

Erste Erfahrungen bei der automatischen Generierung von digitalen Höhenmodellen in Siedlungsgebieten

ECKHARDT SEYFERT, Potsdam

ZUSAMMENFASSUNG

Im Landesvermessungsamt Brandenburg wird mit Beginn der digitalen Bearbeitung der Luftbildkarte 1:10 000 ein Digitales Geländemodell erzeugt. Es wird über Erfahrungen und Einsatzmöglichkeiten von TopoSURF im Prozeß der Luftbildkartenherstellung sowie bei der Bearbeitung von Höhenmodellen für andere Anwendungsbereiche berichtet.

1. EINLEITUNG

In den Jahren 1990/91 wurden in den neuen Bundesländern neue Verwaltungsstrukturen im Bereich des Vermessungswesens aufgebaut. Die Gründung des Landesvermessungsamtes Brandenburg erfolgte im März 1991. Am Anfang standen nur wenige Fachkräfte auf den Gebieten der Photogrammetrie und Topographie zur Verfügung. Um mit dem vorhandenen Fachpersonal die vielen Aufgaben lösen zu können, wurden Aufgabenschwerpunkte für die Anfangszeit definiert.

Nach der Übernahme der topographischen Grundlagen (Luftbilder und Originalfolien der topographischen Karten) stand die Fortführung des Grundkartenwerkes TK 1:10 000 (TK 10) im Mittelpunkt der Arbeiten. Dabei erfolgte eine Umstellung des Kartenwerkes auf das in Deutschland gebräuchliche Bessel'sche Bezugsellipsoid und den für die topographischen Karten üblichen Normalblattschnitt. Da diese Umstellungsarbeiten einen längeren Zeitraum beanspruchen, die private Wirtschaft, die Verwaltung und die verschiedenen anderen Nutzer möglichst schnell aktuelle Karten für ihre Arbeiten benötigen, entschloß man sich neben der TK 10 ein Luftbildkartenwerk im Maßstab 1:10 000 (TK 10L) aufzubauen.

Zur Orientierung der Luftbilder, als Triangulationsgrundlage für die Herstellung der Luftbildkarten, aber auch zur unabhängigen Qualitätskontrolle der TK 10 und der durch Vergabe bearbeiteten TK 10L begann man schon 1991 mit dem Aufbau eines luft sichtbaren Paßpunktfeldes. Dieses Punktfeld, bestehend aus ca. 1 Punkt auf 20 km² wird durch Aerotriangulation verdichtet (1 Punkte pro km²).

2. AUSGANGSSITUATION

Für die eigene Bearbeitung eines flächendeckenden Luftbildkartenwerkes lagen weder die technischen Voraussetzungen noch die Erfahrungen bei den Mitarbeitern vor. Deshalb nutzte man anfangs den Weg der Auftragsvergabe. Die ausführenden Firmen bekamen mit der Leistungsbeschreibung Vorgaben über die geforderten Genauigkeitsgrenzen, den Blattschnitt, die Kartenrahmengestaltung und die Art und den Umfang der Kartenausgestaltung.

Gleichzeitig baute das Landesvermessungsamt eigene gerätetechnische Kapazitäten auf, um die Produktion und Herausgabe des Kartenwerkes ausführen zu können. Dabei war zu beachten, daß es weder ausreichend Paßpunktgrundlagen noch ein digitales Geländemodell bzw. verwertbare digitale oder analoge Höheninformationen (z.B. Profildaten) aus vorangegangenen Arbeiten vom Land Brandenburg gab. Deshalb entschied man sich bereits 1992 für die Beschaffung eines digitalen photogrammetrischen Systems zur Luftbildkartenherstellung. Das System bestand anfangs aus dem Photo-Scanner PS1 und einer Arbeitsstation CRIMSON mit den Programmpaketen TopoSURF und PHODIS. In der Folgezeit wurde die Geräteausstattung noch erweitert. Die gegenwärtig aktuelle Gerätekonfiguration ist in Abbildung 1 dargestellt.

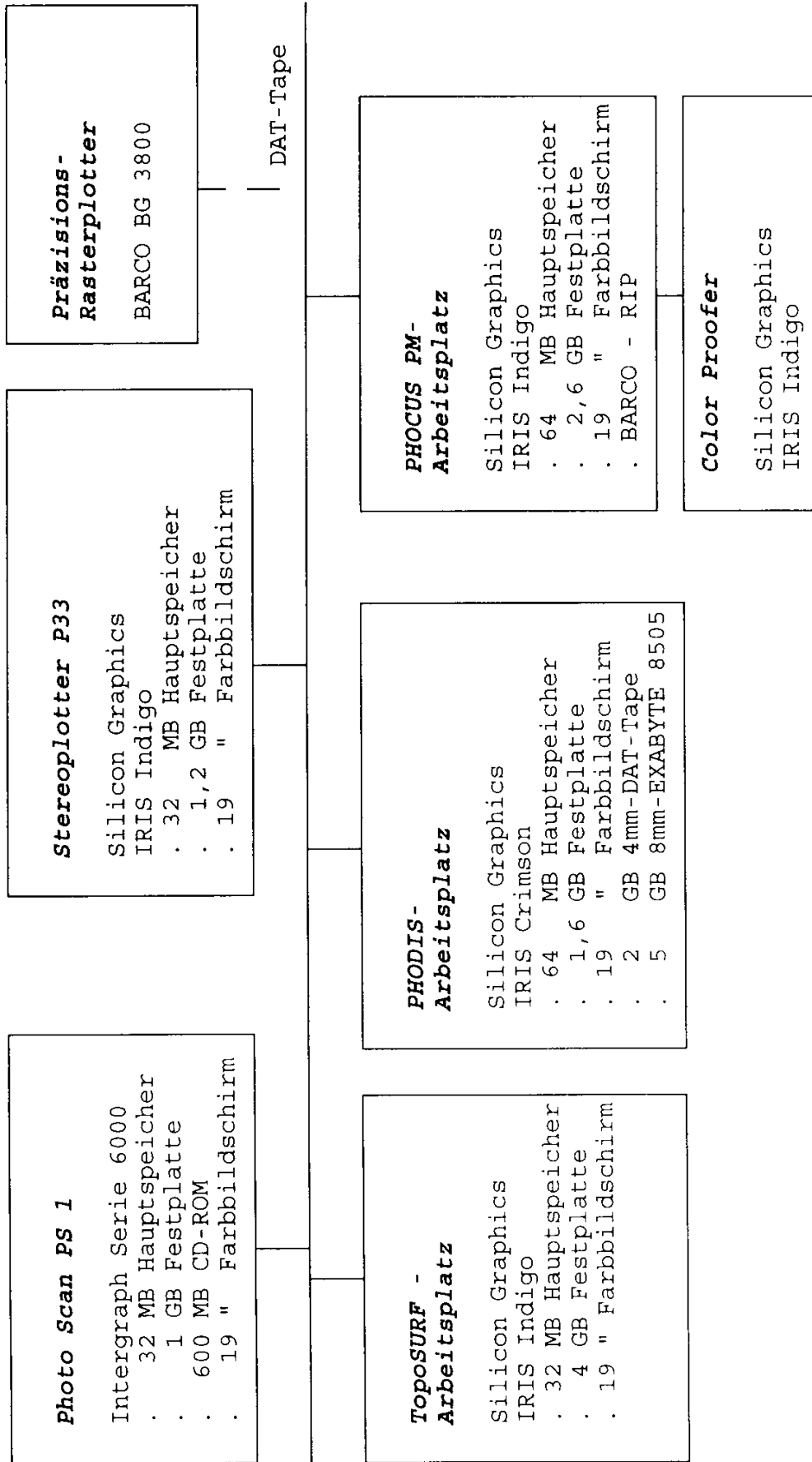


Abbildung 1: Gerätetechnische Ausstattung

Seit Mai 1994 läuft die Produktion der digitalen Luftbildkarte 1:10 000 (TK 10DL) mit ständig wachsendem Ausstoß an Kartenblättern.

Von den ca. 1050 zu bearbeitenden Kartenblättern 1:10 000 liegen bereits 620 vor. Davon wurden 513 Kartenblätter analog (durch Vergabe) und 107 digital bearbeitet. Zusätzlich konnten auf Anfrage und im Auftrag verschiedener Landesbehörden mehrere Projekte digital im Maßstab 1:5 000 bearbeitet werden.

3. AUFBAU DIGITALER GELÄNDEMDELLE IM LAND BRANDENBURG

Entsprechend dem "Gesetz über die Landesvermessung und das Liegenschaftskataster im Land Brandenburg" ist die Erfassung der Informationen über die topographischen Gegebenheiten des Landesgebietes sowie deren Dokumentation und Bereitstellung in analoger und digitaler Form eine Aufgabe der Landesaufnahme. Das schließt den Aufbau digitaler Geländemodelle als eigenständiges Produkt, als Bestandteil des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS) und fachbezogener Informationssysteme und als Grundlage für die Luftbildkartenherstellung ein.

Darüber hinaus häufen sich die Anfragen nach digitalen Geländemodellen, die die Geländeoberfläche einschließlich der Bebauung und Vegetation beschreiben. Die Anwendungsbereiche lagen dabei in der Standortsuche und -optimierung für Windkraftanlagen, bei der Anlage von Mobilfunknetzen und Richtfunkstrecken, bei der Ermittlung der Ausbreitungsmöglichkeiten von Rundfunkstationen sowie im Bereich der Standortauswahl für einen Großflughafen.

Stellt man die oben beschriebenen Verwendungszwecke von DGM's gegenüber, erkennt man differierende Interessen zwischen den von den Vermessungsverwaltungen erzeugten Höhenmodellen und einem Teil der Nutzeranwendungen.

Das Digitale Geländemodell für topographische Anwendungen beschreibt die Geländeoberfläche als Grenzfläche "zwischen dem festen Erdkörper, dem Wasser und dem Gletschereis einerseits und der Luft andererseits. Die Geländeoberfläche wird durch eine repräsentative dreidimensionale Punktmenge modelliert..." [ATKIS 1995]. Viele Anwender, insbesondere aus den Bereichen des Mobilfunks, benötigen dagegen ein Höhenmodell, welches die Oberfläche einschließlich der Vegetation und der Bebauung beschreibt. Zur besseren Unterscheidung soll dieses Modell als "Digitales Oberflächenmodell (DOM)" bezeichnet werden.

Durch Aktivitäten im Umweltbereich lagen vom Landesgebiet die 10 m-Höhenlinien, digitalisiert aus der topographischen Karte 1:50 000, vor. Dieser Datenbestand wurde durch ergänzende Digitalisierungen von Höhenpunkten im gesamten Gebiet und der 5 m-Höhenlinien in den ebenen Geländeabschnitten durch das Landesvermessungsamt verdichtet und anschließend mit SCOP berechnet. Dieses Höhenmodell liegt flächendeckend vor und wird als DGM 50 mit einer Gitterweite von 50 m oder 100 m abgegeben. Die Höhengenaugigkeit liegt bei ca. ± 5 m und in einigen Bereichen darüber. Dieses DGM wurde schon mehrfach abgegeben.

Mit der digitalen Bearbeitung der Luftbildkarten 1:10 000 wird gegenwärtig das DGM 25 erfaßt.

Es baut auf dem Datenbestand des oben erwähnten DGM 50 auf. Durch die zusätzliche Erfassung der Wasserflächen als Aussparungsflächen, von Höhenlinien, Senken- und Kuppenpunkten im ebenen Gelände sowie von Geriplinien im bewegten Gelände wird eine genauere Geländemodellierung erreicht und für die spätere Berechnung mit SCOP eine homogene Verteilung der Ausgangsinformationen realisiert. Die im DGM 50 erfaßten Höhenpunkte werden vollständig durch die in der TK 25 dargestellten Höhenpunkte ersetzt. Das Erfassen der Höheninformationen aus unterschiedlichen Kartenmaßstäben hat bisher zu keinen bemerkbaren Spannungen bei der DGM-Berechnung geführt, da das Relief der TK 50 aus dem der TK 25 abgeleitet wurde.

Für einen Bearbeitungsblock von 12 bis 16 Kartenblättern der TK 25 dauern die Vorbereitungsarbeiten, das Erstellen der Digitalisiervorlagen (Strukturierung) und die Digitalisierung in Abhängigkeit der

Reliefbewegungen ca. 7 bis 10 Tage. Die DGM-Berechnung für eine Gitterweite von 25 m erfolgt in Blöcken der TK 50. In einigen Landesteilen muß das DGM bezogen auf den Nachbarmeridianstreifen

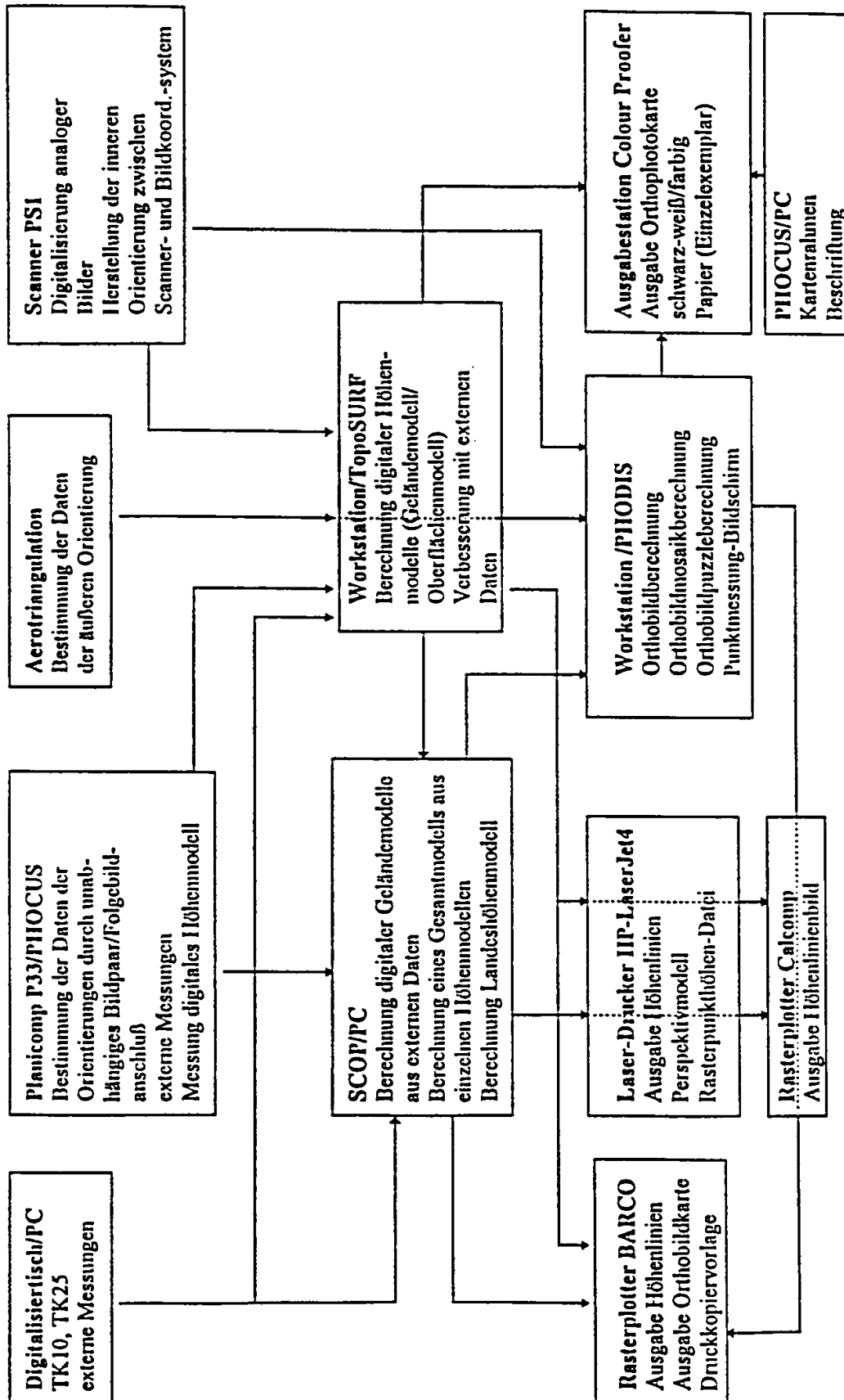


Abbildung 2: Ablauf der DGM - Erzeugung im Rahmen der Luft-
bildkartenherstellung

berechnet werden. Für Berechnung, Qualitätsprüfung und Archivierung werden weitere 4 Tage benötigt.

Bisher konnten bei 4 Bearbeitungsblöcken unabhängige Qualitätskontrollen über ein unabhängig bestimmtes Paßpunktfeld ausgeführt werden. Von ca. 2000 überprüften Punkten, das entspricht einer Punktdichte von 4 Punkten pro km², lagen 78% der Höhenabweichungen unter ± 2 m. Bei 11% der Punkte lagen die Abweichungen zwischen ± 2 m und ± 3 m. Bei den restlichen Punkten (11%) lagen die Abweichungen über ± 3 m. Diese groben Abweichungen sind häufig darauf zurückzuführen, daß einerseits Kontrollpunkte in Böschungsbereichen und andererseits nicht bodengleich (z.B. auf Dachecken oder Maueroberkanten) lagen.

4. DER EINSATZ VON TopoSURF ZUR HÖHENMODELLGENERIERUNG

Mit dem Kauf der Gerätetechnik wurde gleichzeitig das Programmpaket TopoSURF angeschafft. Ziel war es, weitestgehend automatisiert ein Geländehöhenmodell als eigenständiges Produkt aber auch für die Luftbildkartenerzeugung abzuleiten. Dabei ging man von der Vorstellung aus, daß die geographischen Bedingungen im Land Brandenburg gute Voraussetzungen für einen Einsatz bieten. Dazu erarbeitete man die in Abbildung 2 dargestellte Rahmentechnologie. Es ist zu erkennen, daß das mit TopoSURF berechnete Höhenmodell direkt für die Orthophotoherstellung 1:10 000 verwendet und erst in einem zweiten Bearbeitungsschritt unter Einbeziehung von zusätzlich erfaßten Bruchkanten und Formlinien (Geripplinien) das DGM berechnet werden sollte. Die ersten praktischen Ergebnisse an unterschiedlichen Projekten für verschiedene Auftraggeber unterstützten diese Auffassung.

Aus Luftbildern des Maßstabes 1:34 000, aufgenommen mit einer Weitwinkelkamera, wurde ein Höhenmodell mit der Gitterweite von 50 m abgeleitet. Dabei stellte sich heraus, daß

- die Auflösung beim Scannvorgang (15 μ m oder 30 μ m) eine untergeordnete Rolle spielt,
- der Einstellparameter "Parallax bound in row-direction" maßgeblich Einfluß auf die Gestaltung des Höhenmodells ausübt und
- der Einstellparameter "Weight for curvature and torsion" nur noch unwesentlich das Höhenmodell beeinflusst.

Diese Erkenntnisse konnten anhand der ausgeplotteten Höhenlinienbilder und Perspektivmodelle abgeleitet werden.

Weitere Untersuchungen im Rahmen einer Diplomarbeit [Hänel 1994] sollten durch die Verwendung von Luftbildern unterschiedlicher Aufnahmemastäbe (1:34 000 und 1:18 000) und einem Höhenvergleich zwischen den mittels TopoSURF berechneten und photogrammetrisch ausgewerteten Höhen des Höhenmodells die Möglichkeiten einer vollständigen automatisierten DGM-Generierung klären.

Für die Tests wurde eine Gebiet mit unterschiedlichen Bebauungsdichten, Feldlagen und Waldflächen herausgesucht. Als Auflösung beim Scannvorgang wurden 30 μ m gewählt. Die Gitterweite des berechneten Höhenmodells betrug 25 m. Die photogrammetrische Auswertung der entsprechenden Gitterhöhen (ca. 1 700 Punkte) am Planicom wurde unabhängig von drei Auswertern durchgeführt. Variationen der Höhenmodellberechnung ergaben sich durch die Veränderungen des Suchbereichsparameters "Parallax bound in row-direction" und durch das Verwenden von Luftbildern unterschiedlicher Maßstäbe.

Im Ergebnis der Auswertungen konnte festgestellt werden, daß

- der Bildmaßstab 1:18 000 eine Genauigkeitsverbesserung von 15% in den Höhendifferenzen zwischen den beiden Meßverfahren, bezogen auf die gesamte Modellfläche, erbrachte ($\pm 4 \dots \pm 4,5$ m),

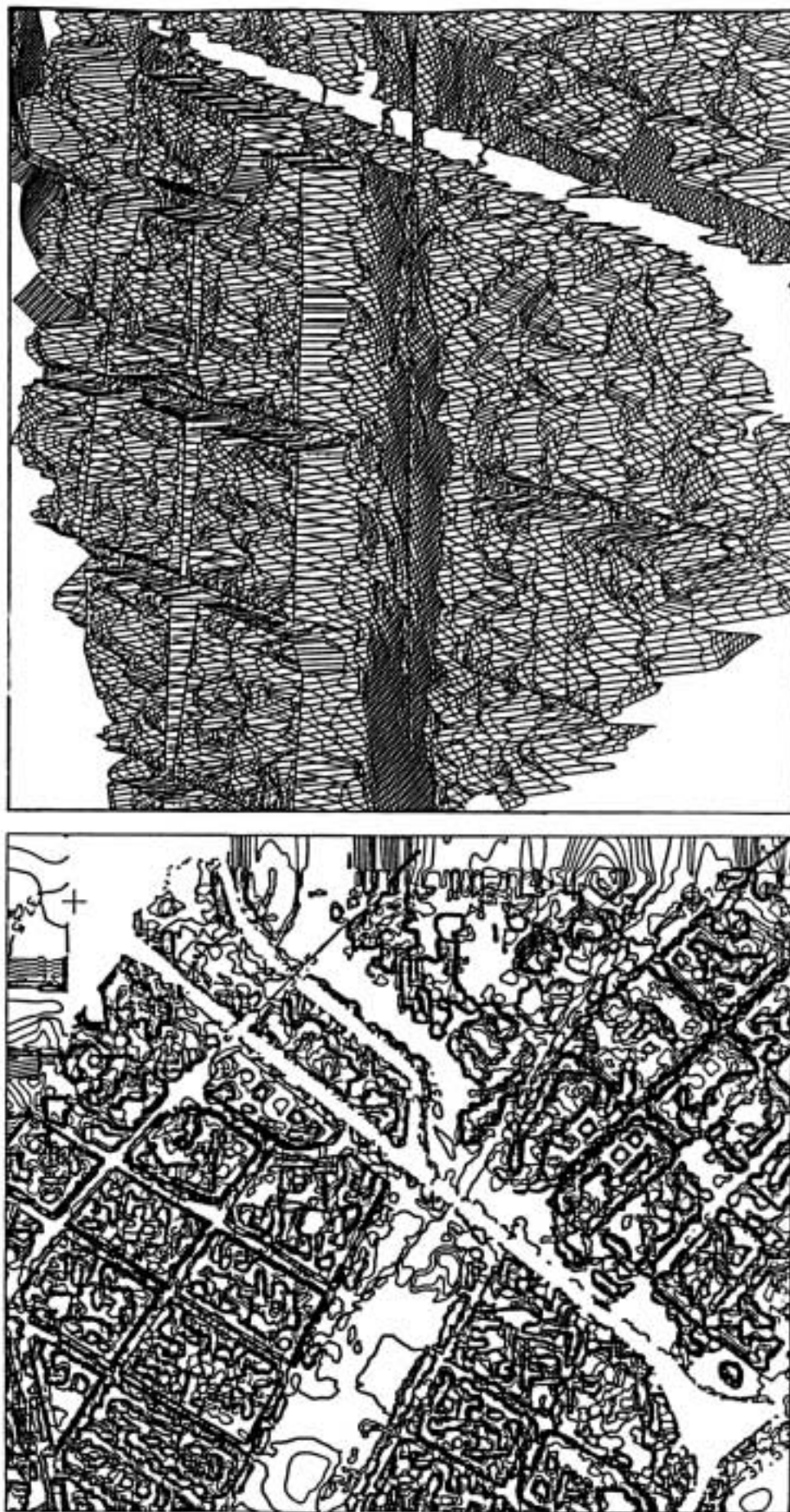


Abbildung 3: Auswertbeispiel eines digitalen Höhenmodells in dicht bebauten Gebieten

- die Variation des Suchbereichsparameters innerhalb eines Bildmaßstabes, unabhängig von der Bebauungsdichte, keine signifikanten Änderungen der Höhendifferenzen bezogen auf die photogrammetrische Auswertung brachte ($\pm 5 \dots \pm 6$ m) und
- es signifikante Genauigkeitsunterschiede in Abhängigkeit der Bebauungsdichte bzw. der Vegetationsdichte (dichte Bebauung ca. ± 6 m, offene Bebauung ca. ± 4 m und offene Feldlagen ca. $\pm 2 \dots \pm 3$ m) gibt.

Grundsätzlich neue Erkenntnisse ergaben sich damit für die Herstellung von Höhenmodellen nicht. Steht die Forderung nach einem DGM, müssen durch die gesonderte Bearbeitung der sogenannten Störstellen (Siedlungsgebiete und vegetationsreiche Gebiete) die angestrebten Genauigkeitsparameter abgesichert werden. Für den sich entwickelnden Bedarf an digitalen Oberflächenmodellen können bereits die automatisch generierten Datenbestände ausreichend sein. Für die Herausgabe der Luftbildkarte ergeben sich zwei Konsequenzen.

- 1) Der Bildmaßstab 1:34 000 ist auf den Blattschnitt der Topographischen Karte 1:10 000 abgestimmt. Trotz der weitreichenden technischen Möglichkeiten der digitalen Verarbeitung (Mosaiking) ist es verfahrenstechnisch effektiver ein Orthophoto pro Kartenblatt zu bearbeiten.
- 2) Die automatisch erzeugten Höhenmodelle beschreiben insbesondere in Siedlungsgebieten eine vermittelnde Fläche, die nicht der Geländeoberfläche entspricht. Das kann in begrenzten Fällen zu so großen radialen Versetzungen führen, daß sie sich als Lagefehler auswirken. Da die vermittelnde Fläche in Abhängigkeit von Bebauungen starken lokalen Neigungsänderungen unterworfen ist, kommt es häufig zu wahrnehmbaren Deformationen der Gebäudeachsen, die noch innerhalb der zulässigen Lagegenauigkeit liegen, aber den optischen Eindruck des Produktes maßgeblich stören. Deshalb verwendet man vorerst das unter Punkt 2 beschriebene DGM 25.

Angeregt durch die Testergebnisse, durch Anfragen von Mobilfunkfirmen bezüglich eines genaueren bzw. hochgenauen Höhenmodells in innerstädtischen Bereichen und durch die Erweiterung des Objektartenkataloges von ATKIS (Objektbereich 2000 - Siedlung), unternahm das Landesvermessungsamt noch einige weitere Versuche.

Von einem dicht bebautem Gebiet lag Luftbildmaterial 1:10 000 vor, das mit der für die Luftbildkartenherstellung üblichen Auflösung von $30 \mu\text{m}$ gescannt wurde. Zusätzlich erfaßte man am Planicom die Uferlinien der im Testgebiet liegenden Wasserflächen (Kanal), die Höhenpunkte in den Kreuzungsbereichen der Straßen sowie die Gebäudehöhen an den Quartierecken (Fußpunkte und Dachecken). Berechnet wurden Höhenmodelle in der Gitterweite von 5 m mit unterschiedlichen Kombinationen der zusätzlich erfaßten Höhenangaben. In Abbildung 3 sind das Isolinienbild und die Perspektivdarstellung für ein Berechnungsbeispiel vorgestellt. In die Berechnung sind die mit TopoSURF erfaßte Rasterdatei, die Uferlinie als Randlinie sowie die Dachecken und die Gebäudefußpunkte an den Quartierbegrenzungen eingegangen.

Diese Höhenmodelle weisen für die speziellen Anwendungen im Bereich des Mobilfunks noch eine Reihe von Unzulänglichkeiten auf. So sind die differenzierten Dachausprägungen und die Strukturen der Innen- bzw. Hinterhöfe noch nicht berücksichtigt. Für die Angabe der mittleren Gebäudehöhen in Metergenauigkeit bei ATKIS scheint, unter Berücksichtigung schon weiter verfeinerter Berechnungsalgorithmen [Ackermann 1995], dieses Ergebnis verwendbar.

5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Innerhalb der letzten zwei Jahre hat die digitale Herstellung von Orthophotos und Luftbildkarten im Landesvermessungsamt Brandenburg die Produktionsreife erreicht. Für die automatisierte Generierung von Digitalen Geländemodellen zur Beschreibung der Geländeoberfläche im topographischen Sinne

sind beim jetzigen Stand noch zu viele zusätzliche Erfassungen in den sogenannten Störstellen auszuführen.

Für die Ableitung von Höhenmodellen, die die abgebildete Oberfläche beschreiben, bietet TopoSURF bereits heute für einen Großteil der Anwender ausreichende Möglichkeiten.

6. LITERATUR

- Ackermann, F. (1995): Digitale Photogrammetrie - Ein Paradigma-Sprung, in ZPF (63)3, 106-115. ATKIS-Gesamtdokumentation (1995): Objektartenkatalog (ATKIS-OK), Teil D1; Objektbereich 2000 -SIEDLUNG, Bonn.
- Hänel, A. (1994): Untersuchungen zum Einsatz des photogrammetrischen Bildverarbeitungssystems PHODIS der Firma Zeiss Oberkochen für die Herstellung einer Luftbildkarte TK 10L. Diplomarbeit Technische Universität Dresden.