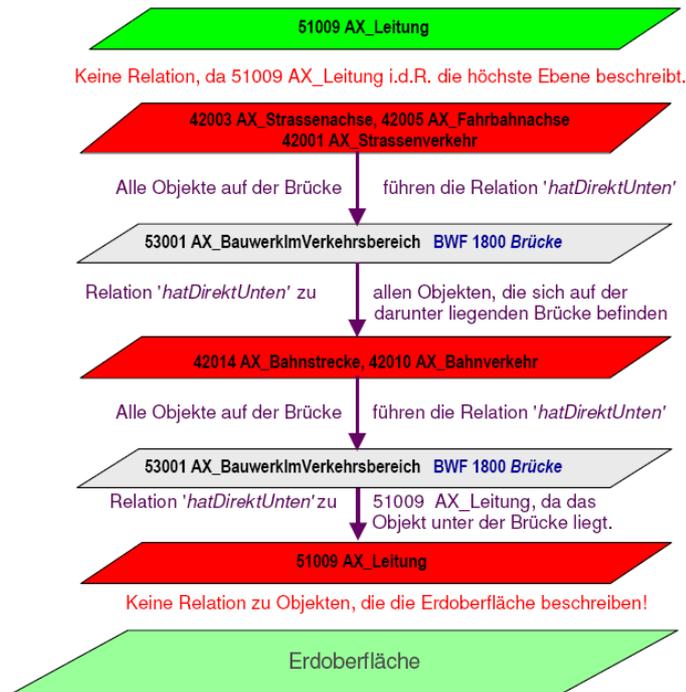


Abb. 7.22: Vertikale Abbildung der Landschaft über der Erdoberfläche (ADV 2008)

Seit 2008 wird 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. Seit diesem Zeitpunkt sind mehr als 500 Revisionsmeldungen (Anträge auf Fehlerbereinigungen, Änderungen und Ergänzungen) an den AAA-Revisionsausschuss herangetragen worden. Die AdV bereitet deshalb die Veröffentlichung einer neuen Referenzversion 7.0 vor, die allerdings frühestens dann eingeführt werden darf, wenn das letzte Bundesland alle AAA-Datenbestände auf die Version 6.0.1 umgestellt hat. Die GeoInfoDok 7.0 unterscheidet sich speziell aus ATKIS-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-Basis-DLM
- Berücksichtigung der ersten Ergebnisse der Harmonisierung ALKIS-ATKIS (ADV 2014).

Nach dem derzeitigen Sachstand wird das letzte Bundesland die AAA-Einführung für AFIS und/oder ALKIS im Jahr 2015 vornehmen, so dass mit der Einführung der GeoInfoDok-Version 7.0 in den ersten Bundesländern von 2016 an zu rechnen ist. Zur Vorbereitung und

Unterstützung der Umstellungsarbeiten in den Ländern wird der AAA-Revisionsausschuss ein Migrationskonzept (Version 6.0.1 \leftrightarrow 7.0) erarbeiten.

7.6.5 Lösungen und Angebote aus der Privatwirtschaft

Parallel zu den ATKIS®-Entwicklungen im amtlichen deutschen Vermessungswesen haben große Unternehmen der Privatwirtschaft Mitte der 1980er Jahre eigene Entwicklungen begonnen, um zunächst nur Verkehrslinien – später auch allgemeine Landschaftsinformationen – zu erfassen und speziell für Fahrzeug-Navigationszwecke auszuwerten. Dazu wurde zunächst ein neuer Datenstandard, das Geographic Data File (GDF), entwickelt, um Verkehrssituationen speziell im Kreuzungsbereich (Topologie, Abbiegespuren, Einbahnstraßen, usw.) navigationsgerecht abbilden zu können. Die ursprünglich von den Firmen Bosch-Blaupunkt und Philips initiierten Entwicklungen führten schließlich in den 1990er Jahren zur europaweiten Standardisierung durch die Technische Kommission TC 278 des Europäischen Normungsinstituts CEN (CZOMMER, 2000).

Die großen Systemanbieter Navteq und TeleAtlas haben den GDF-Dateninhalt nach und nach um allgemeine landschaftsbeschreibende Informationen erweitert, so dass über Navigationszwecke hinaus vielfältige Anwendungen bedient werden können (wie etwa Location Based Services, Web-Mapping (siehe 7.8) und Flottenmanagement). Der Vorteil gegenüber den amtlichen nationalen Datenangeboten ist die weltweite Einheitlichkeit der Datenstrukturen, der Anwendungen und des Erscheinungsbildes sowie die teilweise höhere Aktualität.

7.6.6 Schlaglichter aus dem europäischen Umfeld

Im internationalen Vergleich gibt es bei den Strategien zur geotopographischen Landschaftsmodellierung erkennbare Unterschiede. In Österreich findet man digitale Landschaftsinformationen derzeit nur im hochauflösenden Bereich. Im Produktverzeichnis enthalten sind vier voneinander getrennte DLM (BEV 2014):

- ein DLM „Geographische Namen“ mit mehr als 220.000 Bezeichnungen für Orte, Gewässer, Berge, usw.,
- ein DLM „Gewässer“, das flächendeckend alle fließenden und stehenden Gewässer sowie Quellen, Wasserfälle und Bauwerke an Gewässern umfasst,
- ein DLM „Siedlung“ mit punktförmigen Points of Interest (wie kommunalen Einrichtungen sowie zu den Themen Kultur, Sport und Freizeit) und
- ein DLM „Verkehr“ mit linienförmigen Elementen des Straßen-, Schienen-, Fähr- und Flugverkehrs sowie damit in Verbindung stehenden Points of Interest.

In der Schweiz wurden bis zum Jahr 2009 zwei digitale Landschaftsmodelle angeboten, das Modell Vector25 und das Modell Vector200 (SWISSTOPO, 2014). Im Modell Vector25 – vergleichbar mit dem ATKIS®-Basis-DLM – wurden ca. 8,5 Mio. Objekte mit Lage, Form und Topologie in neun thematischen Ebenen unterschieden: Straßennetz, Eisenbahnnetz, übriger Verkehr, Gewässernetz, Primärflächen (der Bodenbedeckung), Gebäude, Hecken und Bäume, Anlagen sowie Einzelobjekte. Das Modell Vector25 wurde im Jahr 2010 durch ein noch genaueres und umfassenderes Topographisches Landschaftsmodell unter dem Produktnamen swissTLM^{3D} abgelöst. Zur Herstellung und Fortführung des swissTLM^{3D} werden Methoden der 3D-Erfassung sowie der topographischen Geländeaufnahme eingesetzt. Die Geometrien des swissTLM^{3D} sind nicht kartographisch generalisiert; gut definierte Objekte wie Gebäude oder Straßen weisen eine Genauigkeit zwischen ± 0.2 und 1,5 m in

allen drei Dimensionen auf. Nicht so klar abgrenzbare Objekte wie z. B. Wald haben eine Genauigkeit zwischen ± 1 und 3 m. Das Modell Vector200 wird weiterhin gepflegt und ist im Frühjahr 2014 in der Version „level 4“ herausgegeben worden. Es enthält noch ca. 600.000 Objekte und ist bei Lagegenauigkeiten von ± 20 bis 60 m bereits stark kartographisch generalisiert.

In Frankreich werden eine BD TOPO® und eine BD CARTO® als digitale Landschaftsmodelle geführt (IGN 2014). Die BD TOPO® – vergleichbar mit dem ATKIS®-Basis-DLM – stellt das gesamte Staatsgebiet maßstabsfrei mit m-Genauigkeit dar und wird kontinuierlich fortgeführt. Die DB TOPO® ist in den Versionen DB TOPO® 2D und DB TOPO® 3D erhältlich. Die BD CARTO® ist durch Digitalisierung der Topographischen Karte 1:50.000 entstanden und bildet die Grundlage für Planungen und Kartenableitungen im Maßstabsbereich zwischen 1:50.000 und 1:250.000.

In Großbritannien ist seit 1995 die OS MasterMap® als großmaßstäbige digitale topographische Datenbank mit 450 Mio. Objekten aufgebaut worden (ORDNANCE SURVEY 2014). Die OS MasterMap® enthält eine Topographie-Ebene, eine Ebene mit routingfähigen Verkehrsinformationen, eine Adressdatenbank, eine Luftbild-Ebene eine Gewässer-Ebene und eine Ebene mit öffentlichen und wirtschaftsrelevante Einrichtungen (z.B. Flughäfen, Krankenhäusern und Schulen). Die Erfassungsgrundlagen für die OS MasterMap® sind Karten in den Maßstäben 1:1250 (Stadtbereiche), 1:2500 (ländliche Bereiche) sowie 1:10.000 (im Bergland). Der Aktualisierungszyklus liegt je nach Veränderungsaufkommen und Bedeutung zwischen 2 und 10 Jahren, Zur Ableitung von topographischen und kartographischen Daten in geringerer Auflösung setzt das Ordnance Survey auf die Entwicklung weitgehend automatisierter Prozesse der Generalisierung.

Länderübergreifende Untersuchungen und Umfragen haben ergeben, dass bei den europäischen Landesvermessungsverwaltungen grundsätzlich zwei verschiedene Ansätze zur Generalisierung geotopographischer Datenbanken Anwendung finden (STOTER 2005).

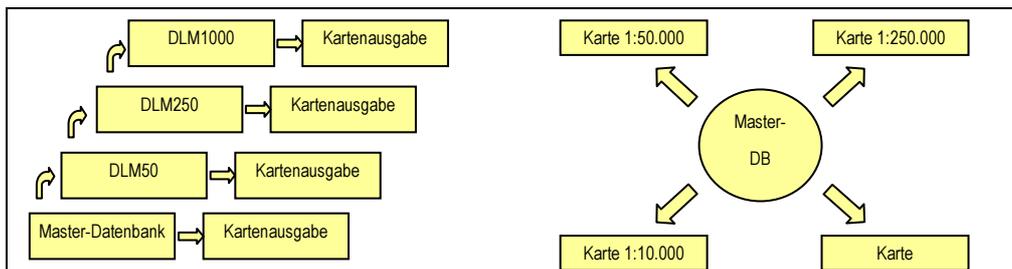


Abb. 7.23: Digitales Folgekartenprinzip; links: stufenweise; rechts: sternförmig

In Deutschland und Belgien wird der sogenannte Stufen-Ansatz verwendet, in dem aus dem höher auflösendem DLM jeweils ein Datensatz mit geringerer Auflösung und daraus maßstabsentsprechende Karten abgeleitet werden (Abb. 7.23, links). Alternativ dazu gibt es den sternförmigen Ansatz, bei dem aus einer einzigen Kerndatenbank alle Kartenmaßstäbe erzeugt werden sollen (Abb. 7.23, rechts). Dieser Ansatz ist vor allem von SESTER (2008), erforscht worden und kommt in einer Mischform in Dänemark, Frankreich, der Schweiz und bei der katalanischen Landesvermessung (in Barcelona) zum Einsatz – mit einer Kern-

datenbank im großmaßstäbigen Bereich und einer zweiten Kerndatenbank (ab ca. 1:50.000) für den kleinmaßstäbigen Bereich.

7.7 Topographische Landeskartenwerke

7.7.1 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 Zeitspanne 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 Kartengraphik, eine abgestimmte Bezeichnung (Kartennummer 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. ATKIS[®]-DTK-Produkte werden heute grundsätzlich in neuer Kartengraphik abgeleitet, die eine bessere Lesbarkeit und größere Interpretationssicherheit zum Ziel hat. Gegenüber den Topographischen Karten vor der „ATKIS[®]-Zeit“ zeichnet sich die neue Kartengraphik insbesondere durch folgende Merkmale aus:

- mehr Farben zur Unterscheidung der Vegetationsflächen (23 Farbtöne anstelle der bisherigen 4 - 6 Farbtöne),
- größere Signaturen und größere Signaturbreiten,
- größere Mindestabstände sowie
- serifenfreie Schrift.

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 (SCHAFFER 2003). Heute liegt die TK10 in analoger und digitaler Form gemäß ATKIS[®]-Signaturenkatalog (ATKIS[®]-SK10) in den östlichen Bundesländern geschlossen vor (Abb. 7.24, links).

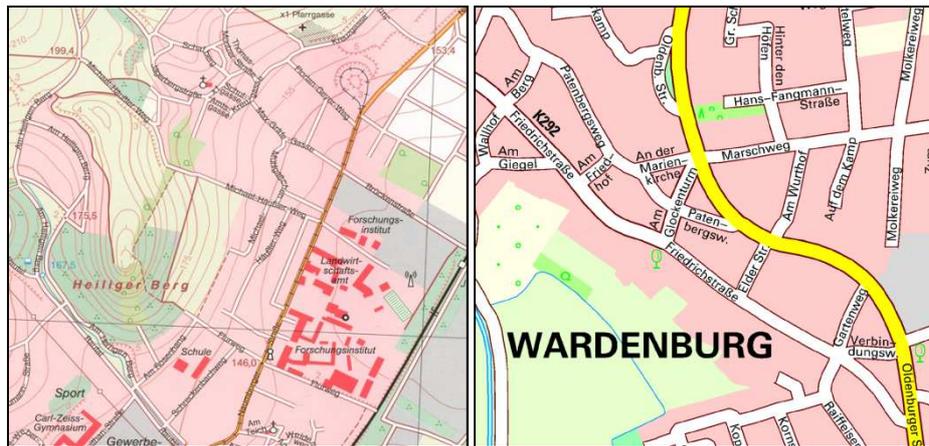


Abb. 7.24: links: DTK10 nach ATKIS®-SK10 (LVERMGEO THÜRINGEN 2009); rechts: Dig. Straßenkarte DSK10 in Niedersachsen (LGLN 2009a) (jeweils verkleinert dargestellt)

In den meisten übrigen Bundesländern werden ebenfalls digitale Ausgaben im Maßstab 1:10.000 hergestellt – allerdings nur im Anhalt an den ATKIS®-SK10 und in der Regel ohne eine analoge Druckausgabe. Beispiele dafür sind die Digitale Straßenkarte (DSK10) in Niedersachsen (Abb. 7.24, rechts) und die Digitale Ortskarte in Bayern (DOK10), in denen vor allem die Straßen breiter dargestellt werden als im ATKIS®-SK10 vorgeschrieben und – im Falle der DSK10 – die Gebäude fehlen.

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 Maßstabbereich 1:10.000 wird die Topographische Karte 1:25.000 (TK25) erst seit 2014 von allen Bundesländern aus dem ATKIS®-Basis-DLM abgeleitet. Die Länder Baden-Württemberg, Hamburg, Saarland und Schleswig-Holstein haben bis zu diesem Zeitpunkt die „alte“ TK25 in rasterbasierter Form aktualisiert und herausgegeben. Abbildung 7.25 zeigt im Vergleich eine jeweils verkleinerte TK25 in alter und in neuer Kartographie.

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.

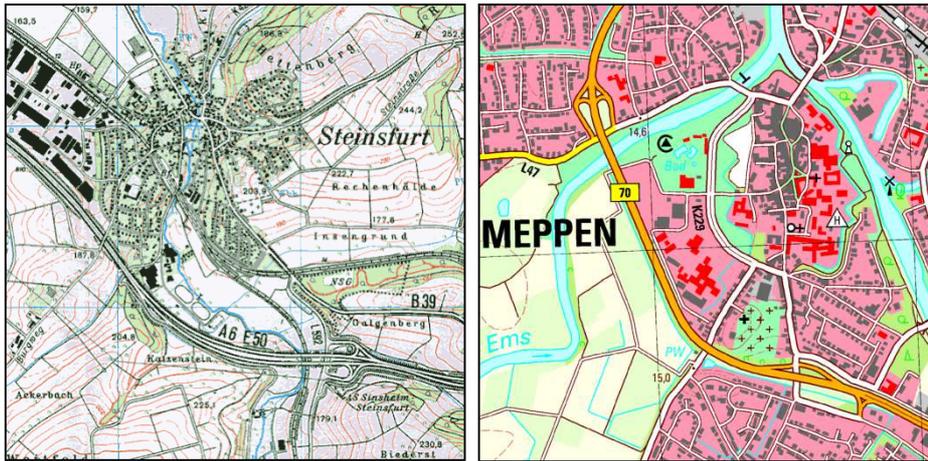


Abb. 7.25: Verkleinerte TK25 in alter (links)(LGL BADEN-WÜRTTEMBERG 2009) und neuer Kartengraphik (rechts)(LGLN 2009a)

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 (Generalstabkarte). 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 km²) 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. 7.26). Einzelhäuser werden lediglich dann noch dargestellt, wenn sie eine größere Fläche als 2000 m² abdecken oder in Industriegebieten liegen.

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. 7.26: Verkleinerte TK50 in alter (links) und neuer Kartengraphik (rechts) (LGLN 2009a)

Der Kartenmaßstab 1:100.000 ist in Deutschland als Generalstabkarte 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 (D)TK100 in Form einer gemeinsamen zivil-militärischen Karte in neuer Kartengraphik entstanden (ADV 2006).

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 (7.6.2) sowie die Ableitung der DTK250 und der DTK1000 verantwortlich ist. Die Ableitung der DTK250 und der DTK1000 sind im Jahr 2009 prototypisch fertig gestellt worden, so dass seitdem Kartenausgaben in neuer Kartengraphik verfügbar sind.

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

In der TK25 wird die alte Gauß-Krüger-Abbildung für eine noch nicht näher spezifizierte Übergangszeit im Kartenrahmen in blauer Farbe angedeutet. In den neuen zivil-militärischen Ausgaben der TK50 und der TK100 wird dagegen auf die Darstellung der alten Gauß-Krüger-Abbildung ganz verzichtet.

7.7.2 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 (7.5.1) 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. Ihr Vorhalten und ihre Herausgabe ist eine wichtige amtliche Aufgabe, da historische Karten Wissenschaftlern und Verwaltungen die Möglichkeit geben, Entwicklungstendenzen von Landesteilen zu erkennen und daraus Rückschlüsse für die weitere Entwicklung zu ziehen.

7.7.3 Modellierung der Kartographie im AAA-Datenmodell

Alle analogen topographischen Kartenausgaben werden heutzutage aus vektor- oder rasterbasierten digitalen Datenbeständen abgeleitet. Während im alten ATKIS®-Datenmodell keine Relationen zwischen den Landschaftsmodellen und den kartographischen Modellen aufgebaut worden sind, bietet das AAA-Datenmodell mit den Relationen „istAbgeleitetAus“ (für Kartengeometrieobjekte) und „dientZurDarstellungVon“ (für Präsentationsobjekte) diese Möglichkeit nunmehr explizit an. Alle AAA-Objekte werden fachlichen Modellarten zugeordnet (etwa Basis-DLM, DTK25), wobei ein Objekt durchaus zu mehreren Modellarten gehören kann (CHRISTOFFERS 2007).

Wenn, wie in Abbildung 7.27 dargestellt, ein Objekt in der DTK25 eine gegenüber dem Basis-DLM unveränderte Geometrie aufweist (Objekt 1), dann erhält das Objekt die Modellartenkennungen (MArt) Basis-DLM und DTK25. Theoretisch könnte Objekt 1 zusätz-

lich auch noch die MArt DTK10 für die Darstellung im Kartenmaßstab 1:10.000 tragen. Im Fall des Objekts 2 muss die Lage dieser Straße für die Darstellung in der DTK25 kartographisch verdrängt werden; Objekt 2 trägt dann nur die MArt Basis-DLM, das verdrängte Kartengeometrieobjekt 3 erhält nur die MArt DTK25 mit der Relation „istAbgeleitetAus“

Die Relation „istAbgeleitetAus“ führt bei Veränderungen des DLM-Objekts dazu, dass die Überprüfung der Darstellung des zugehörigen DTK-Objekts nicht „übersehen“ werden kann.

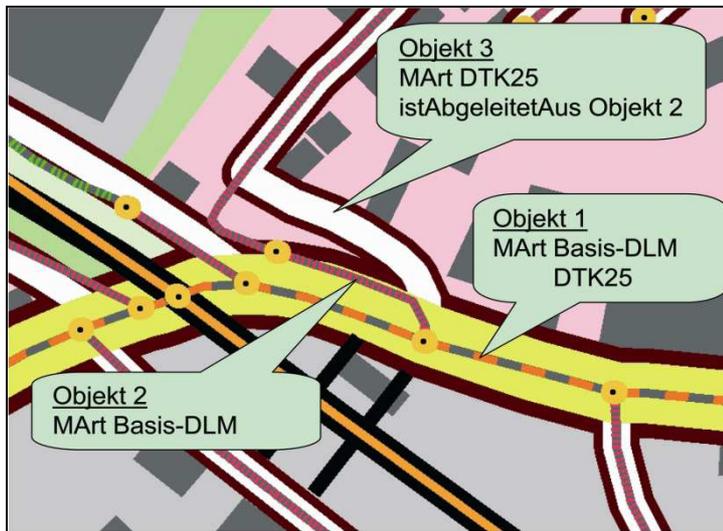


Abb. 7.27: Objekte und Modellarten (MArt) im AAA-Datenmodell (CHRISTOFFERS 2007)

Der Grundsatz des AAA-Datenmodells, wonach die vollständige Beschreibung von Objekten die Bestandteile Semantik, Raumbezug und Präsentation umfasst (7.6.4), führt in einigen Bundesländern zur Planung, die Aktualisierung der Digitalen Topographischen Modelle quasi parallel mit der Aktualisierung der DLM-Daten bzw. direkt im Anschluss daran durchzuführen (Abb. 7.28). Diese Vorgehensweise sichert die stete Konsistenz zwischen der Landschaftsbeschreibung und der Landschaftsdarstellung in den entsprechenden Kartenwerken. Dies würde zu einer deutlichen Steigerung der Aktualität zumindest der Digitalen Topographischen Kartenwerke führen, die sich durch bedarfsbezogene „Plots on Demand“ auch auf analoge Ausgaben übertragen ließe.

Da die kartographische Information gemäß AAA-Datenmodell in attributierter Vektorform im Basis-DLM und im DLM50 enthalten ist, wird in der AdV gegenwärtig diskutiert, diese Daten auch als Vektor-DTK an Nutzer abzugeben. Da hier allerdings erst die Nutzeranforderungen und die Verfahrensschritte zu klären sind, ist eine flächendeckende Umsetzung dieser Idee frühestens ab dem Jahr 2020 zu erwarten.

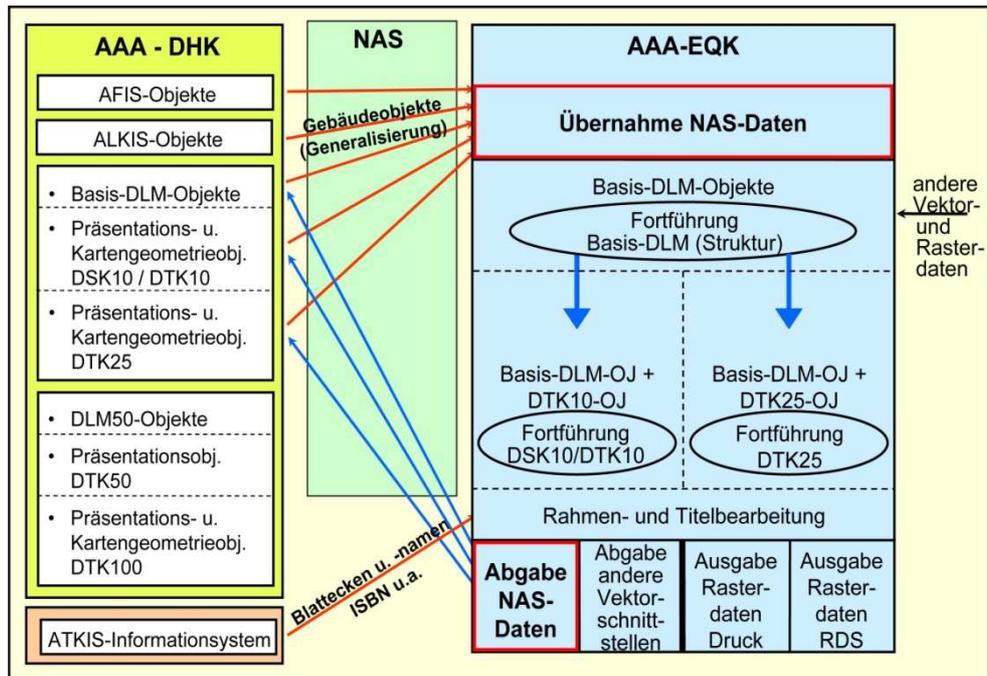


Abb. 7.28: Geplante integrierte Bearbeitung von Basis-DLM und DSK10/DTK25 in Niedersachsen (CHRISTOFFERS 2007)

7.7.4 Lösungen und Angebote aus der Privatwirtschaft

Die freie Wirtschaft ist durch Auftragsarbeiten verbreitet an der Herstellung und Aktualisierung der Daten der topographischen Landesaufnahme beteiligt. Eigene topographische Kartenwerke werden außerhalb der Verwaltung nicht produziert. Dafür bilden die Landeskartenwerke aber die Grundlage für eine große Anzahl privater analoger Kartenproduktionen im Touristik- und Freizeitsektor, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann.

Mit dem Blick auf die digitale Datenwelt gibt es allerdings eine Vielzahl von privaten Angeboten, die in Form und Inhalt durchaus mit den kartographischen Ergebnissen der topographischen Landesaufnahme verglichen werden können. Hier seien beispielhaft die Datenbestände der beiden großen Anbieter von Navigationsdaten (NAVTEQ, TeleAtlas) genannt, die in vielen Internetportalen und Anwendungen kartographisch umgesetzt worden sind.

Darüber hinaus wird unter dem Begriff "crowdsourcing" (s. z. B. HEIPKE 2010) eine freie Weltkarte unter dem Namen OpenStreetMap (OSM) erstellt, die zur freien Benutzung über das Internet verfügbar ist (OPENSTREETMAP 2014). Zum Aufbau der OSM-Datenbank sammeln Tausende Freiwilliger mit Hilfe von GPS-Geräten Straßen- und Wegegeometrien sowie deren Attribute (wie Name und Klassifizierung). Darüber hinaus werden auch die Geometrie und Attribute zu Gebäuden, Vegetation und Gewässer erfasst, aufbereitet und in das offene OSM-Portal eingestellt. OSM-Daten darf jeder lizenzkostenfrei nutzen.

7.7.5 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 aus diesen vier Blättern sowie jeweils eine Landeskarte im Maßstab 1:500.000 und 1:1.000.000. Die Schweizer Landeskarten haben einen Aktualisierungszyklus von sechs Jahren und bietet alle Maßstäbe selbstverständlich auch im Rasterdatenformat an (SWISSTOPO 2014).

In Österreich ist die Karte 1:50.000 das topographische Grundkartenwerk; eine Karte im Maßstab 1:25.000 wird aus dieser Grundkarte durch Vergrößerung abgeleitet. Darüber hinaus werden noch die Maßstäbe 1:200.000, 1:250.000 und 1:500.000 geführt. Die Karten im Maßstab 1:200.000 decken jeweils ein Bundesland ab; die Karte 1:500.000 deckt das gesamte Bundesgebiet ab (BEV 2014). Die Österreichische Karte 1:250 000 ist ein neues Kartenwerk, das in Kooperation zwischen dem BEV und dem Institut für Militärisches Geowesen durch Generalisierung der Karte 1:200.00 entstanden ist. Besonderheiten dieses zivil-militärischen Kartenwerks sind die Geländedarstellung durch Höhenschichtlinien, Felsdarstellungen und eine Reliefschummerung.

Die französische Landesvermessung bietet topographische Karten in den Maßstäben 1:25.000, 1:50.000 und 1:100.000 an sowie Departement-Karten 1:125.000 und Regionalkarten 1:250.000. Alle Ausgaben sind auch in gescannter Form als Rasterkacheln verfügbar (IGN 2014).

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*1m². Beide Ausgaben gibt es auch in Form der sogenannten Active Maps, die für eigene Routenplanungen und Beschriftungen mit einer schützenden Plastikfolie überzogen sind. Neben diesen beiden Maßstäben bietet der Ordnance Survey noch sogenannte Travel Maps an, und zwar eine Travel Map „Route“ mit zwei Kartenblättern im Maßstab 1:625.000, die England und Schottland komplett abbilden, eine Travel Map „Road“ (acht Kartenblätter im Maßstab 1:250.000) und eine Travel Map „Tour“ mit unterschiedlichen Maßstäben zwischen 1:100.000 und 1:500.000 (ORDNANCE SURVEY 2014).

Eine Übersicht über für weltweit für zivile Zwecke verfügbare Daten enthält die unter der Schirmherrschaft der Vereinten Nationen durchgeführte Zusammenstellung der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (ISPRS, s. KONECNY 2013).

7.8 Web-Map-Ansatz

7.8.1 Definitionen

Mit dem Übergang der geotopographischen Verarbeitungs- und Führungsprozesse auf digitale Methoden hat sich auch das Zugriffsverhalten der Nutzer auf die angebotenen Daten verändert. Neben der Offline-Bereitstellung zur Führung von Sekundärdatenbeständen beim Kunden werden heute digitale Daten und Karten immer häufiger über das Internet vertrieben.

Beim Web-Mapping, dem Zugriff auf Geodaten über das Internet, lassen sich grundsätzlich zwei Ansätze unterscheiden, der Web Coverage Service (WCS) und der Web Map Service (WMS). Während der WCS den normierten Zugriff auf Rasterdaten aller Art ermöglicht, kann mit dem WMS sowohl auf Raster- als auch auf Vektordaten zugegriffen werden, die serverseitig zu einem Kartenbild aufbereitet und danach dem anfragenden Client zur Verfügung gestellt werden. Ein dritter Webdienst, der Web Feature Service (WFS) erlaubt Anfragen und den Zugriff auf Vektordatenbestände, die zentral oder verteilt auf Webservern verfügbar sind. Der WFS ist auch zur reinen Sachdatenrecherche geeignet. Alle drei Services (WCS, WMS, WFS) sind vom Open Geospatial Consortium (OGC), einer freien Organisation aus Vertretern der öffentlichen Verwaltung, der Privatwirtschaft und von Forschungseinrichtungen, definiert worden - mit dem Ziel, allgemeine Standards für die Interoperabilität raumbezogener Daten festzulegen (OGC 2002).

Ein WMS ist ein webbasierter Kartendienst, der beliebige rechteckige zweidimensionale Ausschnitte aus raster- oder vektorbasierten Geodatenbeständen als Rasterbild zur Verfügung stellt. Ein OGC-konformer WMS verfügt über drei Funktionen, die ein Benutzer mittels http-Anfrage aufrufen kann:

- **GetCapabilities:** Diese Operation liefert die Metadaten des WMS, gibt also eine Beschreibung der Fähigkeiten des Dienstes und der angebotenen Daten.
- **GetMap:** Mit dieser Operation wird der gewünschte Kartenausschnitt definiert und in der Regel im Rasterformat übermittelt. Innerhalb der Abfrage können bestimmte Kartenebenen, deren gewünschte Darstellung, das Koordinatensystem sowie das Ausgabeformat (PNG, GIF, TIFF) festgelegt werden. Bei Abgaben im Vektorformat wird häufig das XML-basierte Scalable Vector Graphics (SVG) eingesetzt.
- **GetFeatureInfo:** Diese Funktion liefert zu einer Georeferenz zusätzliche attributive Informationen über die ausgewählten Datenebenen, ist aber als optionaler Dienst in einem WMS nicht unbedingt enthalten. Als Datenformat wird häufig die Hypertext Markup Language (HTML) verwendet, um dem Anwender die Information in lesbarer Form zu präsentieren.

Der WCS ermöglicht den Zugriff auf selektierte Rasterdaten mit zusätzlichen detaillierten Beschreibungen, wie etwa auf Daten von Digitalen Geländemodellen. Statt des GetMap wird die Funktion GetCoverage verwendet.

Ein WFS besitzt folgende sechs Operationen:

- **GetCapabilities:** wie beim WMS.
- **DescribeFeatureType:** beschreibt die Struktur einzelner Datenbankobjekte.
- **GetFeature:** Operation zur Objektauswahl und Übermittlung im GML-Vektorformat (Geography Markup Language). GML erlaubt die Übermittlung von Objekten mit Attributen, Relationen und Geometrien.
- **GetGmlObject:** Operation zur Auswahl einzelner Elemente aus der GML-Datei.
- **Transaction:** Optionale Funktion zum transaktionssicheren Einfügen, Ändern oder Löschen von Objektinformation.
- **LockFeature:** Optionale Funktion, die gewährleistet, dass Objektdaten nicht während der Transaktion von einer anderen Instanz geändert werden.

Um bei einem WFS-Zugriff auf vektorbasierte Geodaten visualisierte Karten- bzw. Graphikdateien angezeigt zu bekommen, muss entweder vor der Datenübertragung ein WMS

integriert oder nach der Datenübertragung beim Nutzer über eine Signaturliste individuell eine Kartengraphik erzeugt werden. Der Vorteil eines Web-Mappings im Vektorformat ist die graphisch einwandfreie Skalierbarkeit der Karteninformationen, die beim Rasterformat nur bedingt möglich ist und bei starker Vergrößerung zu Unschärfen und Fleckigkeit führt (Abb. 7.29).

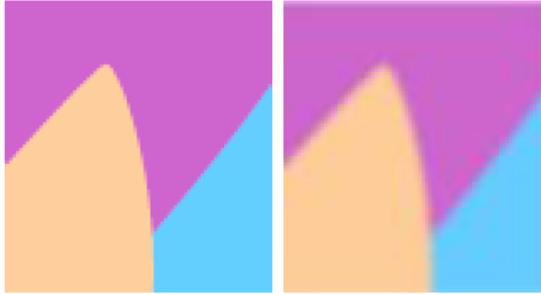


Abb. 7.29: Qualitätsvergleich zwischen stark vergrößerten Vektor- (SVG, links) und Rasterdaten (JPEG, rechts) (Li 2006)

Liegen einem WMS Rasterdaten zugrunde, so sind diese in der Regel in einer festen Maßstabsfolge definiert. So lassen sich etwa über den Web Map Service der Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen neben den aus Katasterdaten abgeleiteten Karten im Maßstab 1:2.500 und 1:5.000 auch die konfektionierten Rasterdaten der Maßstäbe 1:10.000, 1:25.000, 1:50.000, 1:100.000, 1:500.000, 1:1.000.000 und 1:5.000.000 sowie Digitale Orthophotos im Maßstab 1:2.500 und 1:10.000 einbinden (LGLN 2014).

Die Verwendung eines vektorbasierten WMS bietet für den Nutzer flexiblere Funktionalitäten wie die individuelle Objektartenauswahl und die Wahl selbst bestimmter Kartenmaßstäbe. Diese Komfortsteigerung ist auf der Anbieterseite mit einem höheren Aufwand bei der Implementierung eines solchen WMS verbunden. Je nach Anwendungszweck gilt es, die dazu passenden Datensätze auszuwählen und sie für verschiedene Maßstabsbereiche mit entsprechenden Visualisierungsvorschriften zur Verfügung zu stellen. Da mit den Vektordaten auch die SVG-Präsentationsvorschriften bei der Datenübertragung mitgeliefert werden müssen, weichen die Datenmenge und die Übertragungsgeschwindigkeit zwischen vektor- und rasterbasiertem WMS in der Regel nicht wesentlich voneinander ab.

Ein vektorbasierter, auf ATKIS®-Daten aufsetzender WMS könnte beispielsweise zu folgenden, im Detail noch viel feiner zu definierenden inhaltlichen Festlegungen führen (Tabelle 7.4):

In der Feinspezifizierung müssen darüber hinaus Festlegungen bis auf die Ebene jeder einzelnen Objektart gemacht werden. So müsste beispielsweise für die Objektart Straßenverkehr genau geregelt werden, welche Straßenklassen (Autobahn, Bundesstraße, ..., Gemeindestraße, Weg) ab welcher Zoomstufe in welcher Form (einlinig, doppellinig, Breite, Füllfarbe, Bezeichnung, Straßename) abgebildet werden sollen.

Der Nutzer erhält je nach gewähltem Bildschirmausschnitt den serverseitig zusammengestellten Vektordatenbestand in einem OGC-konformen Graphikformat (z. B. SVG) übermit-

telt, kann die Zoomstufen beliebig ändern oder über Komfortfunktionen einzelne Objektarten zu- oder wegschalten.

Tabelle 7.4: Grobplanung einer zoomstufen-abhängigen Objektauswahl und Visualisierung für einen vektorbasierten ATKIS®-WMS

Maßstabsbereich/ Zoomstufe	Inhalt des WMS - grob	Signaturierung - grob
1:5.000.000 bis 1:3.000.000	Bundes- und Landesgrenzen, Landeshauptstädte sowie Städte > 500.000 Einwohner, Große Flüsse und Gewässer	linienförmig, Kreissignatur und Name, einlinig bzw. flächenhaft
1:3.000.000 bis 1:1.000.000	Inhalt des DLM1000	SK1000 in stark Web- optimierter Form
1:1.000.000 bis 1:500.000	Inhalt des DLM1000	im Anhalt an den SK1000
1:500.000 bis 1:300.000	Inhalt des DLM250	SK250 in stark Web- optimierter Form
1:300.000 bis 1:150.000	Inhalt des DLM250	im Anhalt an den SK250
1:150.000 bis 1:75.000	Generalisierter Inhalt des DLM50	im Anhalt an den SK100
1:75.000 bis 1:30.000	Inhalt des DLM50	im Anhalt an den SK50
1:30.000 bis 1:15.000	Inhalt des Basis-DLM; generalisierte Gebäude	im Anhalt an den SK25; mit Straßennamen bis zur Kreisstraßenebene
1:15.000 bis 1:7.500	Inhalt des Basis-DLM; generalisierte Gebäude	im Anhalt an den SK10; alle Straßennamen
>1:7.500	Inhalt des Basis-DLM; Gebäudeumringe aus ALKIS	im Anhalt an den SK10; alle Straßennamen

7.8.2 Praktische Entwicklungen

Web-Mapping-Anwendungen werden in statisch und dynamisch unterschieden; man spricht dabei häufig von Web-Mapping 1.0 und Web-Mapping 2.0, deren unterschiedliche Merkmale in Tabelle 7.5 gegenübergestellt werden. Beim Web-Mapping 1.0 sind Karten nur als fertige Produkte zu betrachten, während Web-Mapping 2.0-Anwendungen es grundsätzlich ermöglichen, über das Internet verfügbare Karten für eigene Zwecke zu integrieren und weiter zu bearbeiten.

Tabelle 7.5: Merkmale von Web-Mapping 1.0- und 2.0-Anwendungen (HOFFMANN 2010)

Web-Mapping 1.0	Web-Mapping 2.0
Statisch	Dynamisch
Herstellerorientiert	Nutzerorientiert
Daten nur lesen	Daten lesen und bearbeiten; eigene Inhalte und Kartengestaltung
Nutzer ist aktiver Konsument	Nutzer ist Konsument und Produzent

Einige Web-Map-Anwendungen sollen im Folgenden exemplarisch aufgezeigt werden:

- Die weitest gehende Web-Mapping 2.0-Anwendung findet sich in der dynamischen Entwicklung der freien Web-Karte Open Street Map (OSM), in der beliebig viele Nutzer die im WWW verteilt vorliegenden vektorbasierten Ausgangsdaten herunterladen und durch eigene Datenerfassungen vervollständigen bzw. aktualisieren können (OPENSTREETMAP 2014). Die veränderten Daten stehen danach wieder allen Nutzern von OSM zur weiteren Verwendung zur Verfügung.
- Ähnlich dynamische Anwendungen bieten zumeist auf Google-Maps, Navteq oder Teleatlas beruhende kommerzielle Dienste an, die es dem Nutzer erlauben, sich Daten auf ein mobiles Endgerät zu laden, seine eigene Position oder einen bestimmten Treffpunkt georeferenziert einzutragen und diese veränderte Karte an Dritte weiterzusenden. Lediglich das Verändern ihrer Ursprungsdaten lassen die Dienste- bzw. Datenanbieter nicht zu.
- Für den öffentlichen Bereich bieten Geodatenportale des Bundes, der Länder und vieler Kommunen die Möglichkeit zur vielfältigen Nutzung von Fachinformationen zumeist vor dem Hintergrund topographischer Landeskartenwerke in unterschiedlichen Maßstäben. Die Nutzer dieser typischen Web-Mapping 1.0-Anwendungen können sich die sie interessierenden Fachthemen auswählen und deren räumliche Verteilung anzeigen lassen.
- Einen besonderen Dienst bietet die Abteilung 7 GEObasis.nrw der Bezirksregierung Köln mit dem Portal TIM-online an. TIM-online ist eine WMS-basierte Internetanwendung des Landes Nordrhein-Westfalen, die nicht nur die kostenfreie Einsichtnahme in die Geobasisdaten ermöglicht, sondern auch für die nutzerseitige Meldung von Abweichungen zwischen der präsentierten Kartendarstellung und der Örtlichkeit konzipiert ist. Die GEObasis.nrw bekommt auf diese Weise Fortführungsinformationen mitgeteilt, die sie nach Verifikation in den amtlichen ATKIS®-Nachweis übernehmen kann (GEOBASIS.NRW 2014).
- Seit dem Jahr 2009 gibt es einen ersten durch die AdV initiierten bundesweiten WMS-Ansatz auf der Grundlage der verschiedenen ATKIS®-Landschaftsmodelle sowie der Hausumringe und Hausnummern aus den ALKIS®-Daten der Bundesländer. Das Ziel der gemeinsamen Entwicklungen des Bundes und der Länder ist ein auf 13 Zoomstufen (entsprechend Tabelle 7.5) aufbauender WebAtlasDE mit kartographisch nicht generalisierten Kartendaten im Maßstabsbereich zwischen 1:2.000 bis 1:10.000.000. Dieser Kartendienst wird vom Geoportal.DE des BKG über einen performanten Web Map Tile Service (WMTS) (BKG 2014) in einer Farb- und einer Graustufenvariante bereitgestellt. Seit der Erstableitung ist die Kartengraphik ständig verbessert worden. Seit dem Jahr 2011 wird der WebAtlasDE jährlich einmal aktualisiert. Abb. 7.30 zeigt vier der insgesamt 13 Maßstabsebenen mit den bundesweit abgestimmten Karteninhalten, links jeweils in der Farbvariante, recht in der Graustufe (zur Qualitätssicherung des WebAtlasDE siehe Kapitel 15.5.3).
- Um den Anforderungen von Polizei und Katastrophenschutz nach europaweit einheitlichen Kartendiensten zu genügen, hat das BKG seit Ende des Jahres 2011 mit der Entwicklung des Verfahrens TopPlus begonnen. Dieser Dienst zeigt Europa in kleinen und mittleren Maßstäben und Deutschland sowie die angrenzenden Nachbarstaaten bis zum größten Maßstab 1:1000. Neben den amtlichen Grunddatenbeständen der einzelnen europäischen Länder – für Deutschland sind wie beim WebAtlasDE ATKIS-Daten sowie Hausumringe und Hauskoordinaten genutzt worden – sind zur Erzeugung der Karten-

graphiken auch Daten von privaten Stellen - wie Openstreetmap - zur Anwendung gekommen (AdV 2014). Zusätzlich zum WebAtlasDE enthalten die Rasterebenen des Verfahrens TopPlus auch Höhenlinien und Schummerungen. Die Kartengraphik ist so konzipiert, dass auch gut lesbare analoge Plots für den Vorort-Einsatz erstellt werden können.



Abb. 7.30: Ausschnitte aus dem WebAtlasDE in verschiedenen Maßstäben und Varianten

- Neben den behördlichen WMS-Anwendungen gibt es auch private Anbieter mit Viewern auf der Basis von ATKIS®-Daten, wie beispielsweise die Fa. geoGLIS (GEOGLIS 2014), deren Dienst kundenspezifische Layouts und stufenlose Darstellungen bis zum Maßstab 1:3.000.000 ermöglicht. Andere GIS-Firmen bieten vielfältige touristische oder kommunale Themen auf der Grundlage von ATKIS®-Daten für lokale Bereiche an, wie beispielsweise der Mittelweser-Navigator für die Region Nienburg/Weser (NOLIS 2014).

Das Web-Mapping wird analoge Kartenprodukte sowie sekundäre, beim Nutzer gespeicherte digitale Kartendaten zwar nicht auf allen Ebenen ablösen, dennoch ist eine deutliche Änderung im Nutzerverhalten erkennbar. Immer stärker in den Vordergrund rückt der jederzeitige und von überall aus mögliche Zugriff über das Internet auf stets aktuelle Daten zur kurzfristigen Nutzung.

7.9 Quellenangaben

7.9.1 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 (2008): Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok). ATKIS®-Objektartenkatalog für das Digitale Geländemodell5, Version 6.0, 2008, Hannover.
- ADV (2009): ATKIS®-Produktkatalog – Version 2.1. Interne Unterlagen des AdV-Arbeitskreises Geotopographie, 2009, Hannover.
- ADV (2013): Interne Unterlagen des AdV-Arbeitskreises Geotopographie, 2014, Hannover.
- ADV (2014): Interne Unterlagen des AdV-Arbeitskreises Geotopographie, 2014, Hannover.
- ALBERT L., ROTTENSTEINER R., HEIPKE C. (2014): Land use classification using Conditional Random Fields for the Verification of Geospatial Databases, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-4:1-7.
- 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.
- 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: PFG (2008), Nr. 5, S. 395-407.
- CHRISTOFFERS, F. (1992): Rahmenbedingungen zur Einrichtung des ATKIS®-DLM25/1 in Niedersachsen. Nachrichten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, Heft 3/1992, 121 - 133, Hannover.
- CHRISTOFFERS, F. (2007): Einführung von AFIS®-ALKIS®-ATKIS® und ETRS89/UTM in Niedersachsen – ATKIS®. Nachrichten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, Heft 1 und 2/2007, 69 - 79, Hannover.

- CZOMMER, R. (2000): Leistungsfähigkeit fahrzeugautonomer Ortungsverfahren auf der Basis von Map-Matching-Techniken. DGK, Reihe C, Dissertationen, Heft Nr. 535, Universität Stuttgart, 2000, München.
- DIN (2001): DIN 18740-1: Anforderungen an Bildflug und analoges Luftbild. Deutsches Institut für Normung e. V., 2001, Beuth Verlag, Berlin.
- DOUGLAS, D., PEUCKER, T.K. (1973): Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Line or its Caricature. *The Canadian Cartographer*, Volume 10 (2), 112 - 123, Toronto.
- FÖRSTNER, W. (1982): On the Geometric Precision of Digital Correlation, *Proceedings ISPRS Symposium Commission III*, Vol. 24, Part 3, 176-189.
- FÖRSTNER, W. (1986): A feature based correspondence algorithm for image matching, *Proceedings ISPRS Symposium Commission III*, Vol. 26, Part 3/3, pp. 150-166.
- GEUDEKE, P.-W. (1992): Die topographische Landesaufnahme in den Niederlanden. *Kartographisches Taschenbuch*, 33 - 52, Kirschbaum Verlag, 1992, Bonn.
- GÖPFERT J., ROTTENSTEINER F., HEIPKE C. (2011): Using snakes for the registration of topographic road database objects to ALS features. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* Vol. 66, Nr. 6, p. 858-871.
- GOMILLE, U. (2008): *Niedersächsisches Vermessungsgesetz. Kommentar*, Kommunal- und Schul-Verlag, 2008, Wiesbaden.
- GOTTSCHALK, H.-J. (1973): The Derivation of a Measure for the Diminished Content of Information of Cartographic Lines Smoothed by Means of a Gliding Arithmetic Mean. *Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen*, Reihe II, Heft 30, 1973, Frankfurt a.M.
- GÜNAY, A., AREFI, H., HAHN, M. (2007): True Orthophoto Production Using LIDAR Data. Joint Workshop "Visualization and Exploration of Geospatial Data", *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVI – 4/W45.
- 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.
- HAKE, G., GRÜNREICH, D., MENG, L. (2002): *Kartographie*, de Gruyter Lehrbuch, 8. Auflage, 2002, Berlin, New York.

- HARBECK, R. (1996): Das ATKIS®-Systemdesign in der Entwicklung. In: Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz (Hrsg.), Das Geoinformationssystem ATKIS® und seine Nutzung in Wirtschaft und Verwaltung, 185 - 192, 1996, Koblenz.
- HELMHOLZ P., BECKER C., BREITKOPF U., BÜSCHENFELD T., BUSCH A., BRAUN C., GRÜNREICH D., MÜLLER S., OSTERMANN J., PAHL M., ROTTENSTEINER F., VOGT K., ZIEMS M., HEIPKE C. (2012): Semi-automatic Quality Control of Topographic Data Sets. *Photogrammetric engineering & Remote Sensing* 78 (9):959–972.
- 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.
- HOFFMANN, K. (2010): Webmapping 2.0 mit freier Software und freien Daten. *Tagungsband FOSSGIS 2010*, 39 - 45, Osnabrück.
- JACOBSEN, K. (2014): Development of large area covering height model. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-4, 105-110.
- 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., SCHLEYER, A., UEBERHOLZ, R. (1998): AdV-Konzept für die integrierte Modellierung von ALKIS® und ATKIS®. *ZfV*, Heft 6/1998, 176 - 193, Wittwer-Verlag, Stuttgart.
- JÄGER, E. (2000): ATKIS® – Modell- und kartographische Generalisierung. *Schriftenreihe des DVW*, Band 39/2000, 23 - 29, 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.
- KUMMER, K., MÖLLERING, H. (2005): *Vermessungs- und Geoinformationsrecht Sachsen-Anhalt, Kommentar*, Kommunal- und Schul-Verlag, 2005, Wiesbaden.

- KOCH, A., HEIPKE, C. (2006): Semantically correct 2.5D GIS data - The integration of a DTM and topographic vector data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* Vol. 61, Nr. 1, p. 23-32.
- KONECNY G. (2013): The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Study on the Status of Mapping in the World, International Workshop on "Global Geospatial Information", p. 4-24, www.isprs.org/proceedings/2013/Global_Geospatial_Information/Default.aspx.
- KRAUSS, K. (2004): *Photogrammetrie*, de Gruyter, Berlin, 7. Auflage.
- LI, H. (2006): Design and Implement a Cartographic Client Application for Mobile Devices Using SVG Tiny and J2ME. M.Sc. Thesis, 2006, FHS Stuttgart.
- LOWE, D. G. (2004): Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints, *International Journal of Computer Vision*, 60, 2, pp. 91-110, 2004.
- 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.
- 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.
- PODRENEK, M. (2003): Automationsgestützte Ableitung des ATKIS®-DLM50 und der DTK50 aus dem ATKIS®-Basis-DLM. *Kartographische Schriften*, Band 7, 171 - 176, 2004, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- ROTTENSTEINER, F.; SOHN, G.; GERKE, M.; WEGNER, J. D.; BREITKOPF, U. & JUNG, J. (2014): Results of the ISPRS benchmark on urban object detection and 3D building reconstruction. *ISPRS Journal for Photogrammetry and Remote Sensing*, available online: <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.10.004>.
- 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. *Kartographische Schriften*, Band 9, 158 - 166, 2004, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- SCHÜRER, D. (2008): Das AdV-Projekt ATKIS®-Generalisierung – Digitale Landschaftsmodelle und Karten aus dem Basis-DLM. *Kartographische Nachrichten*, Heft 4/2008, 191 - 199, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- SESTER, M. (2008): Multiple Representation Databases. In: *Advances in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Li, Z.; Chen, J.; Baltsavias, E. (Hrsg.), Taylor and Francis Group, 2008, London.

SESTER, M., HAUNERT, J.-H., ANDERS, K.-H. (2008): Modell- und kartographische Generalisierung von topographischen und thematischen Informationen. Kartographische Nachrichten, Heft 6/2008, 307 - 314, Kirschbaum Verlag, Bonn.

SITHOLE, G. (2005): Segmentation and Classification of Airborne Laser Scanner Data, Dissertation, TU Delft, 146p.

STOTER, J.E. (2005): Generalisation: The Gap between Research and Practice. Proceedings, 8th ICA workshop on generalisation and multiple representation, 7-8 Juli 2005, La Coruna.

TORGE, W. (2007): Geschichte der Geodäsie in Deutschland. W. de Gruyter, 2007, Berlin, New York.

WODTKE, K.-P. (2004): Die neue DTK50 – Umsetzung des AdV-Konzepts in Niedersachsen. Kartographische Schriften, Band 9, 171 - 184, 2004, Kirschbaum Verlag, Bonn.

7.9.2 Internetverweise

ASTRIUM-GEO (2014): Airbus Defence & Space, <http://www.astrium-geo.com>, Suresnes, Frankreich.

BEV (2014): Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen Österreich, www.bev.gv.at, Wien, Österreich.

BKG (2014): Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, www.bkg.bund.de, Frankfurt a.M.

DECOVER 2 (2014): Dienstekonzept zur Aktualisierung von harmonisierten Landbedeckungsinformationen, www.de-cover.de, Münster.

DEUTSCHLAND ONLINE (2009): Deutschland Online, <http://www.do-viewer.nrw.de>, Bonn.

DLR (2014): Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, www.dlr.de, Köln

EOWEB (2014): Earth Observation on the Web des DLR, eoweb.dlr.de, Weßling.

GDZ (2014): Geodatenzentrum des BKG, www.geodatenzentrum.de, Leipzig.

GEOBASIS.NRW (2014): TIM-online. <http://www.tim-online.nrw.de/tim-online/nutzung/index.html>, 2014, Bonn-Bad Godesberg.

GEOGLIS (2014): <http://onmaps.de>, Eckernförde.

GOOGLE (2014): <http://earth.google.de>, Hamburg.

IGN (2014): Institut national de l'information géographique et forestière, <http://professionnels.ign.fr>, Saint-Mandé, Frankreich.

INTERMAP (2014): Intermap Technologies, www.intermap.com, USA, Englewood.

LGL BADEN-WÜRTTEMBERG (2009): Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung. <http://www.lv-bw.de>, Stuttgart.

LGN (2009): Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen. www.lgln.niedersachsen.de, Hannover.

LGLN (2014): Geodatenportal Niedersachsen. www.geodaten.niedersachsen.de, 2010, Hannover.

MICROSOFT (2014): <http://maps.live.de/>.

NOLIS (2014): Nolis GmbH. Mittelweser Navigator, <http://www.mittelweser-navigator.de/>, 2014, Nienburg.

OGC (2002): Open Geospatial Consortium. Web Map Service sowie Web Feature Service Implementation Specification, <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>.

OPENSTREETMAP (2014): <http://www.openstreetmap.de>, Hamburg.

ORDNANCE SURVEY (2014): Ordnance Survey, www.ordnancesurvey.co.uk, Southampton, Großbritannien.

SWISSTOPO (2014): Bundesamt für Landestopographie - Swisstopo, www.swisstopo.admin.ch, Wabern, Schweiz.

LVERMGEO THÜRINGEN (2009): Landesamt für Vermessung und Geoinformation. <http://www.thueringen.de/de/tlvermgeo/landesvermessung/karten/landeskartenwerke/content.html>, Erfurt.