

# 3D-Geobasisinformationen

Birgit Elias

## Zusammenfassung

In dem folgenden Beitrag werden die Geobasisdaten der niedersächsischen Landesvermessung aus dem Bereich der Photogrammetrie und Geländemodellierung vorgestellt. Durch die aktuellen Weiterentwicklungen in der digitalen Photogrammetrie entstehen neue Produkte, welche das bisher bekannte Angebot um zusätzliche 3D-Geobasisdaten erweitern. Neben einem allgemeinen Überblick über das klassische Angebot von Orientierten Luftbildern, Digitalen Orthophotos und Digitalem Geländemodell sollen vor allem die neuen Produkte Digitales Oberflächenmodell sowie die 3D-Gebäudemodelle LoD1 der niedersächsischen Landesvermessung vorgestellt werden. Der Beitrag schließt mit einem Ausblick auf die Planungen zur Erzeugung und Bereitstellung von 3D-Gebäudemodellen im LoD2 ab.

## Summary

*This paper gives an overview of the products of the national mapping agency of Lower Saxony regarding photogrammetric processing and digital elevation modelling. Because of developments in digital photogrammetry new products arise which widen the scope to 3D geospatial reference data.*

*Besides the general introduction into the customary photogrammetric products like digital aerial image, digital ortho-image and digital terrain model, the paper focuses upon the new 3D-products digital surface model and 3D-building models (in level of detail 1) of the national mapping agency of Lower Saxony. The publication concludes with the future approach to process 3D-building models in level of detail 2.*

**Schlüsselwörter:** Photogrammetrie, 3D-Gebäudemodelle, Digitales Oberflächenmodell (DOM)

## 1 Einleitung

Laut Definition der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder (AdV) werden Daten des amtlichen Vermessungswesens, welche die Landschaft, die Liegenschaften und den einheitlichen geodätischen Raumbezug anwendungsneutral nachweisen und beschreiben, als Geodaten bezeichnet. Sie sind Grundlage für Fachanwendungen mit Raumbezug (AdV 2005). Die Definition von Geobasisdaten in der Praxis war dabei bisher hauptsächlich geprägt von der Nutzerperspektive: Es handelt sich um 2D- oder maximal 2,5D-Geodaten, die angereichert mit weiteren Fachinformationen und Attributen in Geoinformationssystemen verarbeitet und üblicherweise in Form einer Kartenansicht präsentiert werden können. Als Geobasisdatenbestand der Liegenschaften steht dabei ALKIS® (Amtliches Liegenschaftskataster-

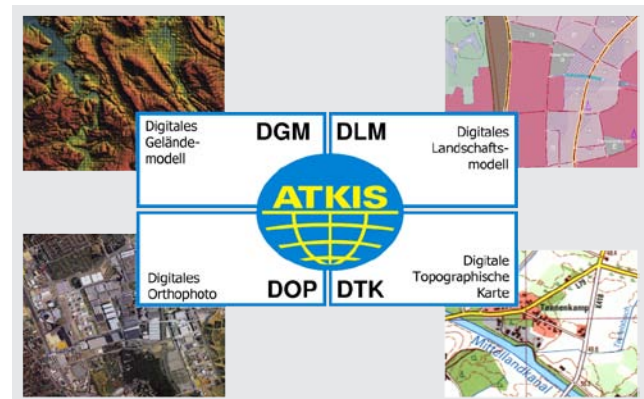


Abb. 1: Die ATKIS®-Produkte der AdV

informationssystem) zur Verfügung, das auf der Basis von Flurstücken und ihren Eigentümern eine Verknüpfung und damit Auswertung mit anderen Fachinformationen ermöglicht. Die Geobasisdaten der Landschaft spiegeln sich wider in der ATKIS® (Amtlich Topographisch-Kartographisches Informationssystem)-Produktpalette mit ihren Einzelprodukten Digitale Landschaftsmodelle (DLM) und Digitale Topographische Karten (DTK) in vorkonfektionierten Erfassungs- und Darstellungsmaßstäben, aber auch Digitalen Orthophotos (DOP) und Digitalen Geländemodellen (DGM), deren Verwendungsmaßstäbe sich über ihre geometrische Auflösung oder Rasterdichte definieren (s. Abb. 1).

Ausgelöst durch die rasante Weiterentwicklung der EDV-Möglichkeiten, hat sich in den letzten ca. 15 Jahren der Bedarf nach der Darstellung und Analyse der dritten Dimension in der Geoinformatik entwickelt. Mit der zunehmenden Fähigkeit der PC-Prozessoren sowie Grafikkarten, adäquate und performante 3D-Visualisierungen zu generieren, steigt das Bedürfnis und die Anspruchshaltung der Datennutzer, ihre Welt virtuell dreidimensional zur Verfügung zu haben. Anfangs schien sich die Hauptanwendung von 3D-Geodaten auf einer möglichst realitätsnahen Visualisierung der Landschaft und Städte zur reinen Exploration der Gebiete zu beschränken, wie es besonders für städtische Gebiete beispielsweise in Google Earth (Google 2012) der Fall ist. Heute dient die Visualisierung von 3D-Modellen unter anderem zur Kommunikation städtischer Planungsszenarien und ist Darstellungsplattform in Navigationsanwendungen. Daneben kommen aber auch 3D-Analysen zur Anwendung, bei denen die möglichst »hübsche« oder realitätsnahe Darstellung der Daten zu vernachlässigen ist. So können 3D-Stadtmodelle zur Ableitung einer Lärmschutzkartierung herangezogen werden (z.B. Czerwinski et al. 2007) oder die Berechnung der Volumina von 3D-Gebäuden dient zur Abschätzung von Wärmebedarfen für die Energieversorgung (Strzalka et al. 2011).

Dass der Photogrammetrie mittels der stereoskopisch auswertbaren Luftbilddaten schon immer originär dreidimensionale Daten der Landschaft zur Verfügung gestanden haben, hat bisher in diesem Zusammenhang

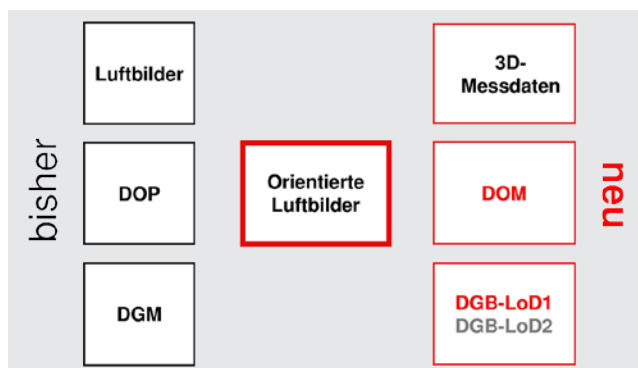


Abb. 2: Die Produkte der Photogrammetrie

wenig Beachtung gefunden. In der klassischen Produktpalette mit Luftbild, Digitalem Orthophoto (DOP) und Digitalem Geländemodell (DGM) – das z.B. durch eine photogrammetrische Auswertung von Luftbilddaten erzeugt sein kann – spiegelt sich diese Charakteristik für den Anwender nur wenig transparent wider. Der ursprüngliche Zweck der Luftbilddaten war es, als Erstellungs- oder Fortführungsgrundlage von Topographischen Karten zu dienen. Daher sind die originären »3D-Luftbilder« (Luftbild-Stereomodelle) seit jeher in ihrer Dimensionalität geschrumpft worden: Entweder werden sie in eine 2D-Kartenprojektion (Orthophoto) entzerrt oder sie werden hinsichtlich der Geländeoberfläche im Rahmen einer photogrammetrischen Stereoauswertung individuell ausgewertet und inhaltlich reduziert, um aus diesen 3D-Messdaten (Geländekoten und Strukturen) ein 2,5D-Digitales Geländemodell abzuleiten (s. Abb. 2, links).

Inzwischen ergeben sich durch die fortschreitende Weiterentwicklung in der digitalen Verarbeitungstechnik und den Auswertalgorithmen neue Möglichkeiten. Früher waren hochspezialisierte technische Geräte für die photogrammetrische Auswertung von Bildmaterial erforderlich, die mit extrem hohen Anschaffungskosten verbunden waren und aus diesem Grund ein Exklusivdasein bei Spezialisten genossen. Heute ist es möglich, »normale« Computerarbeitsplätze mit speziellen Monitoren, leistungsfähigen Grafikkarten sowie photogrammetrischen Softwarepaketen zu einer vollwertigen digitalen photogrammetrischen Auswertestation auszubauen (z. B. Planar-System). Die Anschaffungskosten liegen zurzeit bei ca. 10.000 Euro pro Arbeitsplatz und sind damit im Vergleich zu früher als gering einzustufen.

Ebenso sind auf der Seite der Auswertetechniken rasante Entwicklungen zu verzeichnen. In den letzten Jahren ist die Photogrammetrie durch die Anpassung eines Algorithmus der digitalen Bildverarbeitung auf die Fragestellungen der Photogrammetrie revolutioniert worden. Dieses Verfahren namens Semi-Global Matching (Hirschmüller 2008) ermöglicht völlig neue Produkte

auf Basis der »althergebrachten« Luftbilder: Die vollautomatische Auswertung von digitalen Stereomodellen (jeweils zwei zueinander orientierte Luftbilder) mittels sogenannter digitaler Bildkorrelation ermöglicht die Generierung von Digitalen Oberflächenmodellen (DOM), die in Niedersachsen als Basis für die Ableitung von Digitalen Gebäudemodellen der Detaillierung Level of Detail 1 (DGB-LoD1) und zukünftig auch des Level of Detail 2 (DGB-LoD2) herangezogen werden.

Im weiteren Verlauf des Beitrags soll detailliert auf diese einzelnen Produkte eingegangen werden, in deren Zentrum das Orientierte Luftbild als gemeinsame Datenbasis für alle Produkte steht (s. Abb. 2).

## 2 Womit alles beginnt: das ATKIS®-Bildflugprogramm

Alle Bundesländer führen ein ATKIS®-Bildflugprogramm durch, aus dem folgt, in welchen Zyklen für welche Gebietsteile des Landes Luftbilddaten erhoben werden. Der früher übliche 5-Jahresturnus der Bildflüge ist in Niedersachsen seit 2011 auf einen 3-Jahresturnus verkürzt worden. Hintergrund sind EU-Vorgaben, die für die Kontrolle von landwirtschaftlichen Fördermitteln als Erfassungsgrundlage Digitale Orthobilder vorschreiben, die in einer Aktualität geringer als fünf Jahre vorliegen müssen. Durch den Zeitverzug, der sich aus der erforderlichen Weiterverarbeitungskette der Luftbilddaten ergibt, wird in Niedersachsen ein 3-Jahres-Bildflugzyklus als notwendig erachtet. Damit ist jährlich eine Fläche von 17.000 km<sup>2</sup> mit neuem Bildmaterial abzudecken und die Folgeprodukte wie DOP sind daraus abzuleiten (s. Abb. 3). Andere Bundesländer haben sich sogar für kürzere Bildflugzyklen entschieden, um die Aktualität der Bilddaten für ihre Kunden steigern zu können (Jäger 2011).

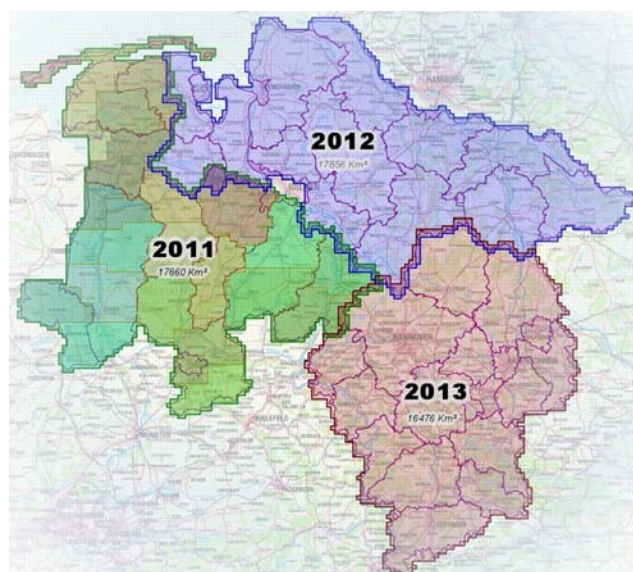


Abb. 3: Das ATKIS®-Bildflugprogramm 2011–2013 in Niedersachsen

In Niedersachsen erfolgt die Luftbildbefliegung normalerweise als Frühjahrsbefliegung zwischen März und Mai und wird inzwischen ausschließlich mit digitalen Luftbildkmerasensoren durchgeführt. Die räumliche Abgrenzung der einzelnen Bildflüge orientierte sich bis 2007 an den Blattsnitten der Topographischen Karten, da die Bilddaten die entscheidende Datenquelle für die Fortführung der Daten sind. Seit 2007 erfolgt der Zuschnitt auf Basis der Landkreisgrenzen, um die Vermarktungschancen der Daten bei externen Kunden wie z. B. Kommunen zu verbessern. Die jährliche Befliegungsfläche untergliedert sich in 20 bis 25 einzelne Bildfluggebiete. Die Befliegung wird durch externe Bildflugfirmen durchgeführt, die sich im Rahmen eines Vergabeverfahrens auf Lose bewerben, wobei ca. vier räumlich zusammenliegende Bildflüge ein Los bilden.

Beginnend mit dem Bildflug in 2007 ist auch die Auflösung der Bilddaten von 40 cm pro Pixel (d. h. ein Bildpixel repräsentiert eine Bodenfläche von  $40 \times 40 \text{ cm}^2$ ) auf 20 cm pro Pixel erhöht worden. Die Verdopplung der Auflösung bedeutet für die weitere Bearbeitung, dass die vierfache Menge an Daten qualitätsgeprüft, in andere Produkte weiterverarbeitet und archiviert werden muss. Solange die Daten aktuell in der Bearbeitung sind, werden diese unkomprimiert vorgehalten. Sobald die Bilddaten durch einen neuen Bildflug historisch werden, erfolgt eine verlustfreie Kompression des Datenmaterials für die Langzeitspeicherung, um den benötigten Speicherplatz zu minimieren. Dies bedeutet für die Langzeitspeicherung des digitalen Bildmaterials inklusive der jeweiligen Digitalen Orthophotos, dass für die neuen Daten jährlich ungefähr elf TeraByte Datenspeicherplatz vorgehalten werden müssen.

Zudem wird das Bildmaterial inzwischen mit einer Längsüberdeckung von 80% statt früher 60% und einer Querüberdeckung von 30% erzeugt, da es für die Folgeanwendungen geometrische Genauigkeitsvorteile bringt.

### 3 Der Dreh- und Angelpunkt: Orientierte Luftbilder

Die notwendigen Parameter zur Wiederherstellung der dreidimensionalen Position und Ausrichtung eines Luftbildes im Raum werden in der Photogrammetrie als Orientierung bezeichnet. Dabei wird unterschieden zwischen innerer Orientierung – den Einflussfaktoren des Kamerasensors – und äußerer Orientierung, welche die Konfiguration des Aufnahmesystems im Raum durch Koordinaten und Drehwinkel beschreibt. Digitale Luftbilder, denen die Parameter der Orientierung als Informationen mitgeliefert werden und die damit photogrammetrisch, also stereoskopisch auswertbar sind, werden in Niedersachsen unter der Bezeichnung Orientiertes Luftbild als Produkt zur Verfügung gestellt.

Im AdV-Standard für Digitale Luftbilder des amtlichen deutschen Vermessungswesens werden dabei unterschiedliche Genauigkeitsklassen der Orientierung definiert. Die ungenaueste Orientierung ist die Bereitstellung einer (genäherten) Bildmitte, die mit überschaubarem Aufwand für die historischen, nachträglich gescannten analogen Luftbilder erzeugt werden kann. Die aktuellen, digitalen Bilddaten der letzten Jahre bekommen ihre Orientierung bereits direkt während des Bildflugs durch die Orientierungskomponenten GPS und INS (Inertiales Navigationssystem) bestimmt. Diese Messwerte werden im späteren Auswerteprozess durch die Ausgleichung im Rahmen der Bündelblockausgleichung noch verbessert und führen zu der höchsten Genauigkeitsklasse. Die Genauigkeitsangaben werden als Vielfaches der Bodenauflösung angegeben und reichen von dreifacher Bodenpixelgröße für die direkte Orientierung (aus dem Bildflug) bis zu zwei- oder einfacher Bodenpixelgröße für die Orientierung nach der Aerotriangulation (AdV 2010).

Kunden dieses Produktes sind meist Ingenieurbüros, die im Auftrag von Kommunen spezielle 3D-Fachdaten direkt aus den Bilddaten digitalisieren. Es ist ein großer Vorteil, dass die Orientierten Luftbilder hochaktuell zur Verfügung gestellt werden können. Die Bildflugfirmen benötigen sechs bis acht Wochen für die Nachprozessierung des Bildflugmaterials nach der Befliegung. Nach der Übergabe der Daten an die Landesvermessung werden diese qualitätsgeprüft und können dann bereits wenige Tage später an den Kunden in der Genauigkeit dreifache Bodenpixelgröße ausgeliefert werden.

### 4 Das klassische Produkt: Digitale Orthophotos (DOP)

Das Orthophoto ist ein Luftbild, dessen Inhalt auf eine Kartenebene in einer orthogonalen Projektion umgerechnet worden ist. Die Notwendigkeit, Luftbilder zu Orthophotos entzerren zu müssen, liegt in der Aufnahmegeometrie der Kamerasensoren begründet. Eine Kamera funktioniert mit dem Prinzip der Zentralprojektion: Alle Lichtstrahlen werden in einem Punkt (der Linse, dem Projektionszentrum) gebündelt. Kartendarstellungen wie z. B. die Topographischen Karten repräsentieren eine maßstäbige Verkleinerung der Erdoberfläche und stellen eine orthogonale Projektion dar. Daraus folgt für den Einsatz von Luftbildern zur Überlagerung mit Kartendaten, dass die perspektivische Verzerrung von Objekten berücksichtigt werden muss. Diese Verzerrung ist umso größer, je weiter das Objekt vom Bildzentrum entfernt ist (Einfluss der Perspektive) und je höher das Objekt über der Abbildungsebene liegt (s. Abb. 4).

Daraus folgt, dass für eine fehlerfreie Umbildung eines Luftbildes in ein Orthophoto die Höheninformationen aus dem Digitalen Geländemodell (DGM) als Repräsentation des Geländes in die Entzerrung einfließen. Aus diesem

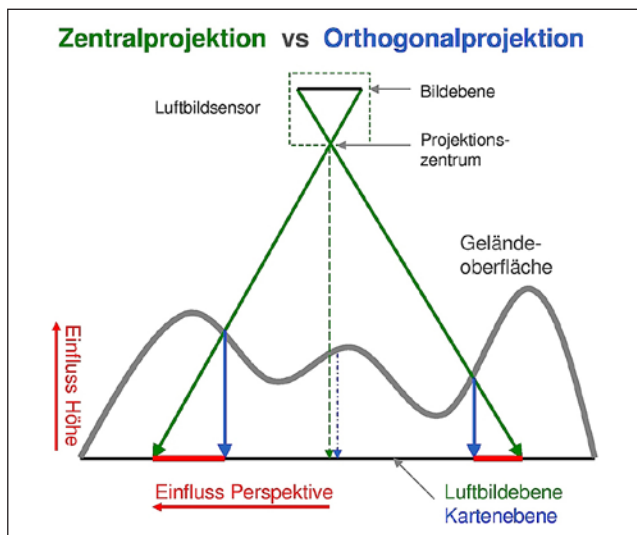


Abb. 4: Perspektivische Verzerrung bei Luftbildern

Grund sind die Arbeitsbereiche der Photogrammetrie und der Geländemodellierung in der Landesvermessung auch so eng verzahnt: Auf der einen Seite braucht die Photogrammetrie das DGM als Grundlage für die Orthophotoproduktion. Auf der anderen Seite werden für die Berechnung des DGM 3D-Messdaten erfasst, die größtenteils durch die photogrammetrische Auswertung von Orientierten Luftbildern entstehen.

Mit der Steigerung der Auflösung auf 20 cm in den Bilddaten ist der Einfluss des DGM auf die geometrische Qualität der Orthophotos deutlicher sichtbar geworden. Höhenobjekte, die nicht im DGM modelliert sind, führen zu einer Verzerrung dieser Objekte im Orthophotoprodukt. Ein Beispiel sind Brückenbauwerke, die bei der höheren Auflösung im DOP deutlich erkennbar »schlingern«, wenn sie im DGM nicht gesondert erfasst worden sind (s. Abb. 5). Aus diesem Grund werden die 3D-Messdaten für die DGM-Ableitung in Niedersachsen um diese Brückenbauwerke ergänzt.

Die Prozessierung der DOP erfolgt im Anschluss an die Aerotriangulation (Bündelblockausgleichung) eines gesamten Bildflugs, bei der die Orientierungsparameter der Luftbilder durch einen Ausgleichsprozess hochgenau bestimmt werden. Um die Datendimensionen zu verdeutlichen, dazu hier ein Zahlenbeispiel: Ein Landkreis mit ca. 760 km<sup>2</sup> Fläche wird von 13 Bildflugstreifen mit 1100 Luftbildern abgedeckt. Ein einziges digitales Luftbild umfasst ungefähr 800 MegaByte (4-Kanal Bild), dies bedeutet, in einem einzigen Ausgleichsprozess müssen ca. ein TeraByte an Daten prozessiert werden.

Die Bearbeitungszeit für einen Bildflug mit Aerotriangulation, Prozessierung der DOP und anschließender Nachbearbeitung der Orthophotos (geometrische Prüfungen, wie z. B. Brücken und radiometrische Anpassungen) liegt bei ungefähr vier Wochen. Obwohl mehrere Bildflüge parallel ausgewertet werden, dauert die vollständige Auswertung aller Luftbilder etwa ein Jahr. So ist es unumgänglich, dass die Orthophotos einiger Bildfluggebiete erst gut ein Jahr nach Befliegung an den Kunden ausge-

liefert werden können. Um diesen Zeitraum zu verkürzen, werden in Niedersachsen sogenannte PrimärDOPs mit eingeschränkter Qualität zur Verfügung gestellt, welche später durch das reguläre ATKIS®-DOP als Endprodukt ersetzt werden. Die PrimärDOPs werden automatisch berechnet und stehen dann wenige Tage, nachdem der Arbeitsprozess der Aerotriangulation durchgeführt worden ist, zur Verfügung.

Viele Kunden, die Orthophotos nutzen, haben heute bereits Bedarf an einer höheren Bildauflösung von 10 bis 8 cm pro Pixel. Die Landesvermessung in Niedersachsen hat sich entschieden, diesem Kundenwunsch nicht mit einem flächendeckenden Produkt zu folgen, da dies neben den höheren jährlichen Bildflugkosten auch (bei Verdoppelung der Auflösung auf 10 cm) eine vierfache Datenmenge zur Qualitätsprüfung, Prozessierung und Archivierung zur Folge hätte. Dies ist mit den aktuellen Personalkapazitäten nicht zu leisten. Stattdessen werden den Kunden in Niedersachsen Kooperationen für die Bildflugbeschaffung angeboten, durch die eine koordinierte Beschaffung von Luftbilddaten in Niedersachsen erzielt werden soll. Dabei kann eine solche Kooperation zur Beschaffung spezifischer Geobasisdaten in unterschiedlicher Tiefe ausgestaltet sein: Im einfachsten Fall nimmt ein Kunde am Vergabeverfahren des regulären ATKIS®-Bildflugprogramms teil und spart durch den gemeinsamen Großauftrag Kosten bei der Beschaffung. Dabei ist es für die Landesvermessung kein Problem, die Kundenwünsche bezüglich höherer Bildauflösungen zu berücksichtigen. In komplexeren Kooperationen können zusätzliche Sonderleistungen wie die Qualitätsprüfung der Bilddaten, Prozessierung von DOPs oder auch die Beschaffung von Laserscan-Daten vereinbart werden.



Abb. 5: Problemfall »Schlingernde Brücken« in DOP. Oben: Orthophoto aus DGM ohne modellierte Brücken. Unten: Orthophoto aus DGM mit modellierten Brücken

## 5 Auf dem Weg in die Dritte Dimension: Digitale Höhenmodelle

Das klassische digitale Standardprodukt zur Beschreibung der topographischen Höhen ist das Digitale Geländemodell als Repräsentation der Geländeoberfläche. Früher durch photogrammetrische Auswertung oder mühsam durch Topographen im Außendienst (vor allem bei Wald-

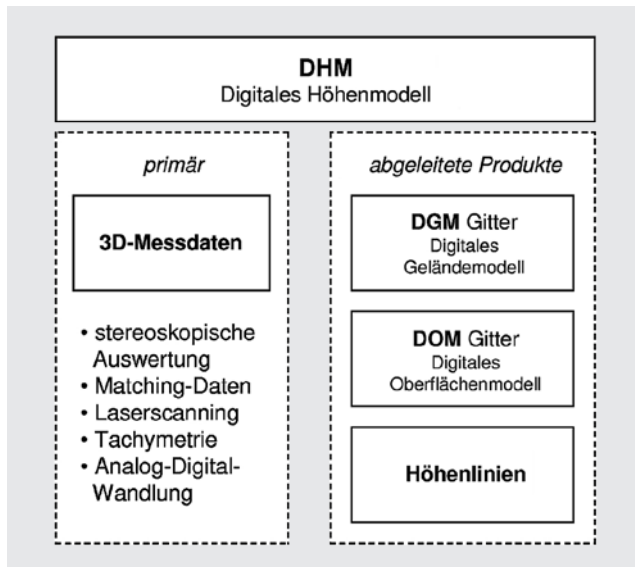


Abb. 6: Abgrenzung der Begriffe 3D-Messdaten, DGM und DOM

gebieten) erfasst, sind die Geländedaten heute durch Befliegung mit Laserscannern sehr einfach – aber leider teuer – großflächig zu beschaffen.

Der Vermessungs- und den anderen Fachverwaltungen in Niedersachsen ist es aufgrund des langjährigen Sparkurses der Landesregierung bisher nicht gelungen, die Politik von der flächendeckenden Beschaffung von Laserscanning-Daten zu überzeugen. Aus diesem Grund ist Niedersachsen inzwischen das einzige Bundesland, das diese Daten nicht zur Verfügung hat und daher nicht zur Erzeugung von Digitalen Geländemodellen (DGM) und Digitalen Oberflächenmodellen (DOM) einsetzen kann.

Nach den aktualisierten Begriffsdefinitionen der AdV sind DGM und DOM aus 3D-Messdaten abgeleitete Produkte, deren Qualität oder Datenaufösung sich über ein Gitter definiert. So beinhaltet das DGM25 Höhendaten mit 25m Rasterweite. Die primären Höhendaten werden als 3D-Messdaten bezeichnet und sind originäre, unregelmäßig verteilte Messpunkte sowie linien- und flächenhafte Strukturen der topographischen Situation inklusive dauerhaft mit der Erdoberfläche verbundener Objekte oder auch temporär zum Erfassungszeitpunkt dort vorhandene Gegenstände (AdV 2012). Damit sind 3D-Messdaten eine Ansammlung von Rohdaten, die mittels unterschiedlicher Erfassungsmethoden entstanden sein können: Strukturinformationen aus photogrammetrischer Auswertung, Ergebnisse tachymetrischer Vermessung sowie Laserscan- oder Matching-Punktwolken (s. Abb. 6).

### 5.1 3D-Messdaten zur Ableitung des DGM

Da Niedersachsen keinen aktuellen flächendeckenden Laserscan-Datensatz zur Verfügung hat, besteht das aktuelle DGM zu großen Teilen noch aus den Daten seiner Ersterfassung. Das vorhandene DGM des Landes Niedersachsen ist durch verschiedene Erfassungsmethoden über den Zeitraum der vergangenen 60 Jahre entstanden (s. Abb. 7). Für einen Großteil der Landesfläche sind immer noch die Ergebnisse der Analog-Digital-Wandlung von Höhenlinien aus der DGK5 (DGK = Deutsche Grundkarte) die Datengrundlage. Die Laserscan-Daten stammen

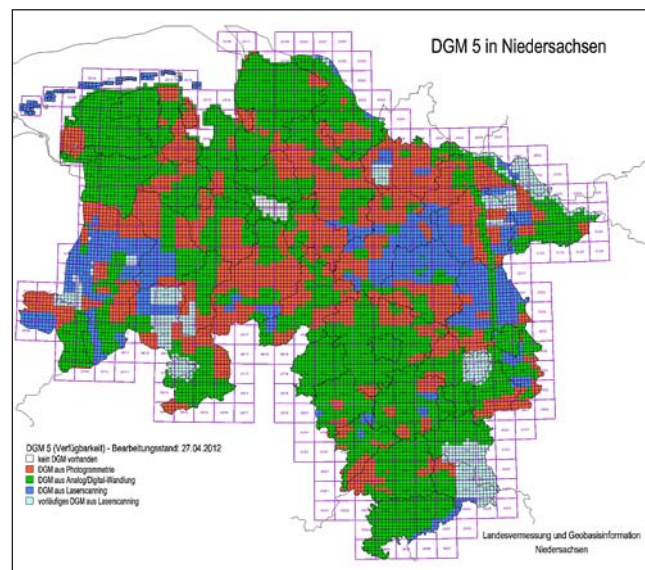


Abb. 7: Erfassungsgrundlage der 3D-Messdaten für das DGM in Niedersachsen (grün: Analog-Digital-Wandlung, rot: Photogrammetrie, blau: Laserscan-Daten, hellblau: ungeprüfte Laserscan-Daten)

dabei aus Projekten der 1990er Jahre. Im offenen Gelände beträgt die Höhengenaugigkeit dennoch  $\pm 0,5$  m.

Kleinräumig werden Aktualisierungen mittels Auswertungen von tachymetrischer Vermessung oder durch photogrammetrische Auswertung des aktuellen Bildflugmaterials vorgenommen. Allerdings werden die vorhandenen Personalkapazitäten im DGM-Bereich derzeit für die Vorarbeiten zur DOP-Erzeugung eingesetzt, also zur Modellierung der Brücken und DOP-relevanten Objekte durch photogrammetrische Auswertung am Planar-System. Eine flächendeckende Aktualisierung des Datenbestandes ist zurzeit wegen der knappen Ressourcen nicht möglich.

### 5.2 3D-Messdaten zur Ableitung von DOM

Das Digitale Oberflächenmodell (DOM) repräsentiert die Erdoberfläche mit allen darauf befindlichen Objekten wie Bebauung und Vegetation. Diese Daten sind von besonderem Interesse für die Modellierung von 3D-Stadtmodellen

oder – politisch zurzeit hochaktuell – zur Bestimmung von Solarpotenzialflächen.

Bei der Erzeugung von Laserscan-Daten werden mindestens zwei verschiedene Impulse aufgezeichnet, der sogenannte First-Pulse (erste Reflexion) und der Last-Pulse (letzte Reflexion) des Lasersignals. Durch Nachbearbeitung der Rohdaten mit Filtertechniken können die beiden Signale getrennt klassifiziert werden. Die Last-Pulse-

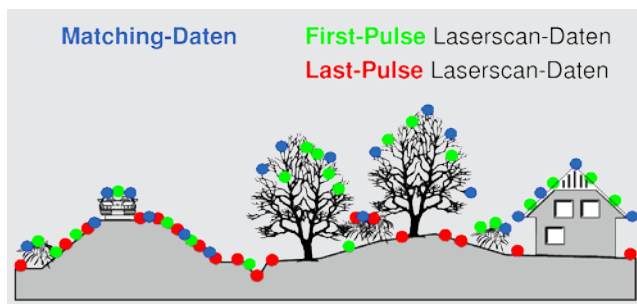


Abb. 8: Unterschied Matching-Daten zu Laserscan-Daten

Daten sind dabei die Rohdaten, die zur Generierung von DGM-Daten herangezogen werden, und die First-Pulse-Daten dienen zur Ableitung von DOM.

Durch den Einsatz des Semi-Global Matching Ansatzes in der Photogrammetrie können inzwischen Oberflächen-daten direkt aus den Orientierten Luftbildern mittels voll-automatischer Prozessierung erzeugt werden. Dabei gibt es Unterschiede in den Inhalten der Daten im Vergleich zu den Laserscan-Daten, die in Abb. 8 dargestellt sind. Matching-Daten sind reine Oberflächendaten, bei denen es unter Vegetationsobjekten keine zusätzlichen Bodenpunkte gibt.

Beim Semi-Global Matching Ansatz (Hirschmüller 2008), der für die Erzeugung von Matching-Daten eingesetzt wird, handelt es sich um einen Algorithmus der digitalen Bildkorrelation. Ein festgelegter, kleiner Bildbereich wird als Muster definiert. Es wird geprüft, ob dieses Muster auch in anderen Bildern (die räumlich benachbart liegen) wiederzufinden ist. Die Identität der Muster wird dabei über Korrelationstests in den Farb- und Intensitätswerten der Bildpixel bestimmt. Da als Eingangsdaten die Orientierten Luftbilder verwendet werden, weisen gleiche Muster in unterschiedlichen Einzelbildern eine Horizontalparallaxe auf, die (ebenso wie bei der photogrammetrischen Auswertung) ein Maß für die Höhe des Objektes ist. Bei einer vollständigen Implementierung dieses Ansatzes kann so für jedes Pixel im Bild eine Höhe prozessiert werden. Die Ergebnisse sind qualitativ umso besser, je höher die Überdeckungsbereiche der Bilder sind. Daher ist für die Ableitung von Matching-Daten aus Luftbild-daten eine Längsüberdeckung der Einzelbilder von 80% erforderlich. Aufgrund der Rechenkomplexität und Datenmenge sind für das Semi-Global Matching sehr leistungsstarke Rechner und viel Rechenzeit erforderlich. In der Praxis kann man die Ergebnisse dieses Verfahrens für ausgewählte Städte in den 3D Maps von Nokia betrachten (Nokia 2012).

Die photogrammetrischen Softwarepakete haben diesen Ansatz integriert und bieten die Möglichkeit, eine Punktwolke geringerer Dichte, z.B. mit 4 Punkten/m<sup>2</sup>, zu prozessieren, um die Rechenzeit zu verkürzen (z.B. das Softwarepaket Match-T (Inpho 2012)). Niedersachsen stellt für alle Luftbilddaten seit der Befliegung von 2011 die Matching-Daten in einer Dichte von 4 Punkten/m<sup>2</sup> zur Verfügung. Dieser Datenbestand wird Ende 2013 landesweit flächendeckend vorliegen.

In Niedersachsen wird das Anwendungspotenzial dieser Matching-Daten als Alternative zu den nicht verfügbaren Laserscan-Daten detailliert untersucht. So sind die Daten bereits Grundlage für die Bereitstellung der Gebäudehöhe zur Generierung von 3D-Gebäudemodellen. Aber auch externe Kunden sind an diesem neuen Produkt interessiert: Erste Firmen nutzen diese Datengrundlage als Alternative zu den Laserscan-Daten, um Solarpotenzialflächen von Gebäudedächern zu bestimmen und ein Solarpotenzialkataster abzuleiten (ISIS 2012).

## 6 Die virtuelle Stadt: 3D-Gebäudemodelle

Im Internet existieren eine Reihe von frei verfügbaren Anwendungen wie Google Earth (Google 2012), Nokia Maps (Nokia 2012) und Bing Maps 3D (Microsoft 2012), in denen durch 3D-Stadtmodelle frei navigiert werden kann. Durch den zunehmenden Bekanntheitsgrad dieser Anwendungen wächst auch das allgemeine Bewusstsein über die Möglichkeiten der 3D-Gebäudemodellierung. Neben dem reinen Vergnügen, sich in einer virtuellen Stadt zu bewegen, um diese zu explorieren, eröffnen sich Perspektiven für offene Fragestellungen der unterschiedlichsten Fachdisziplinen, die durch Nutzung solcher 3D-Gebäudemodelle bearbeitet werden können (Städteplanung, Lärmschutzkartierung, Energiesektor, Architektur).

Dabei ist, abhängig von der Fachanforderung, eine unterschiedlich feine Modellierung der Gebäude notwendig: Im einfachsten Fall wird das Gebäude als Klötzchen modelliert, bei dem die Grundfläche um die Gebäudehöhe nach oben gezogen wird. Dieses Modell ist der Level of Detail 1 (LoD1). In der nächsten Stufe, dem Strukturmodell (LoD2), erfolgt die Modellierung des Gebäudes zusätzlich mit einer Standarddachform. Es folgen noch das Architekturmodell (LoD3) sowie das Innenraummodell (LoD4) (Sig3D 2012).

Die AdV hat erkannt, dass 3D-Gebäudemodelle in den geringeren Detaillierungsstufen einer vielfachen Nutzung zugeführt werden können und daher als zentrale Grunddatenbestände von den Landesvermessungsämtern vorgehalten werden sollten (AdV 2009). Der Zeitplan für den Aufbau der Datenbestände sieht vor, dass bis Ende 2013 die bundesweit einheitliche Bereitstellung von 3D-Modellen im LoD1 erfolgen soll. In der zweiten Realisierungsstufe sollen 3D-Gebäudemodelle im LoD2 bereitgestellt

werden. Die Konkretisierung dieses Produkts soll aber erst nach 2013 erfolgen, wenn ALKIS® bundesweit eingeführt worden ist und die Integration der 3D-Gebäudemodelle in das AAA (AFIS®-ALKIS®-ATKIS®)-Konzept durch eine Erweiterung des bisherigen AdV-Fachschemas ermöglicht worden ist.

### 6.1 Digitale Gebäudemodelle – LoD1

In Niedersachsen erfolgt die Ableitung der Digitalen Gebäudemodelle (DGB)-LoD1 auf Basis der 3D-Messdaten aus Matching-Daten. Dazu wird der Gebäudegrundriss aus dem Kataster (ALKIS®) mit den Matching-Daten verschnitten. Die Höhe des Gebäudefirsts wird durch Mittelung der höchsten Punkte bestimmt (Ausreißer werden eliminiert), die sich in den Oberflächendaten innerhalb des Gebäudeumrings befinden. Die Höhe des Geländepunktes, auf dem das Gebäude aufsetzt, wird aus dem DGM übernommen (s. Abb. 9).

Die Daten können im AdV-CityGML Format, als 3DShape oder DXF zur Verfügung gestellt werden. Verfügbar sind zurzeit die Bildflugbereiche von 2011. Sobald für die neuen Bilddaten des Jahres 2012 die Matching-Daten abgeleitet worden sind, wird auch hierfür die Berechnung der DGB-LoD1 vorgenommen. Die verbleibenden Lücken schließen sich mit dem Bildflug 2013, sodass bis zum Jahresende 2013 für die gesamte Landesfläche von Niedersachsen Digitale Gebäudemodelle LoD1 verfügbar sein werden.

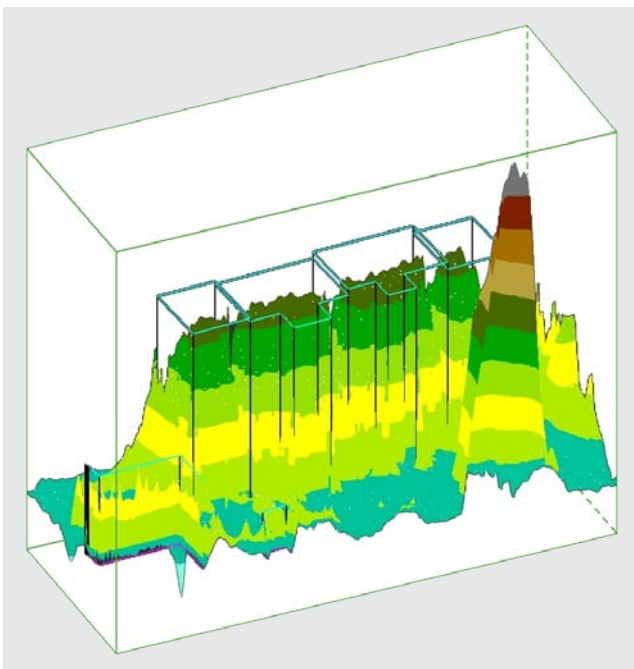


Abb. 9: Erzeugung LoD1-Gebäudemodelle (Matching-Daten sind als farbige Höhengschichten dargestellt, LoD1-Gebäude als Drahtgittermodell aus hellblauen (Grundfläche) und schwarzen Linien)

### 6.2 Ausblick auf Digitale Gebäudemodelle LoD2

Obwohl die AdV noch keine verbindliche Vorgabe für die Ausgestaltung des Produktes DGB-LoD2 gemacht hat, starten in Niedersachsen die Vorarbeiten für die Generierung der Daten. Ziel ist es, ein möglichst vollautomatisches Verfahren zu entwickeln und die manuellen Nacharbeiten an den Daten wegen der knappen Personalressourcen auf ein Minimum zu beschränken.

Die Kernfrage ist dabei, ob sich das Oberflächenmodell aus Matching-Daten qualitativ für die (voll-)automatische Erzeugung von LoD2-Gebäuden eignet. Die Standardprogramme zur 3D-Stadtmodellierung (z.B. Softwarepaket tridicon (GTA 2012)) bieten inzwischen neben der Nutzung von Oberflächenmodellldaten aus Laserscanning für die Generierung der Modelle auch die Verwendung von Matching-Daten an. Die eigenen Untersuchungen zeigen, dass damit eine korrekte, vollautomatische Gebäudemodellierung von ca. zwei Dritteln aller Gebäude möglich ist. Die Modellierungsansätze haben neben der Fehlinterpretation von architektonisch besonderen oder kleinteiligen Dachformen vor allem mit der mangelnden Gebäudeteilmodellierung in den Katastergrundrissen zu kämpfen (s. Abb. 10).

Die Voruntersuchungen sind so weit abgeschlossen, dass im Jahr 2012 ein Standardsoftwareprodukt zur 3D-Gebäudemodellierung beschafft und eingesetzt werden soll. Damit könnten bis zum Ende des Jahres die ersten LoD2-Gebäude aus Niedersachsen verfügbar sein.

## 7 Fazit

Die bisherige Produktpalette der Photogrammetrie und Geländemodellierung erweitert sich um neue 3D-Geobasisdaten-Produkte: Digitale Oberflächenmodelle und Digitale Gebäudemodelle bieten neue fachliche Anwendungsfelder und müssen den potenziellen Kunden bekannt gemacht werden. Dies erfordert in der nächsten Zeit eine aktive Öffentlichkeitsarbeit und Beratung innerhalb der Landesverwaltung und der kommunalen Ebene, dem die Landesvermessung in Niedersachsen mit besonderen Informationsveranstaltungen Rechnung tragen will.

Dabei sind diese neuen Aufgaben parallel zur laufenden Produktion in die Arbeitsprozesse zu integrieren und ohne zusätzliches Personal zu bewältigen. Dies ist der wichtigste Grund, warum nur vollautomatische Prozessketten für die Generierung dieser Produkte infrage kommen können.

Dazu kommt das besondere Problem Niedersachsens: Es muss inzwischen als einziges Bundesland Deutschlands noch ohne flächendeckende Laserscan-Daten auskommen und dennoch alle AdV-definierten Produkte bereitstellen.



Abb. 10:  
 Test LoD2-Prozessierung mit dem Softwarepaket tridicon (GTA 2012):  
 Oben links: Testgebiet im DOP.  
 Oben rechts: Überlagerung der ALKIS®-Grundrisse.  
 Unten links: Erkennungsrate der Prozessierung (grün: Dachform korrekt modelliert, rot: nicht korrekt modelliert).  
 Unten rechts: Vollautomatisch generiertes DGB-LoD2

## Literatur

- AdV (2005): Belegung des Begriffs »Geobasisdaten« durch die AdV, Beschluss 117/11 der 117. Tagung des Plenums der AdV, Magdeburg, 2005 (unveröffentlicht).
- AdV (2009): Digitale Oberflächenmodelle (Stufenkonzept für 3D-Gebäudemodelle), Beschluss 121/10 der 121. Tagung des Plenums der AdV, Erfurt, 09.–10.09.2009 (unveröffentlicht).
- AdV (2010): Produktstandard für digitale Luftbilder des amtlichen deutschen Vermessungswesens, Version 1.1, Beschluss 23/02 des Arbeitskreis Geotopographie der AdV, Stand: 26.04.2010 (unveröffentlicht).
- AdV (2012): Standard 3D-Messdaten, Version 1.0, Beschluss 25/13 des Arbeitskreis Geotopographie der AdV, Braunschweig, 23.–25.04.2012 (unveröffentlicht).
- Czerwinski, A., G. Gröger, D. Dörschlag, V. Stroh, T. Kolbe, L. Plümer (2007): Nachhaltige Erweiterung der Geodateninfrastruktur für 3D-Geodaten auf der Basis von CityGML – am Beispiel der EU-Umgebungslärmkartierung. Tagungsband zum Symposium Praktische Kartographie 2007 in Königslutter, 14.–16.5.2007. Kirschbaum Verlag, 67–74.
- Google (2012): Google Earth: [www.google.de/intl/de/earth/index.html](http://www.google.de/intl/de/earth/index.html), letzter Zugriff: 22.04.2012.
- GTA (2012): Firma GTA Geoinformatik GmbH: [www.gta-geo.de](http://www.gta-geo.de), letzter Zugriff: 27.04.2012.
- Hirschmüller, H. (2008): Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information, in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Band 30 (2), Februar 2008, 328–341.
- Inpho (2012): Firma Inpho – Trimble Germany GmbH, [www.inpho.de](http://www.inpho.de), letzter Zugriff: 27.04.2012.
- ISIS (2012): Firma ISIS – International Solar Information Solutions, <http://solarkataster.isi-solutions.org/cloppenburg>, letzter Zugriff: 27.04.2012.

- Jäger, E. (2011): Wege zur Aktualisierung von ATKIS®, ZfV, 6/2011, 352–359.
- Nokia (2012): Nokia Maps 3D, <http://maps.nokia.com/3D>, letzter Zugriff: 27.04.2012.
- Microsoft (2012): Bing Maps 3D, [www.bing.com/maps/Help/VE3DInstall](http://www.bing.com/maps/Help/VE3DInstall), letzter Zugriff 27.04.2012.
- Sig3D (2012): Special Interest Group 3D (Sig3D), [www.sig3d.de](http://www.sig3d.de), letzter Zugriff: 27.04.2012.
- Strzalka, A., J. Bogdahn, V. Coors, U. Eicker (2011): 3D City modeling for urban scale heating energy demand forecasting, HVAC&R Research, Vol. 17, Issue 4, Taylor and Francis.

## Anschrift der Autorin

Dr. Birgit Elias  
 Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Niedersachsen (LGLN)  
 Landesvermessung und Geobasisinformation  
 Fachgebiet Photogrammetrie, Geländemodelle  
 Podbielskistraße 331, 30659 Hannover  
[birgit.elias@lgl.niedersachsen.de](mailto:birgit.elias@lgl.niedersachsen.de)