

Computertaugliche Alpen: digitale Geländemodelle der Schweiz seit 1965

Felix Frey

Computer-compatible Alps: Digital Terrain Models in Switzerland Since 1965

Between 1965 and 1969, the Swiss Army created the digital terrain model Rimini. For the first time, the country's relief had been described for an electronic computer. In the following decades, digital terrain modeling became crucial for numerous applications. They were indispensable whenever a computer needed to know the country's surface structure, e.g., in artillery calculations. The path to obtaining such digital terrain models (DTMs) was subject to repeated changes. In particular, the question whether DTMs should be derived from topographic maps or aerial photographs caused several turn-arounds. Furthermore, the history of DTMs shows that digital innovations had to blend into their analog environment to be successful. First, both DTMs created in Switzerland in the 20th century were derived from analog topographic maps. Therefore, they were inextricably linked to the graphic elevation models that can be found on paper maps. Second, while DTMs consisted of numbers only, their visual presentation relied on the well-established graphics human readers were accustomed to, such as contour lines and panoramic views. Thus, rather than being a radically new way of describing topography, digital spatial data in the 20th century entangled the electronic computer with the analog map.

«Wenn im Mittelland der Bauer vom Pflug aufschaut, gilt sein Blick wohl erst dem strahlenden Firnediadem der Alpen, dann aber wendet er sich auch und grüsst die blauen Bergzüge des Juras.»¹ Die Schweiz als ein Zusammenspiel von Höhen und Tiefen zu beschreiben, war nicht erst im Jahr 1953, als der Geograf Valentin Binggeli diese Zeilen zu Papier brachte, ein zentrales Element nationaler Selbstversicherung.² Seit dem 18. Jahrhundert «bildeten die Alpen einen konstitutiven Bestandteil der schweizerischen Identität».³ Der Historiker Jon Mathieu betont, dass das «Reden über die Alpen immer auch ein Reden über sich selbst war».⁴ Man könnte hier das «Reden» mit der Praxis des kartografischen «Darstellens» ergänzen, denn auch solche Beschreibungen des Landes hatten massgeblich zur Raumwahrnehmung der Schweizerinnen und Schweizer

1 Valentin Binggeli, Jura und Alpen. Vom Stil der Gebirge. Online: <https://www.sac-cas.ch/de/die-alpen/jura-und-alpen-vom-stil-der-gebirge-6735/> (4.5.2023).

2 Jakob Tanner, Geschichte der Schweiz im 20. Jahrhundert, München 2015, S. 75 f.

3 Guy P. Marchal, Das «Schweizeralpenland». Eine imagologische Bastelei, in: ders., Aram Mattioli (Hg.), Erfundene Schweiz. Konstruktionen nationaler Identität, Zürich 1992, S. 37–49, hier S. 43.

4 Jon Mathieu, Zwei Staaten, ein Gebirge. Schweizerische und österreichische Alpenperzeption im Vergleich (18.–20. Jahrhundert), in: Österreichische Zeitschrift für Geschichtswissenschaften 15/2 (2004), S. 91–105, hier S. 95.

beigetragen.⁵ Die 1864 fertiggestellte Topographische Karte der Schweiz (Dufourkarte) ist wohl das markanteste Beispiel für diesen Umstand.⁶ Die von Südwesten nach Nordosten streichenden Bergkämme stachen in jenem Kartenwerk plastisch hervor und gliederten das Land auch für ungeübte Kartenleserinnen und -leser intuitiv verständlich in die drei prägenden Landschaften Jura, Mittelland und Alpen. Die beiden amtlichen Kartenwerke, die auf die Dufourkarte folgten, entwickelten die Kunst der Geländedarstellung weiter: Die präzise Wiedergabe komplexer Felspartien und die plastische Darstellung des Geländes sind sowohl für den *Topographischen Atlas der Schweiz* (Siegfriedkarte, Erstausgabe 1868–1926) als auch für die seit 1938 erscheinende Landeskarte kennzeichnend.⁷ Dreidimensionale Wiedergaben der Höhen und Tiefen erstellten wiederum Reliefbauer, die laut dem ETH-Professor Eduard Imhof als «Bildhauer der Berge» fungierten.⁸

Bis in die 1960er Jahre waren topografische Karten, Panoramen und Reliefs die einzigen Mittel, um Höhen und Tiefen zu veranschaulichen.⁹ Mit ihren Höhenkoten und Höhenkurven enthielten analoge Karten ein grafisches Geländemodell, also eine Beschreibung der Oberfläche des Landes ohne Bebauung und Vegetation. Eine neue, nun nicht mehr grafisch, sondern in Zahlenform gespeicherte Art von Geländemodellen etablierte sich in der Schweiz in den 1960er Jahren. In jenem Jahrzehnt hatte die Bundesverwaltung erste elektronische Rechenanlagen in Betrieb genommen, was auch für raumbezogene Daten neue Möglichkeiten eröffnete. Die grafisch-analogen Informationen der Kartenwerke waren für die Grosscomputer unlesbar und mussten computergerecht umformuliert werden. Bei der digitalen Geländemodellierung handelt es sich um «eine computergestützte Berechnungsmethode, die zu einem digitalen Modell von zusammenhängenden Ausschnitten der Geländeoberfläche führt.»¹⁰ Solche

5 Daniel Speich, David Gugerli, *Topografien der Nation. Politik, kartografische Ordnung und Landschaft im 19. Jahrhundert*, Zürich 2002, S. 10 f.

6 Felix Frey, *Un effort d'uniformisation. La carte topographique de la Suisse et ses origines hétérogènes*, in: Bundesamt für Landestopografie swisstopo (Hg.), *Die Schweiz auf dem Messstisch. 175 Jahre Dufourkarte*, Basel 2020, S. 39–54, hier S. 39–41.

7 Panoramen stellten eine weitere Form der Geländedarstellung dar. Zur Schweizer Relief- und Felsdarstellung siehe: Jenny, Bernhard u. a., *Design Principles for Swiss-style Rock Drawing*, in: *The Cartographic Journal* 51/4 (2014), S. 360–371; Jürg Gilgen, *Felsdarstellung in den Landeskarten der Schweiz*, in: Karel Kriz, (Hg.), *Hochgebirgskartographie Silvretta '98 – High Mountain Cartography*, Wien 1998 (*Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie* 11), S. 11–21; Simon Bertschmann, *Relief und Felsdarstellung in der neuen Landeskarte der Schweiz 1:25 000*, in: *Allgemeine Vermessungsnachrichten* 67/4 (1960), S. 99–105.

8 Eduard Imhof, *Bildhauer der Berge. Ein Bericht über alpine Gebirgsmodelle der Schweiz*, Bern 1981.

9 F. Gygax, *Das Topographische Relief in der Schweiz. Ein Beitrag zur Geschichte der schweizerischen Kartographie*, Bern 1937 (*Wissenschaftliche Mitteilungen des Schweizerischen Alpen Museums in Bern* 6), S. 6.

10 *Digitale Geländemodellierung*, in: Jürgen Bollmann, Wolf Günther Koch (Hg.), *Lexikon der Kartographie und Geomatik* (Bd. 2), Heidelberg 2001, S. 157.

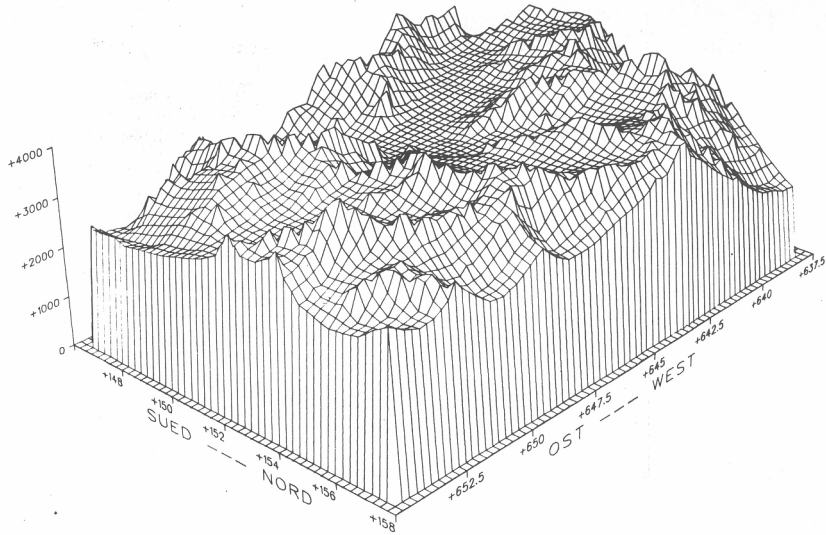


Abb. 1: Panoramische Visualisierung eines Ausschnitts des Rimini-Modells (Konkordiaplatz und Umgebung). Es zeigt die Anordnung von Punktdaten unterschiedlicher Höhe in einem Quadratgitternetz (Dokumentensammlung swisstopo (im Folgenden DSS), 3201-01 RIMINI, Orientierung über digitale Geländemodelle. Projekt RIMINI. GRD, Dezember 1979, Abb. 7).

Modelle «beschreiben die Geländeformen der Erdoberfläche»; sie enthalten also keine Informationen zur natürlichen und menschgemachten Bodenbedeckung wie Häuser, Wälder, Brücken oder Strommasten (vgl. Abb. 1).¹¹ Bereits zwischen 1965 und 1969 produzierte die Schweizer Armee das digitale Geländemodell Rimini, und auch in anderen Ländern waren die Geländemodelle digitale Pionierprodukte in der ansonsten noch jahrzehntelang stark analog geprägten Welt der Kartografie.¹²

Geländemodelle waren aus zwei Gründen Vorreiter bei der Digitalisierung der Kartografie. Zum einen eröffneten sie vielseitige Anwendungsmöglichkeiten, die – wie unten genauer ausgeführt wird – insbesondere für militärische Kreise interessant waren. Zum anderen waren Daten zu den Höhen und Tiefen des Geländes verhältnismässig leicht in Zahlenform und somit computergerecht

11 Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Digitale Geländemodelle. Online: <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitale-geodaten/digitale-gelandemodelle.html> (4. 5. 2023).

12 Zur Entwicklung von digitalen Geländemodellen ausserhalb der Schweiz vgl. die Ausführungen im untenstehenden Abschnitt «Erste Versuche mit Luftbildern und ein Besuch in den USA». Zum Produktnamen Rimini: Er wird meist durchgehend in Grossbuchstaben geschrieben (RIMINI). Im Sinne einer besseren Lesbarkeit wird in diesem Text darauf verzichtet.

speicherbar. Sie konnten für einen beliebigen Punkt in gerade einmal drei Zahlen gefasst werden: Die Lage wurde durch die Koordinaten x und y bestimmt, die z -Koordinate bestimmte die Höhe des Punkts. Je mehr solcher Punkte für ein bestimmtes Territorium in einer Datenbank erfasst waren, desto detaillierter und aussagekräftiger wurde ein digitales Geländemodell.

Digitale Raumdaten zur Schweiz: grundlegende Beobachtungen

Im 20. Jahrhundert entstanden zwei digitale Geländemodelle, die die Schweiz vollständig abdeckten. Rimini machte 1969 den Anfang und wurde vom 1996 fertiggestellten Geländemodell DHM25 (Digitales Höhenmodell 25) abgelöst. Neben diesen Geländebeschreibungen auf nationaler Ebene wurde die Schweiz zudem in Modellen erfasst, die die gesamte Erdoberfläche zeigten. So enthält beispielsweise das 1996 fertiggestellte, radarbasierte Oberflächenmodell GTOPO30 der *United States Geological Survey* auch das Schweizer Territorium.¹³ Seit der Jahrtausendwende entstanden weitere Geländemodelle des Landes, auf welche dieser Beitrag aber nur am Rande eingehen kann. Der Fokus liegt vielmehr auf den ersten drei Jahrzehnten der Produktion flächendeckender digitaler Geländemodelle der Schweiz (1965–1996). In diesem Zeitraum etablierten sich digitale Raumdaten als neue Quelle der Geoinformation.¹⁴

Obwohl digitale Beschreibungen des Schweizer Reliefs auf eine beinahe sechzigjährige Geschichte zurückblicken, sind Untersuchungen zum Thema dünn gesät. Besonders hervorzuheben sind die Veröffentlichungen des Historikers und Topografen Martin Rickenbacher, die einen Überblick über die technischen Eigenschaften und Herstellungsprozesse der Schweizer Geländemodelle geben. Der Fokus dieser Studien liegt auf dem DHM25, dem Rickenbacher mehrere Publikationen gewidmet hat.¹⁵ Der vorliegende Artikel schliesst an diesen

13 Als Oberflächenmodell gibt GTOPO30 im Gegensatz zu digitalen Geländemodellen auch Vegetation und temporäre Objekte wie z. B. Häuser wieder. GTOPO30 besteht aus Höhenrasterpunkten im 1000-Meter-Abstand, beim ebenfalls 1996 fertiggestellten, auf die Schweiz beschränkten DHM25 betrug der Punktabstand 25 Meter. Geländemodelle, die aus den Daten der *Shuttle Radar Topography Mission* (NASA SRTM, 2000) abgeleitet wurden, verfügen seit 2015 weltweit über eine Maschenweite von 30 Metern. Beim seit 2016 verfügbaren weltweiten Geländemodell WorldDEM beträgt dieser Wert sogar nur 12 Meter.

14 Die zahlreichen digitalen Geländemodelle, die durch Kantone oder private Akteure für Teile des Landes erstellt wurden, können in der vorliegenden Untersuchung nicht berücksichtigt werden.

15 Martin Rickenbacher, Das digitale Höhenmodell DHM25 und seine möglichen Anwendungen in der amtlichen Vermessung, in: *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* 90/12 (1992), S. 735–737; ders., Reliefdarstellungen im digitalen Zeitalter, in: *Cartographica Helvetica* 1997 (Sonderheft 13), S. 42f.; ders., Die digitale Modellierung des Hochgebirges im DHM25 des Bundesamtes für Landestopographie, in: Karel Kriz (Hg.), *Hochgebirgskartographie Silvretta '98 – High Mountain Cartography*, Wien 1998 (*Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie* 11), S. 49–55; ders.,

Forschungsstand an und stellt das erste Jahrzehnt digitaler Geländemodellierung in der Schweiz (1965–1975) ins Zentrum. Diese Phase wurde bis dato erst in ihren Grundzügen beleuchtet. Auch die Überlegungen und Ziele, die hinter dem Streben nach digitalen Geländemodellen standen, und die zahlreichen Rückschläge und Schwierigkeiten beim Versuch, Berge, Täler und Ebenen computertauglich zu beschreiben, sind weitgehend unbekannt. Während Forschungen zu vordigitalen, analogen Kartenwerken und Vermessungskampagnen seit dem *Spatial Turn* in den Geschichtswissenschaften einen Boom erlebten, ist nicht nur für die Schweiz ein Mangel an Studien zur Geschichte der *digitalen* Rauminformation zu beobachten.¹⁶ Ein Bewusstsein für die Historizität digitaler Kartierungstechniken scheint bestenfalls in den Kinderschuhen zu stecken. Zwar wächst das Interesse an digitalen Gesellschaften in der Geschichtswissenschaft seit Jahren, doch die Produktion von computertauglichen Raumdaten wird immer noch als ein Gegenstand wahrgenommen, der ausschliesslich in der Gegenwart zu verorten und keiner Veränderung unterworfen ist.¹⁷

Am Beispiel der Schweiz beleuchtet dieser Beitrag grundlegende Fragen zur Digitalisierung von Rauminformation. Warum erstellten diverse Staaten seit den 1950er Jahren digitale Geländemodelle? Welche Bedürfnisse führten zur Einschätzung, dass der damit verbundene, immense Aufwand gerechtfertigt sei? In welchem Verhältnis standen analoge Kartenwerke zu digitalen Raumdaten? Und wie veränderte sich die Herstellung und Verwendung digitaler Geländemodelle während des Untersuchungszeitraums? Eine diachrone Betrachtung der Digitalisierung des Schweizer Reliefs rückt fünf Aspekte in den Vordergrund, die in den folgenden Ausführungen im Zentrum stehen. Eine erste Beobachtung besteht darin, dass Raumdaten erstmals in der jahrtausendelangen Geschichte der Kartenproduktion nicht für einen menschlichen, sondern für einen maschinellen Kartenleser aufbereitet wurden: Die für Menschen geeigneten grafischen Darstellungen mussten für den elektronischen Rechner in Zahlenform umgewandelt werden. Dieses neue Format konfrontierte Ingenieurinnen und Ingenieure mit neuartigen Regeln, Einschränkungen und Möglichkeiten. Zweitens prägten analoge Arbeits- und Sehgewohnheiten und die Papierkarte als zentrale Datengrundlage die digitalen Praktiken mit. Es wäre falsch, analoge und digitale Raumbeschreibung streng voneinander zu trennen und als miteinander konkur-

Gebirgswelten des 21. Jahrhunderts. Digitale Landschaftsmodellierung beim Bundesamt für Landestopografie, in: A. Bürgi (Hg.), *Europa Miniature. Die kulturelle Bedeutung des Reliefs*, Zürich, 2007, S. 207–222.

¹⁶ Beispiele für die gründliche Erforschung analoger Kartenwerke sind die Studie von Daniel Speich und David Gugerli zur Dufourkarte (vgl. Anm. 5) sowie die Fachzeitschrift *Cartographica Helvetica*. Diese erschien von 1990 bis 2021 in Murten (63 Ausgaben).

¹⁷ Symptomatisch für die ahistorische Wahrnehmung digitaler Geodaten sind Artikel der Online-Enzyklopädie Wikipedia. Sie enthalten keinerlei Informationen zur historischen Entwicklung digitaler Gelände- und Höhenmodelle. Online: https://de.wikipedia.org/wiki/Digitales_H%C3%B6henmodell; https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_elevation_model (4. 5. 2023).

rierende Konzepte zu begreifen. Vielmehr zeigt das Beispiel der digitalen Geländemodelle, dass im Zuge der Digitalisierung eine Verflechtung des Numerischen mit dem Analog-Grafischen stattfand. Eine dritte Beobachtung besteht darin, dass militärische Bedürfnisse bei den Pionierarbeiten der digitalen Geodatenproduktion eine zentrale Rolle spielten. Wie zahllose analoge Kartenwerke entstanden auch viele digitale Geländemodelle auf Anregung und mit der Finanzierung militärischer Einrichtungen. Auf einer im engeren Sinne technikhistorischen Ebene sticht viertens hervor, dass die Schweizer Geländemodelle grundsätzlich als Quadratraster strukturiert waren, die über das Land gelegt wurden. Der Abstand der einzelnen Rasterpunkte verringerte sich mit jedem neuen Modell von 250 (Rimini) auf 25 (DHM25) und schliesslich 0.5 Meter (swissALTI^{3D}).¹⁸ Damit wuchsen auch die «Zahlenberge», die hinter digitalen Geländemodellen stehen, zwischen 1965 und heute stetig.¹⁹ Ein fünftes, weniger lineares Merkmal der Entwicklung von Schweizer Geländemodellen ist die Suche nach dem geeignetsten Verfahren zur Datengewinnung: Die Gretchenfrage bei der Herstellung digitaler Geländemodelle der Schweiz zwischen 1965 und 1996 war, ob diese aus analogen Karten oder aus Luftbildern abgeleitet werden sollten. Seit den 1960er Jahren veränderte sich die Antwort auf diese Frage immer wieder.

Dreiecke oder Quadrate? Das Geländemodell Rimini

Mit dem Geländemodell Rimini entstand zwischen 1965 und 1969 die erste computerlesbare Beschreibung des Schweizer Reliefs. Im Jahr 1963 schaffte das Eidgenössische Militärdepartement (EMD) einen IBM 360/50-Grossrechner an und gründete ein eigenes elektronisches Rechenzentrum.²⁰ Was das Projekt Rimini ins Rollen brachte, war jedoch nicht allein die schiere Verfügbarkeit elektronischer Rechenleistung, sondern vor allem ein Bedürfnis der Schweizer Armee. In deren Rängen hatte sich die Befürchtung breit gemacht, dass tieffliegende feindliche Kampfflugzeuge vom Radar unbemerkt ins Land eindringen könnten. Die Radarabdeckung des Schweizer Territoriums sollte deshalb ver-

¹⁸ swissALTI3D ist das jüngste flächendeckende Geländemodell der Schweiz. Es wurde 2013 fertiggestellt und wird laufend aktualisiert (siehe unten). Bundesamt für Landestopografie swisstopo, swissALTI3D. Online: <https://www.swisstopo.admin.ch/de/geodata/height/alti3d.html> (4. 5. 2023).

¹⁹ Martin Rickenbacher, Zahlenberge. Das Panorama im digitalen Zeitalter, in: Schweizerisches Alpines Museum, Schweizer Alpen-Club (Hg.), Augenreisen. Das Panorama in der Schweiz, Bern 2001, S. 150–173.

²⁰ Zu den ersten elektronischen Rechnern der Bundesverwaltung siehe: Guido Koller, Organization and Information Processing. Elements of a History of Early Digitization in the Swiss Federal Administration, in: *Administration & Society* 50/9 (2018), S. 1305–1318; Nick Schwery, Federal Administration in the Lead-Up to the Computer, in: Paolo Bory, Daniela Zetti (Hg.), *Digital Federalism. Information, Institutions, Infrastructures (1950–2000)*, Basel 2022 (Itinera 49), S. 40–59.

dichtet und blinde Flecken ausgemerzt werden.²¹ Um zu ermitteln, wie möglichst wenig Radarstationen möglichst viel Luftraum abdecken konnten, setzte die Schweizer Armeeführung Mitte der 1960er Jahre auf ein digitales Geländemodell: «Um die Errichtung von Radarstationen oder Richtstrahlern systematisch studieren zu können, sind wir auf eine genaue Wiedergabe des Reliefs der Schweiz angewiesen. Wir haben uns entschlossen, die Topographie der Schweiz unter numerischer Form wiederzugeben».²² Die Arbeiten am Geländemodell begannen im Frühjahr 1965 mit der Ermittlung und theoretischen Bestätigung einer Methode, mit der das Relief der Schweiz in Zahlenform übersetzt werden konnte.²³ Parallel dazu schrieb das Programmierbüro Sulzer Programme zur Speicherung und Bearbeitung der zu sammelnden Daten.²⁴ Bis 1967 wurde zudem eine Software erstellt, mit der sich die von einer Radarstation beleuchtete Fläche und damit auch der zu eliminierende Radarschatten ermitteln liessen.²⁵

Die Entstehungsgeschichte von Rimini war stark von der Frage geprägt, ob es als Dreiecks- oder Quadratnetz (Raster) strukturiert werden sollte. Die analoge Praxis der Höhenmessung basierte darauf, Dreieckswinkel zwischen markanten Landschaftsobjekten wie Bergspitzen, Hügelkuppen und Kirchtürmen zu bestimmen und mittels Trigonometrie die Lage und die Höhe jener Punkte zu berechnen. Auch Rimini wurde zunächst als eine «triangulation spéciale sur la base des cartes topographiques» konzipiert: Das Geländemodell sollte aus Dreiecken unregelmässiger Seitenlänge bestehen, deren Eckpunkte aus der Landeskarte 1:25 000 herausgelesen wurden.²⁶ Diese Vorgehensweise barg zwei bedeutende Vorteile. Erstens konnte die unregelmässige Dreiecksstruktur das Relief insbesondere in bergigem Terrain besonders realitätsnah wiedergeben, indem beispielsweise der Kulminationspunkt eines Bergs als Dreieckspunkt gewählt wurde – der lokal höchste Punkt des Geländes war so im Modell enthalten. Zweitens war es mit Dreiecken unregelmässiger Seitenlänge möglich, die bereits höhendefinierten Punkte der Landeskarte (Höhenkoten und ausgewählte Punkte auf Höhenkurven) miteinander zu verbinden. Die Höhen der Eckpunkte mussten folglich nicht berechnet werden, sondern waren bereits im analogen Kartenmaterial enthalten. Die Auswahl und Berechnung der Dreieckspunkte auf der Karte war jedoch eine komplexe und äusserst aufwändige Aufgabe. Die Gruppe

21 Schweizerisches Bundesarchiv (im Folgenden BAR), E5560D#1996/188#2565*, Generalstabschef Gygli (Oberstkorpskdt.) an das EMD, 8. April 1965.

22 BAR, E5560D#1996/188#2567*, Major Fischer an die Gruppe der Freierwerbenden des Schweizerischen Vereins für Vermessungswesen und Kulturtechnik, Juni 1966.

23 BAR, E5560D#1996/188#2567*, Oberst Wildbolz, Generalstabsdienst, an die Direktion der eidgenössischen Militärverwaltung, 3. Januar 1966.

24 Ob es sich beim Programmierbüro Sulzer um eine Abteilung des gleichnamigen Winterthurer Industriekonzerns handelte, konnte nicht ermittelt werden.

25 BAR, E5560D#1996/188#2567*, Oberst Giudici, Generalstabsabteilung, an verschiedene Abteilungen der Armee, 25. Juli 1967.

26 BAR, E5560D#1996/188#2567*, Oberst Wildbolz, 3. Januar 1966 (wie Anm. 23).

für Rüstungsdienste (GRD, heute *armasuisse*) beauftragte deshalb 1965 das *Institut für Operations Research* der Universität Zürich mit der Erstellung von Rimini und fing den hohen Arbeitsaufwand mit der Verpflichtung von Soldaten auf: «Diese Arbeit ist zu umfangreich, um innerhalb annehmbarer Frist durch unser Personal bewältigt werden zu können. Wir haben deshalb beschlossen, Wehrmänner beizuziehen, die im Rahmen ihrer jährlichen Dienstleistungen (2 oder 3 Wochen) an dieser Arbeit teilnehmen würden», verkündete ein am Projekt beteiligter Major der Schweizer Armee im Juni 1966.²⁷

Zwischen 1965 und 1969 arbeiteten insgesamt rund 200 Soldaten im Rahmen ihrer jährlichen militärischen Wiederholungskurse (WK) an der Ermittlung der Punktdaten – «tout en diminuant les frais».²⁸ Jedoch konnten die Computer der 1960er Jahre das rechenintensive unregelmässige Dreiecksnetz nur schwer verarbeiten. Die gewählte Modellstruktur erwies sich als «sehr ungünstig, sodass in einem zweiten Arbeitsgang ein neues Modell mit einem Quadratgitternetz von 250 m Maschenweite» aufgebaut wurde. Im zweiten Rimini-Versuch wurden die Geländedaten in den Jahren 1967 und 1968 entlang eines computerfreundlichen, weil regelmässigen Rasters strukturiert, dessen Punkte in Lage (x, y) und Höhe (z) definiert waren.²⁹ Mit dieser Kehrtwende gelang die Anpassung an die Leistungsgrenzen damaliger Rechner. Einer der grossen Vorteile eines Quadratrasters gegenüber einem Dreiecksnetz war nämlich, dass pro Punkt nur die Höhenangabe (z) auf Lochkarten gespeichert werden musste, während sich die Lagekoordinaten (x, y) für den Rechner automatisch aus dem immer identischen Abstand von 250 Metern zwischen den einzelnen Rasterpunkten ergaben.³⁰ Es musste deshalb nur eine Ausgangslage der Zahlenreihe definiert werden, was den Rechenaufwand verringerte: Die Datenmenge, und damit auch die potenziellen Fehlerquellen, liessen sich so um zwei Drittel reduzieren.

Die oben erwähnten Soldaten mit Vermesserausbildung extrahierten die Rasterpunktdaten aus der Landeskarte. Für jedes der insgesamt 249 Blätter der Landeskarte 1:25 000 bestimmten sie die Höhen von 3479 Punkten. Nur bei Blättern, die auch ausländisches Territorium enthielten, waren es weniger. Die Ermittlung dieser hunderttausenden von Punkten war zu einem grossen Teil Handarbeit.³¹ Dazu legten die WK-Soldaten ein transparentes Zentimeterraster

27 BAR, E5560D#1996/188#2567*, Major Fischer, Juni 1966 (wie Anm. 22). Zur Beauftragung des Instituts für Operations Research siehe DSS, 3201–01 RIMINI, Orientierung über digitale Geländemodelle. Projekt RIMINI. GRD, Dezember 1979, S. 1.

28 BAR, E5560D#1996/188#2567*, Oberst Wildbolz, 3. Januar 1966 (wie Anm. 23).

29 DSS, Projekt Dikart 1, Voranalyse, 17. August 1982.

30 BAR, E5001G#1980/30#606*, Oberst Bolliger an die Direktion der Eidgenössischen Militärverwaltung, 29. Juli 1966.

31 BAR, E5560D#1996/188#2567*, Rundschreiben Oberst Giudici, 3. Oktober 1966. Teilweise kamen aber auch elektronische Koordinatenleser des Berner Vermessungsbüros Leupin zum Einsatz,

über die Landeskarte 1:25 000.³² 1 cm entsprachen in diesem Massstab 250 m in der Realität: Die GRD hatte die Maschenweite nicht zufällig gewählt, sondern am Massstab der analogen Karte ausgerichtet. Diese Parallelität von analogem Massstab und digitaler Maschenweite erleichterte Rechenoperationen und sorgte dafür, dass die WK-Soldaten mit einem gleichmässigen Zentimeterraster arbeiten konnten. Die Struktur von Rimini verband folglich die Gegebenheiten der analogen Karte mit den Anforderungen des elektronischen Rechners. Jedoch wies das Rastermodell von Rimini gegenüber der Dreiecksversion einen substanziellen Mangel auf: Bergspitzen und Kretenlinien waren im 250-Meter-Raster meist nicht erfasst, weil sie buchstäblich durch die weiten Maschen fielen. So drohte das digitale Matterhorn beispielsweise seinen Gipfel zu verlieren, wenn dieser im Zentrum eines 250-Meter-Quadrats lag – schliesslich waren nur die Eckpunkte des Quadrats im Modell enthalten. Um diese Schwäche zu beheben, schuf die GRD in einem letzten Schritt des Rimini-Projekts eine Synthese des Raster- und des Dreiecksmodells. Darin wurden die Rasterpunkte mit denjenigen Punkten des zuvor erstellten Dreiecksnetzes ergänzt, die höher lagen als die benachbarten Rasterpunkte. So gingen Berggipfel und markante Anhöhen im Modell nicht verloren.³³

Im Gegensatz zu seinem Nachfolger DHM25 fand das Geländemodell von 1969 in der zeitgenössischen öffentlichen Wahrnehmung kaum Beachtung. Drei Gründe lassen sich für diesen Umstand anführen. Erstens wies Rimini mit 250 Metern eine grosse Maschenweite auf, die das Modell für viele Anwendungen – beispielsweise für artilleristische Berechnungen – unbrauchbar machte. Zweitens war Rimini aufgrund seiner immensen technischen Voraussetzungen für einen breiteren Nutzerkreis ungeeignet: Um dem Rimini-Zahlenberg aussagekräftige Informationen zu entlocken, benötigte man in den 1970er Jahren nicht nur ein tiefes Verständnis digitaler Daten, sondern auch kaum erschwingliche, meist raumfüllende Hardware. Ein dritter Grund, weshalb Rimini jenseits der Armee zunächst kaum Beachtung fand, war der restriktiv geregelte Zugang. Das digitale Geländemodell war ein *High-Tech*-Produkt und wurde ausschliesslich für militärische Zwecke produziert, weshalb es weitgehender Geheimhaltung unterlag. Damit unterschied es sich deutlich vom analogen Geländemodell der Schweiz, das im frei zugänglichen Landeskartenwerk enthalten war.

vgl. BAR, E5560D#1996/188#2565*, Generalstabschef Gygli, 8. April 1965 (wie Anm. 21), sowie BAR, E5560D#1996/188#2567*, Oberst Wildbolz, 3. Januar 1966 (wie Anm. 23).

³² Rickenbacher, Höhenmodell DHM25, S. 735. In Gebieten, wo die erst 1979 vollständig erstellte Landeskarte 1:25 000 noch nicht vorlag, wurden die Höhenangaben aus der bereits 1963 vollständigen Massstabsreihe 1:50 000 entnommen und entsprechend interpoliert.

³³ DSS, 3201-01 RIMINI, Orientierung über digitale Geländemodelle. Projekt RIMINI. GRD, Dezember 1979, S. 3.

Neue Wege der «digitalen Speicherung der Topographie»

Nach der Fertigstellung von Rimini verfassten Mitarbeiter der GRD im Jahr 1969 eine Studie zur «digitalen Speicherung der Topographie», die sich möglichen Entwicklungswegen digitaler Geländemodelle der Schweiz widmete.³⁴ Die Studie stand in engem Zusammenhang zum 1967 ins Leben gerufenen Projekt Safari, das zum Ziel hatte, die Artillerie auf eine elektronische Feuerleitung umzustellen.³⁵ Dafür war ein engmaschiges digitales Geländemodell erforderlich, das fortan bei artilleristischen Berechnungen die Papierkarte ersetzen sollte. Mit seinen 250 Metern Maschenweite reichte Rimini für solche Zwecke nicht aus. Die «Studie zur digitalen Speicherung der Topographie» plädierte deshalb für ein neues Geländemodell: «Zur Durchführung solcher Arbeiten muss dem Computer die Topographie des jeweiligen Kampfraumes bekannt sein. Die normalerweise in Form von Kartenwerken vorhandene Speicherung topographischer Angaben muss deshalb in eine «computergerechte» Form umgewandelt werden.»³⁶ Neben der präziseren Feuerleitung versprach ein neuartiges Geländemodell zudem, dass man zukünftig die «zeitraubende Arbeit» des Errechnens und Zeichnens von Wirkungskarten dem Computer übergeben könne.³⁷ Wirkungskarten visualisierten den Raum, den Artilleristen mit einem an einer bestimmten Position aufgestellten Geschütz beschiessen konnten.

Bereits 1969 erwog die GRD aus den genannten Gründen, ein Geländemodell mit einer Maschenweite von 25 oder 50 Metern zu erstellen. Zwei Wege konnten zu einem engmaschigeren Geländemodell führen, wie die GRD-Studie von 1969 festhielt. Der erste Weg war kartenbasiert, das 25-Meter-Raster liess sich also mittels elektronischer Koordinatografen und durch Höheninterpolation aus der Landeskarte 1:25 000 ableiten. Die Studienautoren sprachen sich jedoch für die zweite Methode aus, die in der Schweiz bis dahin völliges Neuland war: Die Höhen der Rasterpunkte eines neuen Geländemodells sollten direkt aus Luftbildern abgeleitet werden. Dafür waren zwei beinahe identische Luftbilder erforderlich, die aus leicht unterschiedlichen Positionen aufgenommen wurden. In der Kombination entstand aus dem Bildpaar ein dreidimensionales Stereobild. Aus dem Stereobild liessen sich mittels eines komplexen Auswertungsgeräts – dem Stereoaufografen – wiederum Höhendaten produzieren. Wie die Autoren der GRD-Studie betonten, wäre «eine solche Speicherung eine eigentliche Pio-

³⁴ H. Stücklin, Studie über die Möglichkeiten der digitalen Speicherung der Topographie, o.O. 1969 [enthalten in: DSS, 0050 Datenverarbeitung].

³⁵ B. Nüsperli, Die elektronische Feuerleitung der Artillerie, in: Allgemeine schweizerische Militärzeitschrift 1979, Heft 9, S. 321 f., hier S. 321.

³⁶ Stücklin, Studie, S. 1.

³⁷ DSS, 0050 Datenverarbeitung. Projekt Geländedigitalisierung GRD. Korrespondenz und Beschaffungsunterlagen, 1970–1973, 2/5, Protokoll der Konferenz über die Möglichkeiten der digitalen Speicherung der Topographie, 31. Juli 1970.

nierleistung auf dem Gebiete der Topographie»:³⁸ Das resultierende Modell wäre unmittelbar landschaftsbasiert gewesen und hätte im Gegensatz zu Rimini nicht den Umweg über die analoge Karte nehmen müssen.

Für die neuartige Vorgehensweise sprachen laut der GRD-Studie zwei Faktoren. Erstens kostete es gemäss ihrer Einschätzung weniger Zeit, die Punktkoordinaten aus Stereobildern zu ermitteln, als sie aus der Karte herauszuarbeiten. Zweitens versprach ein luftbildbasiertes Geländemodell einen Zugewinn an Genauigkeit. Die in der Landeskarte unvermeidlichen Höhenfehler wurden bei einer kartenbasierten Digitalisierung nicht nur übernommen, sondern durch zusätzliche Fehler und Ungenauigkeiten im Digitalisierungsprozess noch verstärkt.³⁹ Die Herleitung des digitalen Geländemodells mittels Bildmessung (Fotogrammetrie) bedeutete jedoch, dass geeignete Luftbilder für die gesamte Schweiz und das angrenzende Ausland vorliegen mussten. In ersten Versuchen griff die GRD deshalb auf Aufnahmen der sogenannten Amerikanerbefliegung zurück. Diese Serie von Bildflügen, durchgeführt von der US-amerikanischen Armee im Jahr 1946, stellt bis heute die einzige flächendeckende Luftbildbefliegung der Schweiz innerhalb eines einzigen Jahres dar.⁴⁰ Jedoch waren die dabei entstandenen Fotografien zu grobkörnig und aus zu grosser Höhe aufgenommen (10'000 m ü. M.). Dieser Umstand führte zu «zeitraubende[n] Interpretationen» der Stereobilder.⁴¹ Weil sich die um 1970 verfügbaren Luftbilder nicht als Grundlage für die «digitale Speicherung der Topographie» eigneten, plädierte der GRD-Bericht von 1969 für eine Neubefliegung zunächst ausgewählter Testgebiete und anschliessend der gesamten Schweiz. Die Datenproduktion sollte – im Kontrast zu Rimini – automatisiert stattfinden. Doch der prognostizierte Aufwand war auch bei diesem Vorgehen immens: Für ein Geländemodell der gesamten Schweiz einschliesslich ihrer Randgebiete (60'000 km²) mit einem Punkteabstand von 50 Metern sagte die GRD einen Aufwand von 12'500 Stunden vorher, bei 25 m Maschenweite rechnete sie mit 22'500 Stunden Arbeitszeit (ca. 44 Arbeitsjahre).⁴²

38 Stücklin, Studie, S. 3.

39 Der maximale Höhenfehler der Höhenkurven der Landeskarten belief sich 1969 in ebenem Gelände auf ± 1 Meter, in 45 Grad geneigtem Gelände stieg dieser Wert auf ± 4 Meter und konnte mit 72 Grad stark abschüssigem Gelände einen maximalen Höhenfehler von ± 10 Metern erreichen. Siehe: DSS, 0050 Datenverarbeitung, Protokoll (wie Anm. 37).

40 Martin Rickenbacher, Kartenherstellung als Vorwand? Die «Amerikanerbefliegung» der Schweiz von 1946, in: Markus Heinz (Hg.), 17. Kartographiehistorisches Colloquium Eichstätt, 9.–11. Oktober 2014, Bonn 2017, S. 167–187.

41 Stücklin, Studie, S. 52.

42 Ebd., S. 53.

Erste Versuche mit Luftbildern und ein Besuch in den USA

Im Anschluss an die Vorstudie zur «digitalen Speicherung der Topographie» und im Zuge des Projekts Safari führten das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich (IGP) und die Landestopografie (LT) unter Ägide der GRD Versuche durch, die den Forderungen der programmatischen Schrift von 1969 weitgehend entsprachen. Das Protokoll einer Konferenz von Vertretern der Armee, der ETH und der Landestopografie vom Juli 1970 zeigt, dass das Interesse an einem neuen digitalen Geländemodell gross war: Die Übermittlungstruppen wünschten sich ein Fünfundzigmeterraster, um Standorte für Funkstationen zu errechnen, Vertreter der Artillerie hofften auf das schnelle Erstellen von Wirkungs- und Sichtbarkeitskarten, und der Generalstab wollte das Modell Kompass optimieren, das «mit Hilfe einer elektronischen Rechenmaschine den Ablauf eines Panzerabwehrgefechts errechnet[e]». ⁴³ Die Teilnehmer der Konferenz beschlossen eine Arbeitsteilung zwischen GRD, Landestopografie und ETH. Nachdem die GRD zusammen mit den Artillerietruppen ein Versuchsgebiet ausgewählt hatte, sollte die LT dieses Gebiet befliegen und das Bildmaterial herstellen. Das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich würde schliesslich die Aufnahmen auswerten und digitale Geländemodelle der Testgebiete erstellen. ⁴⁴ Das Eidgenössische Militärdepartement entschädigte das IGP während der gesamten Dauer der Versuchsarbeiten mit einer monatlichen Pauschale von 20'000 Franken. ⁴⁵

Im Juli 1971 lagen die digitalen Daten aus einem ersten Test im Unterwallis vor. Für ein Gebiet von 48 km² Fläche hatte das IGP unter der Leitung des Professors Hugo Kasper (1908–1981) fünf Bildpaare aus Ost-West-Bildstreifen der Landestopografie analysiert. Die Resultate des Vorversuchs von 1971 waren das erste Schweizer Geländemodell, das direkt auf Luftbildern basierte. Es wies eine Maschenweite von 50 Metern auf. ⁴⁶ Mit seiner geringen Fläche zeigte es jedoch nur etwas mehr als ein Tausendstel des Landes. Die flächendeckende Anwendbarkeit war damit nicht bewiesen, was umso kritischer war, als die Kommission für Militärische Landesverteidigung das Projekt Safari im August 1971 vorzeitig beendete. Zusätzliche Kosten von 350 Millionen Franken hatten zum Abbruch des Vorhabens geführt. Der Waffenchef der Artillerie, Oberstdivisionär Harald

⁴³ A. Zehnder, Das Panzerabwehr-Gefechtsmodell KOMPASS. Online: https://www.hamfu.ch/_upload/Das_Panzerabwehr-Gefechtsmodell_KOMPASS.pdf (4. 5. 2023).

⁴⁴ DSS, 0050 Datenverarbeitung, Protokoll (wie Anm. 37).

⁴⁵ DSS, 0050 Datenverarbeitung. Projekt Geländedigitalisierung GRD. Korrespondenz und Beschaffungsunterlagen, 1970–1973, 2/5. Notiz zur Besprechung über das Projekt Geländedigitalisierung, Bern, 21. Juni 1971; ebd., Memorandum zum Projekt der Gruppe für Rüstungsdienste über die digitale Geländeaufnahme der Schweiz, 25. November 1971, S. 12.

⁴⁶ DSS, 0050 Datenverarbeitung. Projekt Geländedigitalisierung GRD. Korrespondenz und Beschaffungsunterlagen, 1970–1973, 2/5. Registrierung eines Versuchsgebietes für das digitale Geländemodell, 7. Juli 1971, S. 2.

de Courten, betonte jedoch wenige Wochen nach Abbruch von Safari, dass die «Geländedigitalisierung zur Beschleunigung der Bestimmung der Zielkoordinaten und der Feuerplanung» weiterverfolgt werden sollte.⁴⁷ Es waren wohl solche Überlegungen, die – ebenfalls noch 1971 – dazu führten, dass eigens für die Geländedigitalisierung ein Forschungsauftrag der GRD «zur detaillierten Untersuchung der Digitalisierungsmöglichkeiten mit Luftbildern» an das IGP der ETH Zürich unter Mitarbeit der Landestopografie vergeben wurde.⁴⁸ Der Topograf und Experte für Fotogrammetrie Christoph Eidenbenz, der bis zu seinem Wechsel an die Landestopografie im November 1971 am IGP tätig gewesen war, fungierte als Bindeglied zwischen den beiden Institutionen.⁴⁹

Im August 1972 weilte Eidenbenz am *Topographic Center* der *Defense Mapping Agency* der US-Armee (DMATC) in St. Louis. Ziel des Besuchs war, vom «Entwicklungs- und Erfahrungsvorsprung in den USA zu profitieren»:⁵⁰ Bereits in den frühen 1950er Jahren hatte das *Massachusetts Institute of Technology* ein kleinräumiges digitales Geländemodell einer Strassenbauzone erstellt und den Begriff *Digital Terrain Model* geprägt.⁵¹ Die damals in vielen Ländern betriebenen Autobahn-Bauprojekte erwiesen sich als wichtiger Treiber der Entwicklung von digitalen Geländemodellen. In den 1950er und 1960er Jahren entwickelten Universitäten, staatliche Akteure und Strassenbaugesellschaften nicht nur in Westeuropa und Nordamerika, sondern auch in der Tschechoslowakei und in Japan digitale Geländemodelle für die Strassenplanung.⁵² Doch die Entwicklung der neuartigen Modelle blieb nicht auf die verhältnismässig kleinräumigen Bauprojekte beschränkt. Bereits Ende der 1950er Jahre arbeitete das DMATC auf die Produktion eines digitalen Geländemodells der gesamten USA mit einer Maschenweite von 200 Fuss (knapp 61 Meter) hin.⁵³ Die luftbildbasierte Vorgehensweise war für die Ziele der US-Armee besonders attraktiv, weil im Kriegsfall digitale Daten zu einem beliebigen Geländeabschnitt so schnell wie möglich vorliegen sollten. Dank der Luftbildauswertung mussten Topografinnen und Topo-

47 BAR, E5440B#1981/211#124*, Harald de Courten an die Instruktionsoffiziere der Artillerie, die Mitglieder der Artilleriekommission und an den Präsidenten der Kommission für Artilleriefragen der SOG, 14. September 1971.

48 DSS, Projekt Dikart 1, Voranalyse, 17. August 1982.

49 DSS, 0050 Datenverarbeitung, Projekt Geländedigitalisierung GRD. Korrespondenz und Beschaffungsunterlagen, 1970–1973, 2/5. Bericht des IGP ETH über den Stand der Arbeiten im Projekt Gelände-Digitalisierung, 14. Juni 1971.

50 DSS, 0050 Datenverarbeitung, Projekt Geländedigitalisierung GRD, Bericht 2 (Dezember 1972), S. 1.

51 C. L. Miller, R. A. Laflamme, *The Digital Terrain Model-Theory and Application*, in: *Photogrammetric Engineering* 24/3 (1958), S. 433.

52 Olubodun Olarewaju Ayeni, *Considerations for Automated Digital Terrain Models with Applications in Differential Photo Mapping*, Dissertation an der Ohio State University (1976), S. 2f.

53 Roger H. Twito, Ronald W. Mifflin, Robert J. McGaughey, *The MAP Program. Building the Digital Terrain Model* (United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. General Technical Report PNW-GRR-200), o.O. 1987, S. 1.

grafien nicht erst die Herstellung einer analogen Karte abwarten, bis sie mit der Produktion eines digitalen Geländemodells beginnen konnten.⁵⁴

Die Produktion des DMATC-Modells begann im Jahr 1965. Zum Zeitpunkt von Christoph Eidenbenz' Besuch im Jahr 1972 deckte es 90 % des Territoriums der USA ab.⁵⁵ Obwohl das DMATC bereits seit 1955 zu luftbildbasierten digitalen Geländemodellen forschte, war das schliesslich hergestellte Modell ein kartenbasiertes. Die durchgezogenen amerikanischen Erfahrungen bestätigten die Schweizer Entwicklungsrichtung, ein digitales Geländemodell direkt aus Luftbildern abzuleiten: In seinem Bericht zum Besuch am DMATC hielt Christoph Eidenbenz fest, dass dieser Weg «gegenüber der Digitalisierung von Höhenkurven in bestehenden Karten vorzuziehen» sei. Wandle man die Höhenkurven analoger Karten wie bei Rimini oder im DMATC-Verfahren in Rasterdaten um, seien «aufwendige zusätzliche Rechenoperationen, die zudem einen erheblichen Genauigkeitsverlust bringen können», erforderlich. Die Höhen der Rasterpunkte mussten unter Bezugnahme auf die Höhenkurven und -koten, die dem Rasterpunkt räumlich am nächsten waren, mathematisch errechnet (interpoliert) werden. Zudem hing die Qualität der digitalen Daten bei diesem Vorgehen von der Genauigkeit der Höhenangaben in analogen Karten ab, die sich in den USA nicht immer als ideal herausgestellt hatte.⁵⁶ Mit der Entscheidung, die luftbildbasierte Datensammlung der kartenbasierten vorzuziehen, waren die Schweizer Fachleute keineswegs allein – beispielsweise setzte auch Österreich ab 1976 auf die Herstellung eines digitalen Geländemodells aus Luftbildern.⁵⁷

Vom Luftbild direkt zum Geländemodell: vier Versuche und ein Scheitern

Dass die Erkenntnisse aus den USA als Bestätigung des Schweizer Wegs gedeutet wurden, hing möglicherweise auch damit zusammen, dass GRD, ETH und LT bereits im November 1971 die Fortführung des luftbildbasierten Wegs beschlossen hatten. Zu diesem Zeitpunkt hatte die Projektgruppe entschieden, Test-Digitalisierungen von Geländeabschnitten in Bière (Jura), Frauenfeld (Mittelland), bei den Rochers de Naye (Voralpen) und im Raum Flüela (Hochalpen) durchzuführen. Die Gebiete waren ca. 40 km² gross und so gewählt, dass die grundle-

⁵⁴ DSS, 0050 Datenverarbeitung, Projekt Geländedigitalisierung GRD, Bericht 2 (Dezember 1972), Anhang 1, S. 3.

⁵⁵ Ebd., S. 2.

⁵⁶ Ebd., S. 3.

⁵⁷ Michael Franzen, Das digitale Geländehöhen-Modell von Österreich im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, in: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 90/2 (1992), S. 89–91, hier S. 89f.

genden Landschaftsformen der Schweiz in der Testanordnung vertreten waren.⁵⁸ Im Sommer 1973 beflog die Landestopografie die vier Geländeabschnitte vom Militärflugplatz Emmen aus und erstellte die benötigten Luftbilder.⁵⁹

Unter Mitarbeit der Zürcher Firma *Applied Studies International* wurden 1973 zunächst die Aufnahmen aus dem Testgebiet Bière ausgewertet, aufbereitet und überprüft (verifiziert). Schnell zeigte sich, dass sich Fehler in die digitalen Daten eingeschlichen hatten. Das Relief war vielerorts verzerrt wiedergegeben: «Wallförmige Geländestrukturen, die bandartig das Gebiet durchziehen», «kraterförmige Geländestrukturen» und eine «generelle Tendenz der Geländeformen, in der Ost-West-Richtung gedehnt zu sein», sorgten bei den Projektmitarbeitern für Bedenken.⁶⁰ Nach eingehender Prüfung kamen sie zum Schluss, dass die Mängel auf die falsche Einstellung und Bedienung des Auswertegeräts durch den Operateur zurückzuführen waren.⁶¹ Obwohl die Fehler die gewählte Methode also nicht grundsätzlich infrage stellten, offenbarten sie dennoch grundlegende Schwächen der Versuchsanlage. Sie war «unhandlich», weil die Aufbereitung der Daten und deren Verifikation an unterschiedlichen Orten und an unterschiedlichen Rechnertypen durchgeführt werden mussten.⁶² Aufgrund dieser räumlichen und infrastrukturellen Trennung der einzelnen Arbeitsschritte hatte sich «die Bereinigung des Datenmaterials für das Testgebiet Bière als unerwartet aufwendig» erwiesen. Die Verantwortlichen schlussfolgerten 1974, dass die übermässig komplexe Testkonfiguration ungeeignet war, «um repräsentative Aussagen für Aufnahme, Speicherung und Darstellung eines Geländemodells der ganzen Schweiz zu liefern.»⁶³ Die Nachbearbeitung der Daten aus Bière war so aufwändig, dass die Verifikation der anderen drei Testgebiete vor dem Ende der Projektfinanzierung Ende 1973 nicht einmal begonnen werden konnte.⁶⁴

58 DSS, 0050 Datenverarbeitung, Projekt Geländedigitalisierung GRD, Korrespondenz und Beschaffungsunterlagen, 1970–1973, 2/5, Memorandum (wie Anm. 45), S. 4.

59 DSS, 0050 Datenverarbeitung, Projekt Geländedigitalisierung GRD, Korrespondenz und Beschaffungsunterlagen, 1970–1973, 2/5, Unbekannt an Kasper, 3. Oktober 1973.

60 DSS, 0050 Datenverarbeitung, Projekt Geländedigitalisierung GRD, Bericht 4 (Juli 1973), S. 3.

61 Bei der Auswertung kamen ein Autograf A7 der Schweizer Firma Wild sowie ein elektronisches Koordinatenregistriergerät des Typs EK8 zum Einsatz. Vgl. DSS, 0050 Datenverarbeitung, Projekt Geländedigitalisierung GRD, Korrespondenz und Beschaffungsunterlagen, 1970–1973, 2/5, Besprechung vom 8. 12. 1970 zwischen H. Stücklin, GRD, und Ch. Eidenbenz, Photogrammetrisches Institut der ETHZ.

62 DSS, 0050 Datenverarbeitung, Projekt Geländedigitalisierung GRD, Schlussbericht (Juli 1974), S. 5–9, Zitat S. 5.

63 Ebd., S. 5.

64 Ebd., S. 4.

Computertaugliches wird menschentauglich

Die Programme, die das IGP entwickelte, um die Zahlenberge der Test-Geländemodelle zum Sprechen zu bringen, sagen viel über das Verhältnis von analoger und digitaler Rauminformation in den 1970er Jahren aus. Während sich digitale Geländemodelle mit ihrer zahlenbasierten und rasterförmigen Struktur an die Gesetze des Computers anpassten, war die Ausgabesoftware auf die Gewohnheiten ihrer menschlichen Anwender ausgerichtet – die Anwenderprogramme verwandelten die Zahlen des Geländemodells in grafische Darstellungen, die an analoge Vorbilder anknüpften. Dies zeigte sich bereits bei der Auswertung des Testgebiets Bière, wo das vom IGP entwickelte Programm Topo zum Einsatz kam. Es generierte aus den Zahlen des Geländemodells Höhenkurven, die die Verifikatoren am Bildschirm betrachten konnten (vgl. Abb. 2). Die aus Papierkarten vertraute grafische Wiedergabe von Höhen und Tiefen ermöglichte den direkten Vergleich des Modells mit den entsprechenden Ausschnitten der analogen Landeskarte. Die menschentaugliche Darstellungsform beschleunigte die oben beschriebene Entdeckung von Verzerrungen und anderen Fehlern im Testmodell Bière immens.⁶⁵

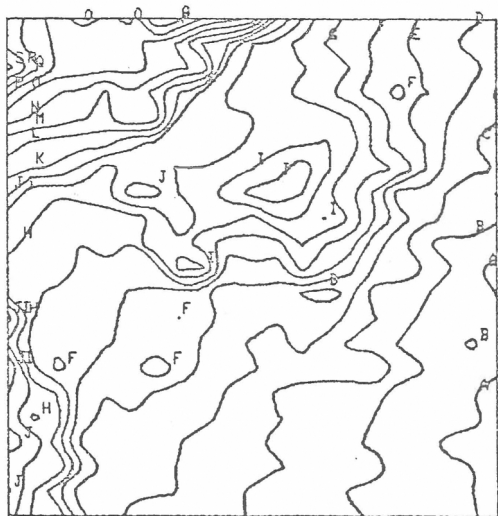


Abb. 2: Ein Abschnitt des Test-Geländemodells Bière, in Höhenkurven mittels des Programms Topo visualisiert (DSS, 0050 Datenverarbeitung, Projekt Geländedigitalisierung GRD, Bericht 4 (Juli 1973, S. 12).

65 Ebd., S. 13.

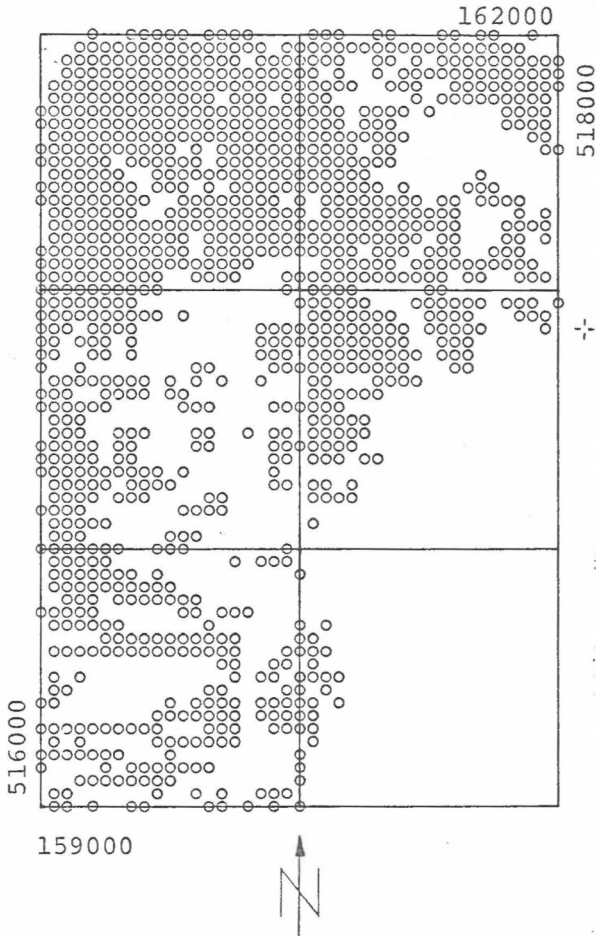


Abb. 3: Aus dem Geländemodell Bière generierte Wirkungskarte. Die Kreise stellten beschussbare Punkte dar (DSS, 0050 Datenverarbeitung, Projekt Geländedigitalisierung GRD, Bericht 6 (Mai 1974, Anhang 2).

Ein zweites Programm, das an analoge Sehgewohnheiten anknüpfte, trug den sprechenden Namen D3View. Es generierte perspektivische Darstellungen eines frei wählbaren Geländeabschnitts.⁶⁶ Landschaftselemente, die für einen Betrachter in der gewählten Perspektive unsichtbar blieben, wurden vom Programm auch nicht gezeichnet. Es schloss damit direkt an analoge Panoramen an, die denselben Regeln folgten. Eine weitere Software-Anwendung führte zu den ers-

⁶⁶ DSS, 0050 Datenverarbeitung, Projekt Geländedigitalisierung GRD, Bericht 4 (Juli 1973), S. 3.

ten computergenerierten Wirkungskarten der Schweiz (vgl. Abb. 3). Auch dieser Kartentyp existierte bereits im vordigitalen Zeitalter – Wirkungskarten zeigten den Bereich, den ein Artilleriegeschütz beschiessen konnte.

Projekt Spinne und DHM25

Das Projekt zur «digitalen Speicherung der Topographie» scheiterte 1974 an Auswertungs- und Hardwareproblemen. Bereits 1978 wurde der Wunsch nach einem engmaschigeren digitalen Geländemodell jedoch erneut laut. Anders als 1969 gaben nun nicht die Artilleristen, sondern die Übermittler den entscheidenden Impuls: Der zivile und der militärische Funk kamen sich im Laufe der 1970er Jahre immer stärker in die Quere – es war eng geworden im Schweizer Äther. Mit dem 1978 gestarteten Projekt Spinne wollten die GRD und die Übermittlungstruppen dieses Problem beheben. Für eine möglichst effektive und flexible Vergabe der Funkfrequenzen an zivile und militärische Funkteilnehmer sollte eine Frequenzdatenbank, eine Gerätedatenbank und ein digitales Geländemodell erstellt werden. Ein Geländemodell war erforderlich, um berechnen zu können, zwischen welchen Sende- und Empfangsorten ein reibungsloser Funkkontakt hergestellt werden konnte.⁶⁷ Computer konnten diese Rechenarbeiten immens erleichtern und bis hin zur Echtzeit beschleunigen: «Das digitale Geländemodell bildet für die Ausbreitungs-Berechnungen [von Funkwellen] eine wichtige Grundlage. Das heute bestehende Modell <RIMINI> mit einer Rasterweite von 250 m ist für die Uebermittlungsplanung nicht genügend.» Stattdessen sollte die Landestopografie ein digitales Geländemodell mit einer Maschenweite von 20 oder 25 Metern erstellen.⁶⁸ Im Gegensatz zum Vorhaben, das 1971–1974 am IGP der ETH Zürich verfolgt wurde, sollte das Geländemodell des Projekts Spinne aber eine «computerisierte Landeskarte» als Grundlage haben. Es war also wie Rimini als karten- und nicht als luftbildbasiertes Geländemodell angelegt. Die Extraktion der Höhendaten aus der Landeskarte sollte hingegen, anders als bei Rimini, mithilfe eines Kartenscanners statt weitgehend von Hand erfolgen.⁶⁹ Den Ausschlag für diese erneute Richtungsänderung in der Grundsatzfrage, ob digitale Geländemodelle aus Karten oder Luftbildern abgeleitet werden sollten, hatte der Fotogrammetriekongress von 1976 in Helsinki gegeben. Dort wurden neuartige Kartenscanner präsentiert, mit deren Hilfe Topografinnen und

⁶⁷ DSS, 8.1.3 Automatische Kartografie, Divisionär E. Lüthy an Ernst Huber, Direktor der Landestopografie, 15. März 1980.

⁶⁸ DSS, 8.1.3 Automatische Kartografie, Projektstand SPINNE, Bundesamt für Übermittlungstruppen (BAUEM), 30. Oktober 1980.

⁶⁹ DSS, 8.1.3 Automatische Kartografie, Scherrer (BAUEM) an den Korpskommandant, 9. März 1981.

Topografen Höhenkurven aus analogen Karten extrahieren und digitalisieren konnten.

Das Bundesamt für Übermittlungstruppen finanzierte das Projekt Spinne, bereits im Januar 1981 wurden die Gelder jedoch massiv gekürzt. Weil sich das EMD in einer finanziellen Schieflage befand, stand die «[d]igitalisierte Schweiz [...] ‹unter dem roten Strich› beim Generalstab.»⁷⁰ Die Produktion digitaler Geodaten solle zudem von der Armee an die Landestopografie übergehen, wie Generalstabschef Jörg Zumstein im Frühjahr 1981 betonte: «[D]ie Aufgabe der Übermittler ist es, zu übermitteln, eine digitale Schweiz gehört aber in den Aufgabenbereich der Landestopografie!»⁷¹ Mit dem angeschlagenen Projekt Spinne stand auch die engmaschige Geländedigitalisierung auf dem Spiel. Eine «Arbeitsgruppe Computerkartographie», die sich im Rahmen des Projekts Spinne an der Landestopografie gebildet hatte, setzte sich jedoch für die Fortsetzung der Arbeiten ein. Das Vorhaben sollte nicht mehr unter der Federführung der GRD verfolgt werden, sondern im Projekt Dikart (Digitale Karte) gänzlich an der Landestopografie zur Vollendung kommen. Die für grössere Anschaffungen und Projekte im Bereich der elektronischen Datenverarbeitung verantwortliche EDV-Konferenz des Eidgenössischen Militärdepartements schloss sich dieser Einschätzung an und gab am 16. September 1982 die Konzeptphase für Dikart frei.⁷² Das Projekt führte im Jahr 1984 zur Anschaffung eines Raster-scanners der israelischen Firma Scitex durch die Landestopografie. Der Scanner war ursprünglich für die Mustererkennung in Textilien entwickelt worden. Die Weiterentwicklung von Rechen- und Scanmöglichkeiten ebnete – unter anderem – den Weg zur Fertigstellung des ersten digitalen Geländemodells der Schweiz seit Rimini.

Zwischen 1984 und 1996 entstand in der Folge an der Landestopografie das Geländemodell DHM25. Es basierte auf der Landeskarte 1:25 000 und wies eine Maschenweite von 25 Metern auf.⁷³ Die Herstellung von DHM25 verlief, stark vereinfacht beschrieben, folgendermassen: An der Scitex-Anlage scannten die Topografinnen und Topografen zunächst die Farbebenen braun (Höhenkurven), schwarz (Fels mit Höhenkurven), blau (Seekonturen) und grün (Waldflächen) der einzelnen Blätter der Landeskarte 1:25 000.⁷⁴ Das Zusammensetzen

⁷⁰ DSS, 8.1.3 «Automatische Kartografie», Telefonnotiz Huber (LT) und Scherrer (BAUEM), 18. März 1981.

⁷¹ Zit. n. Christoph Eidenbenz, Armand Perret, Kurt Lüthi, Vor 25 Jahren entstand an der Landestopografie die erste digitale Landeskarte. Ein beinahe vergessenes Jubiläum, in: Geomatik Schweiz 2013, Heft 10, S. 573–577, hier S. 573.

⁷² DSS, 8.1.3 «Automatische Kartografie», Christoph Eidenbenz an die Mitglieder der Projektleitung DIKART, 30. September 1982.

⁷³ In den im Modell ebenfalls enthaltenen, angrenzenden ausländischen Gebieten basierte das DHM25 auf der Landeskarte 1:50 000.

⁷⁴ Die Waldflächen enthielten zwar keine Höheninformation, halfen den Topografinnen und Topografen aber bei der Orientierung im sehr abstrakten Höhenkurvenbild. Rickenbacher, Digitale Modellierung, S. 51.

der nach Farbe und Kartenblatt getrennten Höhenkurven zu einem grossen Ganzen war ein äusserst aufwändiges Unterfangen. Anschliessend digitalisierten Mitarbeitende der Landestopografie die Höhenkurven so weit wie möglich automatisch, händische Retuschen und Ergänzungen am Bildschirm waren jedoch unverzichtbar. Die Höhenkoten wurden an einem Digitalisiertisch gänzlich von Hand erfasst. Aus diesen Arbeiten resultierte das Basismodell von DHM25, das einer direkten Digitalisierung des analogen Höhenmodells der Landeskarte entsprach.⁷⁵ Weil Gegenden mit ausgeprägtem Relief – insbesondere Alpen und Jura – in der Landeskarte weitaus reicher an Höheninformation waren als ebene Gebiete wie das Seeland, divergierte die Punktzahl im Basismodell des DHM25 stark von Kartenblatt zu Kartenblatt. Laut Martin Rickenbacher, der selbst federführend an der Erstellung des Modells beteiligt war, divergierte die Punktzahl pro Blatt von 8500 bis 290'000.⁷⁶ Für das Rastermodell des DHM25 wurde das Basismodell mittels Interpolation in ein regelmässiges 25-Meter-Gitter umgerechnet. Wie bereits bei Rimini 20 Jahre zuvor musste jedoch auch hier eine grundlegende Herausforderung von Rastermodellen bewältigt werden: Im Hochgebirge verlor das Modell an Aussagekraft, wenn die landschaftsprägenden Kreten durch die Maschen fielen.⁷⁷ Obwohl die Maschen des DHM25 hundertmal enger waren als diejenigen von Rimini, konnte so ein falscher Eindruck der Gebirgsstruktur entstehen. Zwischen 1994 und 1997 verbesserten die Topografinnen und Topografen das DHM25 deshalb weiter, indem sie die Hauptbruchkanten im Gebirge auf fotogrammetrischer Basis erfassten.⁷⁸ Das Geländemodell DHM25 war folglich weitgehend kartenbasiert, im alpinen Kretenbereich flossen aber auch Auswertungen von Luftbildern ein.

Die 1983 geäusserte Vision, dass das Bundesamt für Landestopografie künftig ein Produzent analoger *und* digitaler Rauminformation sein solle, wurde mit der Herstellung des DHM25 Wirklichkeit.⁷⁹ Es war das erste digitale Produkt des Amtes, das die gesamte Schweiz abdeckte. Die Federführung der Landestopografie bei der Herstellung digitaler Geodaten setzte sich unter anderem in Form der

⁷⁵ Rickenbacher, Höhenmodell DHM25, S. 736; ders., Die DHM-Factory oder wie DIKART aus Landeskarten Spaghettidaten fabriziert!, in: Topo 1992/71 (Mitarbeiterzeitung der Landestopografie), S. 11–14).

⁷⁶ Rickenbacher, Höhenmodell DHM25, S. 735.

⁷⁷ Ein weiteres Problem der Kretenerfassung bestand darin, dass die Höhenkurven in der Landeskarte 1:25 000 im alpinen Bereich weniger dicht waren. In der Felsdarstellung waren Höhenkurven nur in einer Äquidistanz von 100 Höhenmetern eingetragen; ausserhalb der Felsdarstellung betrug dieser Wert 20 m.

⁷⁸ Eine weitere Verbesserung des Modells bestand darin, dass das Rastermodell des DHM25 neu interpoliert wurde, und zwar mit dem Programm *dhm_int*, das das IGP der ETH Zürich eigens für diesen Zweck entwickelt hatte. Vgl. zu fotogrammetrischer Ergänzung und verbesserter Interpolation: Felix Arnet, Interpolation von DHM25 Level 2 (Berichte aus der L+T 18), Wabern 2001, S. 2.; ferner: Rickenbacher, Digitale Modellierung, S. 53 f.; ders., Gebirgswelten, S. 213.

⁷⁹ DSS, 8.1.3 «Automatische Kartografie», Kolloquium der LT-Abteilung Topografie zum Thema DIKART, 9. Mai 1983. Siehe auch Eidenbenz, Perret, Lüthi, Vor 25 Jahren, S. 574.

Geländemodelle DTM-AV und DOM⁸⁰ sowie swissALTI^{3D} fort. Letzteres ist seit 2013 flächendeckend für das gesamte Land verfügbar und unterscheidet sich von allen Vorgängermodellen dadurch, dass es nicht nur einmal von Grund auf erstellt, sondern auch regelmässig aktualisiert wird. Es basiert grösstenteils auf der Methode der Laserdatenerfassung (LiDAR). Die Datensammlung erfolgt vom Flugzeug aus unmittelbar landschaftsbasiert. Mit einer Maschenweite von nur 0.5 Metern ist swissALTI^{3D} gut 160'000-mal dichter als das 45 Jahre zuvor fertiggestellte Geländemodell Rimini.⁸¹

Fazit

Digitale Gelände- und Höhenmodelle haben sich innerhalb von sechzig Jahren von einem geheimen Datensatz, der ausschliesslich für militärische Zwecke erschaffen wurde, zu einer Grundlage zahlloser militärischer und ziviler Anwendungen entwickelt. swissALTI^{3D} kommt wie seine Vorgängermodelle in militärischen Zusammenhängen zum Einsatz und ist für Sichtbarkeits- und Ausbreitungsanalysen, beispielsweise für Lärm-Ausbreitung oder für die Berechnung der Sichtbarkeit von Windrädern, unverzichtbar. Längst sind Gelände- und Höhenmodelle aber auch im Alltag der Schweizer Bevölkerung angekommen. So dienen sie beispielsweise bei der Planung von Wanderrouten (Höhenprofile) und tragen zur Lawinenwarnung bei: Die Zugänglichkeit und Verbreitung digitaler Geländemodelle stieg über die Jahrzehnte mehr oder weniger konstant. Weniger linear war hingegen die Entwicklung der Produktionsweise der Modelle. Die Frage, ob digitale Geländemodelle aus Karten oder Luftbildern abgeleitet werden sollten, war von wiederholten Richtungsänderungen geprägt. Rimini war kartenbasiert, in den 1970er Jahren folgten luftbildbasierte Versuche, die durch die Entwicklung der Scannertechnik jedoch in den 1980er Jahren erneut zugunsten kartenbasierter Techniken fallen gelassen wurden. Die LiDAR-Technologie eröffnete um die Jahrtausendwende schliesslich neue Möglichkeiten, indem Höhendaten in weiten Teilen der Schweiz unmittelbar landschaftsbasiert und lasergestützt vom Flugzeug aus erhoben werden konnten. Die Höhenextraktion aus Luftbildern, wie sie in der Schweiz bereits in den 1970er Jahren angestrebt und für die Bruchkanten im DHM25 angewendet wurde, war damit jedoch nicht

⁸⁰ DTM-AV: Digitales Terrainmodell der Amtlichen Vermessung. Dieses Geländemodell wurde zwischen 2000 und 2008 mittels flugzeuggestütztem Laserscanning erstellt und deckte die gesamte Schweiz bis zu einer Höhe von 2000 m ü. M. ab. Parallel dazu entstand auch das ebenfalls flächendeckende Digitale Oberflächenmodell DOM (zu Oberflächenmodellen vgl. Anm. 13).

⁸¹ Bundesamt für Landestopografie swisstopo, swissALTI^{3D}. Online: <https://www.swisstopo.admin.ch/de/geodata/height/alti3d.html> (4. 5. 2023).

obsolet. Vielmehr bestehen laser- und luftbildgestützte Wege zu digitalen Geländemodellen heute parallel zueinander.⁸²

Für die Geschichte digitaler Gesellschaften ist die Erkenntnis zentral, dass analoge Datenquellen und Sehgewohnheiten den Digitalisierungsprozess massgeblich prägten. Dies zeigte sich bereits darin, dass das Geländemodell Rimini zunächst als ein Netz unregelmässiger Dreiecke konzipiert wurde: Eine solche Struktur barg Vorteile bei der Beschreibung des Reliefs, welche aus Jahrhunderten der Triangulationsarbeit bestens bekannt waren, und machte es möglich, die Höhendaten ohne weitere Rechenarbeiten direkt aus der analogen Karte auszulesen. Für die damaligen Computer mit ihrer beschränkten Rechenleistung waren unregelmässige Dreiecksnetze jedoch schwerere Kost als regelmässige Raster, was die Entwickler von Rimini bei der Strukturierung des Modells zu einer Kehrtwende bewegte. Das kartenbasierte Geländemodell Rimini und das weitgehend kartenbasierte Modell DHM25 zeigten ihre enge Verbindung zur analogen Karte wiederum durch ihre Maschenweiten von 250 respektive 25 Metern, die sich am Massstab der Landeskarte 1:25 000 orientierten. Die Ausgabeprogramme, die das IGP für die Test-Geländemodelle der frühen 1970er Jahre entwickelte, sind ein weiteres Zeugnis analoger Gewohnheiten und Vorbedingungen, die die digitale Welt beeinflussten. Die Programme verwandelten die Zahlenberge der Geländemodelle in menschenlesbare Formen zurück und setzten auf altbekannte Darstellungsweisen. Kurvenkarten, Panorama-Ansichten, Wirkungskarten und Sichtbarkeitskarten knüpften an vordigitale Muster und vor allem an die Denk- und Sehgewohnheiten ihrer menschlichen Betrachter an. Die Digitalisierung des Schweizer Reliefs war deshalb kein rein digitales Vorhaben, sondern stellte vielmehr eine Synthese digitaler und analoger Kartierungspraktiken dar.

Felix Frey, Bundesamt für Landestopografie swisstopo, Seftigenstrasse 264, 3084 Wabern, felix.frey@swisstopo.ch

⁸² In Gebieten über 2000 m ü. M., für die LiDAR-Daten nicht flächendeckend vorliegen, kommen auch Luftbilder (Stereokorrelation) zum Einsatz. In der jüngsten Messkampagne, die 2025 abgeschlossen wird, werden auch Gebiete über 2000 m ü. M. mit LiDAR erfasst. Vgl. Bundesamt für Landestopografie swisstopo (Hg.), swissALTI^{3D}. Das hoch aufgelöste Terrainmodell der Schweiz (Produktinformation), Wabern 2022, S. 8.