



MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Felsdarstellungen in großmaßstäbigen Karten:
Evaluierung bestehender Methoden und Umsetzung
einer digitalen und weitgehend automatisierten
Darstellung“

verfasst von / submitted by

Matthias Grünwald, BSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree
of

Master of Science (MSc)

Wien, 2015 / Vienna 2015

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 066 856

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Kartographie und Geoinformation

Betreut von / Supervisor:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Karel Kriz

Inhalt

Inhalt.....	i
Abbildungsverzeichnis	iv
Tabellenverzeichnis	vi
Kurzfassung	vii
Abstract	viii
Vorwort	ix
1 Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung.....	1
1.2 Wissenschaftlicher Hintergrund	2
1.3 Wissenschaftliche Fragestellungen und Hypothesen	4
1.4 Aufbau der Arbeit und Methode	5
2 Relevanz von Felsdarstellungen	6
2.1 Mehrwert durch Qualität	8
2.2 Notwendigkeit der Automatisierung	10
3 Historische Entwicklung der Geländedarstellung	12
3.1 Signaturendarstellungen	12
3.2 Naturgetreue Reliefformen.....	13
3.3 Schraffendarstellungen im Grundriss.....	13
3.3.1 Böschungsschraffen.....	14
3.3.2 Schattenschraffe.....	15
3.4 Höhenlinien	16
3.5 Schummerung.....	16
4 Einordnung von Felsdarstellungen	18
4.1 Freie oder genetische Methoden	18
4.2 Geometrisch gebundene Methode.....	21
4.2.1 Genetische Methoden mit Höhenlinien größerer Äquidistanz.....	22

4.2.2	Kombination Fels und Höhenlinien	23
4.2.3	Methoden mit Höhenlinien als primäres Element	24
4.3	Geometrisch integrierte Methode.....	25
5	Analyse bekannter Felsdarstellungsmethoden	28
5.1	Schweizer Methode	28
5.1.1	Felsschraffen und Gerippe	29
5.1.2	Höhenlinien	34
5.1.3	Schummerung	35
5.1.4	Kritik an der Darstellung	36
5.2	Haarstrichmethode von Ebster	37
5.2.1	Höhenlinien	38
5.2.2	Schraffen	38
5.2.3	Kantenzeichnung, Gerippe	40
5.2.4	Kritik an der Darstellung	41
5.3	Geometrisch integrierte Methode Brandstätters	42
5.3.1	Höhenlinien – Scharungsplastik	43
5.3.2	Scharungsersatz	45
5.3.3	Kantenzeichnung	47
5.3.4	Gefügezeichnung	48
5.3.5	Schummerung	48
5.3.6	Weitere Bearbeitungen nach Brandstätter-Methode	49
5.3.7	Kritik an der Darstellung	50
5.4	Prinzipien und Elemente der Darstellung	52
6	Konzept der Automatisierung	54
7	Formalisierung von Prinzipien der Darstellung	56
7.1	Scharungsersatz - Einsatz horizontaler und vertikaler Linien/Schraffen	56
7.2	Fels-Schattenschraffen - schattenplastische Darstellung	57
7.3	Kantenzeichnung und Felsabgrenzung	58

7.4 Strichcharakteristik.....	59
8 Methode der Automatisierung.....	61
8.1 Anforderungen an die Methode.....	61
8.2 Elemente der automatisierten Darstellung	62
8.2.1 Horizontale und vertikale Linien	62
8.2.2 Kantenzeichnung	62
8.2.3 Felsabgrenzung.....	63
8.2.4 Höhenlinien	64
8.2.5 Weitere Elemente	64
8.3 Datengrundlage	65
8.3.1 Testgebiet	65
8.4 Ablauf.....	66
8.4.1 Datengenerierung.....	69
8.4.2 Kartographische Darstellung	78
8.4.3 Graphische Überarbeitung.....	80
9 Ergebnisse der exemplarischen Umsetzung	82
9.1 An manuelle Methoden angelehnte Darstellungen	82
9.1.1 Schweizer Methode	83
9.1.2 Haarstrichmethode.....	84
9.1.3 Geometrisch integrierte Methode nach Brandstätter	85
9.2 Allgemeine Probleme der Darstellungen	86
9.3 Integration in Karte	87
10 Zusammenfassung	88
11 Literatur	I

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Prinzip der Böschungsschraffe [IMH-65; 241]	14
Abb. 2: Dritte Österreichische Landesaufnahme [KRI-11; 109].....	15
Abb. 3: Prinzip der Schattenschraffe [IMH-65; 241].....	15
Abb. 4: Ausschnitt Dufourkarte [GIL-98; 13].....	19
Abb. 5: Ausschnitt Siegfriedkarte [GIL-98; 13].....	19
Abb. 6: Ausschnitt Alpenvereinskarte Nr. 51, „Brentagruppe - Gruppo di Brenta“ 1:25.000 (nicht maßstabsgetreu).....	20
Abb. 7: Ausschnitt Alpenvereinskarte Nr. 5/3, „Karwendelgebirge - Ost“ 1:25.000 (nicht maßstabsgetreu)	22
Abb. 8: Ausschnitt Alpenvereinskarte Nr. 0/2, „Chomolungma - Mount Everest“ 1:25.000 (nicht maßstabsgetreu).....	24
Abb. 9: Ausschnitt Österreichische Karte 1:50.000, 3227 – Grossglockner (nicht maßstabsgetreu)	25
Abb. 10: Ausschnitt Karte Glärnisch [DAH-08; 11].....	26
Abb. 11: Ausschnitt Schweizer Landeskarte 1178, Gross Litzner 1:25.000 (nicht maßstabsgetreu)	28
Abb. 12: Konturstriche, Formstriche, Gerippe [GIL-98; 14]	29
Abb. 13: Gerippe, Füllschraffen und Felsdarstellungselement [GIL-98; 14].....	29
Abb. 14: Höhenlinien, vertikale Schraffen und horizontale Schraffen [GIL-98; 14].....	31
Abb. 15: Beleuchtungsmodell [GIL-98; 14], Hauptbeleuchtungsrichtung und sekundäre Beleuchtungsrichtung [JEN-14; 366]	32
Abb. 16: Durchschnittliche Schraffendichte [JEN-14; 365 u. 367]	33
Abb. 17: Strichcharakteristik und Leerräume [JEN-14; 368].....	34
Abb. 18: Strichstärke und Charakteristik der Zähllinien [GIL-98; 18]	35
Abb. 19: Ausschnitt Alpenvereinskarte Nr. 30/3, „Ötztaler Alpen, Wildspitze“ 1:25.000 (nicht maßstabsgetreu).....	37
Abb. 20: Ausschnitt Alpenvereinskarte Nr. 44, „Hochalm spitze-Ankogel“ 1:25.000 (nicht maßstabsgetreu)	42
Abb. 21: Scharungsdiagramm für 1:25.000 [BRA-83; 87]	43

Abb. 22: Scharungersatz und Steilwandkennzeichnung; Kartenausschnitt Gosaukamm 1:10.000 (nicht maßstabsgetreu) [BRA-83].....	46
Abb. 23: Ausschnitt Alpenvereinskarte Nr. 0/9, „Cordillera Real, Süd - Illimani“ 1:50.000 (nicht maßstabsgetreu).....	49
Abb. 24: Kartenausschnitt Gosaukamm 1:25.000 (nicht maßstabsgetreu) [BRA-83]	50
Abb. 25: Lichtmodell nach Hurni [HUR-95]	57
Abb. 26: Orthofoto „Hohe Veitsch Nord“	65
Abb. 27: Prozesse der Automatisierung und Datentypen.....	66
Abb. 28: Vereinfachter Ablauf Datengenerierung	69
Abb. 29: Klassifizierung Hangneigung und Exposition.....	72
Abb. 30: Visualisierte horizontale und vertikale Linienelemente	73
Abb. 31: Manuelle Felsabgrenzung	75
Abb. 32: Manuell digitalisierte Kanten im Testgebiet	76
Abb. 33: Test-Webinterface für Felsdarstellungen	79
Abb. 34: Filteroperationen für charakteristischen Schraffenstrich.....	80
Abb. 35: Kombination von Darstellungen	81
Abb. 36: Automatisierte Schattenschraffendarstellung.....	83
Abb. 37: Automatisierte Haarstrichfelszeichnung	84
Abb. 38: Automatisierte Darstellung nach Brandstätter	85
Abb. 39: Kartenprobe des Testgebiets	87

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Hochgebirgsäquidistanzen nach Brandstätter	44
Tab. 2: Böschungsklassen nach Brandstätter [BRA-83; 118]	45
Tab. 3: Methodenvergleich der Felsdarstellungen	52
Tab. 4: Klassengrenzen der Exposition in Grad	71
Tab. 5: Klassengrenzen der Hangneigung in Grad	71

Kurzfassung

Topographische Felsdarstellungen sind Teil der Geländedarstellung und dienen somit als Orientierungshilfe im alpinen Gelände. Als charakteristisches Element von topographischen Hochgebirgskarten sind sie prägendes Merkmal des gesamten Kartenbildes. Die traditionell mit hohem Aufwand verbundene manuelle Felszeichnung, ist aus heutiger Sicht nicht mehr wirtschaftlich durchführbar. Daher gehen die Bestrebungen seit einigen Jahren in Richtung digitaler, automatisierter Erstellung von Felszeichnungen.

Die Grundlage der vorliegenden Arbeit liegt in der Analyse und dem Vergleich bekannter, manueller Methoden der Felszeichnung, wie etwa die Schweizer Methode und die Methoden des Österreichischen Alpenvereins. Dabei werden die wichtigen Darstellungselemente und Prinzipien der Felszeichnung beschrieben. Dazu zählen unter anderem Aufbau der Felszeichnung, Schraffen- und Kantenzeichnung, Höhenlinien im Fels sowie Scharungsersatz und Scharungsplastik.

Neben der Evaluierung bekannter, manueller Methoden und der Analyse bisheriger, digitaler Ansätze, soll ein neuer Ansatz zur digitalen und weitgehend automatisierten Erstellung von Felsdarstellungen gezeigt werden. Als Datengrundlage dient dabei ein Rasterhöhenmodell. Um die Felsdarstellung für die Automatisierung zu formalisieren, werden die bekannten, manuellen Methoden der Felszeichnung und deren Darstellungsprinzipien herangezogen.

Die beispielhafte Umsetzung des Ablaufs gliedert sich in die Datengenerierung, die kartographische Umsetzung und die graphische Überarbeitung. Aus der Grundlage des digitalen Geländemodells werden automatisch horizontale und vertikale Linien generiert. Des Weiteren wird die Information der Hangneigung und der Exposition abgeleitet und den Daten zugewiesen. Die formgebenden Kanten und die Felsabgrenzung werden manuell digitalisiert und dem Modell hinzugefügt.

Die gezeigten Felsdarstellungen orientieren sich stark an den bekannten Darstellungsmethoden (wie etwa der Schweizer Manier der Felszeichnung) und deren Prinzipien. Das vorliegende Userinterface (Weboberfläche) bietet aber die Möglichkeit, mit verschiedenen Darstellungsmethoden zu experimentieren und dadurch neuartige Darstellungsweisen zu finden.

Abstract

Rock depiction, as part of topographic relief representation, is essential for navigation in mountainous areas. Furthermore it's a characteristic attribute of high mountain maps. In the past, rock depictions were drawn by hand. Today these traditional methods can't be realized due to high costs and effort. Therefore many attempts towards automated rock depiction were made in the last years, but practical solutions are still not available.

The present work is based on analysis and comparison of well-known manual rock depiction methods like the "Swiss manner", or the traditional methods of the Austrian Alpine Association ("Alpenverein"). It includes a description of the most important elements and principles of these methods like structure of rock depictions, hachure- and edge-drawing and contour lines as part of the depiction.

In addition to the evaluation of existing manual and digital methods, a new approach towards semi-automated creation of rock depictions is presented. The data is derived from digital elevation models. Formalization for automated processes has been done by analyzing the manual rock depiction methods.

The exemplary process of automating rock depiction is divided into data generation, cartographic design and graphic revision. Horizontal and vertical lines are generated from the DEM. The information of slope and exposition is also derived and allocated to the vector data. Relevant terrain edges and boundary of the rock area are manually created and added to the model.

The generated "hachure styled" rock depictions are based on known and manually drawn rock depiction methods. A simple Web-interface enables the user to create different kinds of depictions, as well as editing and improving existing depictions. Therefore it is also possible to create new ways of drawing rock depictions.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 2014/15 im Rahmen meines Masterstudiums der Kartographie und Geoinformation an der Universität Wien. Bereits 2008 wurde ich in der einführenden Vorlesung für Kartographie, erstmals mit dem Thema konfrontiert. Damals präsentierte Ass.-Prof. Mag. Dr. Karel Kriz die Felsdarstellung als herausragendes Merkmal topographischer Hochgebirgskarten und deren automatisierte Erstellung als besondere, aber noch ungelöste Herausforderung der Kartographie.

Während des Bachelorstudiums der Geographie, wuchs schnell mein Interesse an der Kartographie und besonders an topographischen Karten. Seitdem schenkte ich auch den Felsdarstellungen in Karten immer spezielle Beachtung. Insbesondere der künstlerische Aspekt und der hohe Aufwand der Erstellung, faszinierten mich. Es ist beeindruckend, wie gute Felsdarstellungen eine ganz besondere Schönheit und Ästhetik in Hochgebirgskarten erzeugen können.

Im Laufe meines Masterstudiums wurden mit Ass.-Prof. Mag. Dr. Karel Kriz bald konkrete Gespräche zur Themenwahl der Masterarbeit geführt und die ersten Ideen entwickelt. Die praktische Umsetzung wurde mir im Rahmen einer Anstellung als Projektmitarbeiter am Institut für Geographie und Regionalforschung, ermöglicht. Die Präsentation der ersten Ergebnisse fand bereits im April 2014 beim „9th ICA Mountain Cartography Workshop“ in Banff, Kanada statt. Die überwiegend positiven Reaktionen motivierten mich zusätzlich für weitere Arbeiten zu diesem Thema.

Bedanken möchte ich mich in erster Linie bei meinem Betreuer, Herrn Ass.-Prof. Mag. Dr. Karel Kriz, für seine Unterstützung, sowohl bei der praktischen Umsetzung, als auch beim Verfassen der Arbeit selbst. Seine inhaltliche Kompetenz und das sachliche Feedback, haben meiner Arbeit fortlaufend neue Impulse gegeben. Aber auch seine persönliche Begeisterung für das Thema, war für mich immer Ansporn und hat zum Gelingen beigetragen. Zudem war Ass.-Prof. Mag. Dr. Karel Kriz zu jeder Zeit von einer positiven Umsetzung des Projekts überzeugt und hat mir die Möglichkeit gegeben, die Ergebnisse unter Experten zu präsentieren.

Daneben gilt mein Dank Jennifer Frühbeis MA die mir während meiner Schreibphasen mit ihrer Zuversicht und positiven Art, aber auch mit ihrer Beharrlichkeit, geholfen hat mich fortwährend zu motivieren.

Ganz besonders danken möchte ich auch meiner Mutter Ilse Grünwald für ihre Unterstützung in jeder Hinsicht. Ohne ihre Hilfe wäre mir das Studium der Geographie und auch der Kartografie und Geoinformation nicht möglich gewesen.

1 Einleitung

Die alltagssprachlichen Begriffe Fels oder Felsen bezeichnen größere Gebilde aus Festgestein, die eine zusammenhängende Einheit darstellen. Es handelt sich um freiliegende und/oder aufragende Massen von fest verbundenen Gesteinen. Aus geowissenschaftlicher Sicht wird mit Fels ein Verband von gleichartigen oder ungleichartigen Gesteinen bezeichnet. Dieser Verband ist kein monolithischer Körper, sondern wird durch Trennflächen mehr oder weniger stark zerlegt. [SPE-15]

Die Felsdarstellung topographischer Karten ist eine Formzeichnung, die nicht alleine auf einer geometrischen Konstruktion beruht. Sie beinhaltet meist auch eine mehr oder weniger freie Strichzeichnung. Zweck von Felsdarstellungen ist die Wiedergabe der individuellen Eigenheit des Felskörpers und der Veranschaulichung der Verknitterung des Felsgeländes. [ARN-75; 299]

Im Rahmen der Einleitung wird die Thematik der automatisierten Felsdarstellung erläutert und die Zielsetzung der Arbeit erklärt. Zudem werden die wichtigsten Arbeiten zu diesem Thema vorgestellt und der grundlegende Aufbau der verwendeten Methode beschrieben.

1.1 Problemstellung

Topographische Felsdarstellungen, als Teil der Geländedarstellung, dienen als Orientierungshilfe im alpinen Gelände. Als charakteristisches Element von topographischen Hochgebirgskarten sind sie zudem prägendes Merkmal des Kartenbildes. Die traditionell mit hohem Aufwand verbundenen manuellen Darstellungsmethoden, sind aus heutiger Sicht nicht mehr wirtschaftlich durchführbar. Daher gehen die Bestrebungen seit einigen Jahren in Richtung digitaler, automatisierter Erstellung von Felszeichnungen.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den bisherigen, manuellen Darstellungsweisen, vergleicht deren Methoden und analysiert die grundlegenden Elemente dieser Felszeichnungen. Mit diesen traditionellen Darstellungsformen und deren Elementen als Grundlage, wird ein Ansatz zur digitalen und weitgehend automatisierten Felsdarstellung gezeigt.

Die Relevanz des Themas konzentriert sich auf topographische Karten und Kartenprodukte, die alpines Gelände beschreiben. Dazu gehören gedruckte Kartenprodukte, sowie auch digitale Produkte, die topographische Karten als Grundlage nutzen. Felsdarstellungen finden vor allem in Karten großer Maßstäbe ihre Anwendung - das sind Maßstäbe von 1:10.000 bis etwa 1:100.000.

Gebirgsregionen gewinnen weltweit zunehmend an Bedeutung. In der Vergangenheit waren es eher politische und territoriale Interessen die in diesen Regionen kartographische Arbeit notwendig machten. In neuerer Zeit ist hier ein deutlicher Wandel zu beobachten.

Die soziale und ökonomische Bedeutung alpiner Regionen ist gestiegen. Hierbei spielt der Mensch die zentrale Rolle. Die Nutzung, aber auch der Schutz steht heute im Vordergrund. Themen wie Naturschutz, Tourismus, Verkehr, Naturgefahren, Regionalentwicklung und Raumplanung gewinnen in Gebirgsregionen immer mehr an Relevanz. [KRI-11; 115]

Daraus folgt, dass auch die Kommunikation raumbezogener Informationen alpiner Gebiete an Relevanz gewinnt und der Bedarf an kartographischen Lösungen steigt. Diese Lösungen bereitzustellen, ist die Aufgabe der topographische Hochgebirgskartographie. Sie beschäftigt sich mit den Besonderheiten der kartographischen Darstellung von Hochgebirgen – dazu zählt vor allem die topographische Geländedarstellung.

Eine überaus intensive Auseinandersetzung mit der Geländedarstellung hat traditionell vor allem in den Alpenländern Österreich und der Schweiz stattgefunden. Hier wurde sowohl durch die amtliche Kartographie, als auch durch die alpinen Vereine, eine qualitativ hochwertige Kartographie begründet, die auch heute noch fortgeführt wird. [KRI-11; 106]

Bei der Felsdarstellung handelt es sich neben den Höhenlinien und der Schummerung, um einen essentiellen Bestandteil dieser Geländedarstellungen topographischer Hochgebirgskarten. Eine wirtschaftliche Produktion der Felsdarstellungen ist daher als wünschenswert anzusehen.

1.2 Wissenschaftlicher Hintergrund

Die Thematik der automatisierten Felsdarstellungen wurde bereits in wissenschaftlichen Arbeiten behandelt. Vor allem die Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich beschäftigt sich schon seit einigen Jahren mit Möglichkeiten zur Automatisierung von Felsdarstellungen. Aber auch anderenorts wurde und wird zu dem Thema publiziert und gearbeitet. Hier folgt eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Arbeiten zur bestehenden Problematik.

Erste Ansätze wurden von Hurni und Neumann bereits in den 1990er Jahren in dem Artikel „Computergestützte Erstellung topographischer Hochgebirgskarten – ausgewählte Probleme, diskutiert am Beispiel einer Karte des Bieltales (Silvretta)“ gezeigt. [HUR-98]

In dem Artikel werden Algorithmen zur Formalisierung einer einfachen Gerippeliniendarstellung vorgestellt und in einem halbautomatischen Programm umgesetzt. Die Formalisierung betrifft vor allem die Strichstärken von Schraffen, die in Abhängigkeit von der Exposition variiert werden. Des Weiteren wird eine Funktion zur Generierung einer gewissen Strichrauigkeit eingesetzt. Ergebnis ist eine reine Gerippeliniendarstellung, die nur Kantenstruktur des Felsens darstellt aber keine Füllschraffen beinhaltet. Erprobt wurde das System anhand der Bieltalkarte.

Dahinden beschäftigt sich im Rahmen seiner Dissertation (Methoden und Beurteilungskriterien für die analytische Felsdarstellung in topografischen Karten) ebenfalls mit den Möglichkeiten der Automatisierung von Felsdarstellungen. [DAH-08]

Die Arbeit umfasst unter anderem die Ableitung und Tests von Kontourlinien im Fels, die automatische Generierung von Schraffenmustern sowie Möglichkeiten zur Kantendetektion für Gerippeliniendarstellungen. Die Datengrundlage bilden hierbei hauptsächlich Rastergeländemodelle. Auch die Kombination der einzelnen Elemente in Gesamtdarstellungen sowie die Beurteilung von Darstellungen wird gezeigt und behandelt.

Im Paper “Cartography of high mountain areas – testing of a new digital cliff drawing method” von Gondol (2008) wird ebenfalls ein Ansatz zur Automatisierung von Felsdarstellungen gezeigt [GON-08]. Die Detektion von Felsgebieten erfolgt über eine Orthofoto-Klassifizierung der Bodenbedeckung. Des Weiteren werden die gefundenen Felsgebiete nach Hangneigung und Exposition klassifiziert (36 Klassen) und mittels Schraffendarstellung symbolisiert.

Im Rahmen der “26th International Cartographic Conference” 2013 in Dresden zeigten Geisthövel und Hurni die neuesten Arbeiten der ETH Zürich zum Thema Felsdarstellungen [GEI-13]. Im Vortrag “Toward Automatic Swiss Style Rock Depiction“ wurden Methoden zur automatischen Ableitung einer „Schweizer Felsdarstellung“ aus Höhenmodellen gezeigt. Es wurden zwei Algorithmen präsentiert, um die Gerippestruktur der Darstellung zu erzeugen. In weiterer Folge sollen diese Strukturen mit den bekannten Schattenschraffen gefüllt werden. Es handelt sich um einen vielversprechenden Ansatz. Konkrete Ergebnisse wurden jedoch bisher nicht veröffentlicht.

Einen weiteren Ansatz zeigt Patterson in seinem Artikel “Terrain Texture Shader, Software for Enhancing Shaded Relief on Maps”. Hierbei werden Geländemodelle genutzt um mit der Software „Terrain Texture Shader“ Felstexturen ähnlich der Schweizer Manier herzustellen [PAT-14]. Das Programm nutzt Geländemodelle um Schummerungen zu erzeugen, die über eine Reihe von Parametern definiert werden können. Einschränkungen dürfte diese Methode jedoch derzeit hinsichtlich des Maßstabs und der Geländeform haben. Einerseits sind ansprechende Ergebnisse lediglich bei schroffen Gipfeln, die über sanfterem Gelände aufragen zu erwarten. Andererseits scheint die Methode eher für mittlere Maßstäbe geeignet zu sein.

Auch in Ländern mit geringeren Anteilen alpiner Landschaften sind topographische Felsdarstellungen Thema aktueller Forschungen. Seit einiger Zeit wird an der Karls-Universität Prag in Richtung Detektion und Darstellung von Fels in topographischen Karten gearbeitet [LYS-13]. Hier konzentriert man sich vor allem auf die Darstellung von Sandsteinfelsen, die einige Besonderheiten aufweist. Vor allem die ausgeprägte vertikale Dimension (hohe Steilheit) und die damit verbundene geringe Darstellungsfläche in der Karte sind kennzeichnend.

1.3 Wissenschaftliche Fragestellungen und Hypothesen

Grundlagen und Ansätze für automatisierte Methoden zur großmaßstäbigen Felsdarstellung sind also vorhanden. Konkrete Umsetzungen fehlen jedoch. Ziel soll es sein, eine exemplarische Umsetzung einer möglichst weitgehenden Automatisierung von Felsdarstellungen zu erstellen. Grundlage dafür stellt die Evaluierung bestehende Felsdarstellungsmethoden dar. Für die vorliegende Arbeit ergibt sich daher folgende primäre Fragestellung:

Wie kann ein Ansatz zur automatisierten Felsdarstellung umgesetzt werden?

Die Grundlagen eines automatisierten Ansatzes müssen digitale Daten des abzubildenden Geländes sein. Hierfür kommen Geodaten wie digitale Höhenmodelle, Höhenlinien und Orthofotos in Frage. Als primäre Datenquelle eignen sich digitale Höhenmodelle, aus denen weitere Daten, wie die Hangneigung und Exposition abgeleitet werden können. Der Verarbeitungsprozess umfasst Raster- sowie Vektordatensätze, wobei am Ende der Verarbeitungskette ein Rasterbild der Felsdarstellung steht. Für eine automatisierte Umsetzung werden programmierbare GIS-Funktionalitäten benötigt.

Um die Arbeit weiter einzugrenzen, wurden ergänzende Fragestellungen formuliert. Diese zielen einerseits auf die theoretischen Grundlagen einer möglichen Automatisierung hin, andererseits auf Probleme und Beschränkungen einer solchen Lösung.

Was sind die grundlegenden Elemente und Prinzipien traditioneller und manuell erstellter Felsdarstellungen?

In manuellen Felszeichnungen können verschiedene wiederkehrende Darstellungselemente sowie Prinzipien der Darstellung erkannt werden. Bei den Darstellungselementen handelt es sich um Symbolisierungen von natürlichen Gegebenheiten des Geländes. Das sind beispielsweise Kantenlinien, Grenzen des Felsgeländes sowie flache und steile Felsbereiche. Zudem beinhalten Felszeichnungen auch Elemente, die keine entsprechenden Repräsentationen in der Natur besitzen. Dazu zählen etwa die Höhenlinien. Diese Elemente werden mittels Prinzipien abgebildet, die eine realistische beziehungsweise natur- und maßstabsgetreue Darstellung von Fels ermöglichen. Verschiedene Felsdarstellungen verwenden ähnliche, aber auch unterschiedliche Darstellungsweisen dieser Bausteine.

Wie können diese Prinzipien für eine digitale Automatisierung formalisiert werden?

Felsdarstellungen nutzen verschiedene Prinzipien, die jedoch nur zum Teil streng festgelegt oder definiert sind. Für eine digitale Umsetzung müssen diese Prinzipien formalisiert werden. Es ist möglich Algorithmen zu finden, die auf Basis digitaler Höhenmodelle und daraus abgeleiteter Daten, die Prinzipien manueller Methoden nachbilden.

Bis zu welchem Grad ist eine Automatisierung möglich und sinnvoll?

Es ist anzunehmen, dass eine vollständige Automatisierung möglich ist. Andererseits kann davon ausgegangen werden, dass die Qualität der Darstellung durch gezielte manuelle Arbeitsschritte erhöht werden kann, oder erst dadurch in zufriedenstellender Form erreicht wird. Es gilt zu zeigen, in welchem Ausmaß manuelle Arbeitsschritte notwendig sind, um befriedigende Ergebnisse zu erhalten. Der Aufwand und die benötigten Fachkenntnisse der Eingriffe in den automatisierten Ablauf sollten sich jedenfalls innerhalb eines vertretbaren Rahmens bewegen.

1.4 Aufbau der Arbeit und Methode

Die Grundlage der Arbeit liegt in der Analyse und dem Vergleich manueller Methoden der topographischen Gelände- und Felsdarstellung. Es wird ein historischer Überblick über die Entwicklung der Geländedarstellung und deren Elemente gegeben. Dazu zählen Signaturendarstellungen, Schraffentechniken sowie Höhenlinien und die Schummerung. Basis für die Analyse ist eine chronologische Übersicht und Einordnung von bekannten Felszeichnungen. Das sind die Schweizer Methode der Felsdarstellung und die Methoden des Österreichischen Alpenvereins. Des Weiteren werden die wichtigen Darstellungselemente und Prinzipien beschrieben und verglichen. Dazu zählen unter anderem der generelle Aufbau, die unterschiedlichen Schraffenmethoden, die Kantenzeichnungen sowie die Darstellung von Höhenlinien im Fels. Spezielle Methoden der Felszeichnungen wie die Steilwandkennzeichnung, die Haarstrichtechnik oder die Schweizer Felsschraffenmethode, werden ebenfalls erläutert.

Neben der Evaluierung bekannter manueller Methoden und der Analyse bisheriger digitaler Ansätze wird ein neuer Ansatz zur digitalen und weitgehend automatisierten Erstellung von Felsdarstellungen gezeigt. Dieser Ansatz basiert auf den beschriebenen Prinzipien der analysierten Methoden der Felsdarstellung. Für die Automatisierung werden Möglichkeiten zur Formalisierung der im Vorfeld herausgearbeiteten Prinzipien und Elemente aufgezeigt.

Der Prozess der Automatisierung wird beispielhaft umgesetzt und beschrieben. Als Datengrundlage für den Ansatz der Automatisierung dient ein Rasterhöhenmodell. Der Ablauf der gezeigten Methode gliedert sich in die Datengenerierung, eine kartographische Präsentation und die graphische Überarbeitung. Dabei werden aus dem digitalen Höhenmodell Vektordaten abgeleitet und in weiterer Folge zu einer Felsdarstellung im Rasterbildformat verarbeitet. Durch die exemplarische Umsetzung wird verdeutlicht, in wie weit eine Automatisierung möglich und sinnvoll ist.

2 Relevanz von Felsdarstellungen

Der Nutzen von Felsdarstellungen ergibt sich vor allem bei Anwendungen zur Navigation im Gelände, der Routenplanung, bei Planungsarbeiten von Bauvorhaben und Schutzmaßnahmen sowie generell beim Erkennen von Gefahrenbereichen und Gefahrensituationen im Gebirge. Vor allem letztere Einsatzmöglichkeit ist für die breite Gruppe von Bergsportlerinnen und Bergsportlern von hoher Relevanz. Bei der Bewegung in alpinem Gelände nimmt der Fels, bedingt durch seine besonderen Eigenschaften, eine besondere Stellung ein.

Aus historischer Sicht kann Fels primär als **Hindernis** im Gelände gesehen werden. Diese Eigenschaft ist jedoch für den Großteil der heutigen Outdoor-Begeisterten immer noch von größter Bedeutung. Bedingt durch die Steilheit, sind felsige Bereiche im Allgemeinen nur schlecht begehbar oder erreichbar. Sie werden daher zumeist gemieden. Dies gilt bei der sportlichen Bewegung am Berg ebenso wie für sonstige Unternehmungen, wie etwa Bautätigkeiten.

Die Bedeutung des Felsens als Hindernis, wird schon durch das historische Zitat von Friedrich dem Großen verdeutlicht, der einem Militärtopographen folgende Anweisung erteilte:

„Dort wo ich nicht hinkomme, da mache er einen Klecks.“ [IMH-65; 10]

Felsbereiche gelten zudem als besonders **gefährliche Gebiete** des alpinen Geländes. Durch die Eigenschaften der Steilheit, der besonderen Oberflächenbeschaffenheit und der ungleichmäßigen Morphologie, besteht hier generell erhöhtes Gefahrenpotential. Einerseits besteht Gefahr bei Bewegung, die im Fels stattfindet - Begehung von Fels (beispielsweise Klettern) stellt grundsätzlich hohe Anforderungen an Mensch und Material. Andererseits gehen vom Felsen auch Gefahren für das direkte, aber auch weitere Umfeld aus. Hierbei sind etwa alpine Gefahren wie Steinschläge und Lawinenabgänge zu nennen, die durch Felsbereiche begünstigt werden. Eine gute Felsdarstellung trägt also dazu bei, Gefahren im alpinen Gelände zu erkennen und zudem besser einzuschätzen zu können.

Weitere Bedeutung kommt dem Felsen als **Orientierungsmerkmal** im alpinen Gelände zu. Steile Gipfel und Felsformationen ragen über flacheres Gelände hinaus und sind deshalb über große Distanzen erkennbar. Individuelle Formen machen Felsen zu markanten Punkten im Gelände, die sich bestens zur schnellen Orientierung eignen. Besonders diese markanten Formen gilt es in topographischen Karten abzubilden, um eine optimale Orientierung zu ermöglichen. Somit unterstützt eine qualitativ hochwertige Felsdarstellung den Hauptnutzen jeder topographischen Hochgebirgskarte, welcher in der Orientierung im Gelände liegt. [DAH-08; 14]

Wird von Orientierung im alpinen Gelände gesprochen, so kann nach Grob- und Feinorientierung differenziert werden. Je nach Art der Orientierung werden an die Felsdarstellung unterschiedliche Anforderungen gestellt.

Für eine Groborientierung muss die Darstellung des Felsens (Berges) einen plastischen Eindruck erwecken. Der Berg muss als gesamtes zu erkennen und zu interpretieren sein. Das heißt, die Darstellung vermittelt einen realistischen Eindruck der Natur. Zudem müssen Gefälle, Steigung, Steilheit und Krümmungsverhältnisse zu erkennen sein. Für die Feinorientierung im Gelände muss die geometrische Genauigkeit der Darstellung gegeben sein. Die Höhen von Punkten müssen bestimmt werden können. Des Weiteren sollten Kleinformen (wie Brüche und Kanten), die Morphologie und sogar Gesteinsarten zu erkennen sein. Daraus folgt, dass die Kartennutzerinnen und Kartennutzer die Bezwingbarkeit des Geländes erahnen können. Mögliche Routen können dadurch geplant und verglichen werden. [DAH-08; 21 f.]

Der Fels als fester Bestandteil der alpinen Umwelt, hat also für den Menschen im alpinen Gelände folgende Bedeutungen:

- Fels als Hindernis
- Fels als Gefahrenquelle
- Fels als wichtiges Orientierungsmerkmal

Daraus folgt, dass der Fels und seine Darstellung in kartographischen Umsetzungen entsprechender Gebiete, nicht zu vernachlässigen ist. Aus kartographischer Sicht hat die Darstellung von Fels also nicht ausschließlich ästhetische Gründe, sondern ist durchaus anwendungsbezogen relevant.

Die Relevanz von Felsdarstellungen in topographischen Karten kann durchaus objektiviert werden. Ein hoher Stellenwert ist naturgemäß in topographischen Karten alpiner Regionen (topographische Hochgebirgskarten) festzustellen, wie eine Untersuchung von Dahinden zeigt. Betrachtet man die Schweizer Landeskarte, so ist in lediglich 33% der Kartenblätter ein unbedeutender Anteil (kein oder sehr geringer Anteil) an Felsgebieten zu finden. In mehr als 40% der Blätter ist der Felsanteil dominant (zwischen 0,5 und 50%) oder sogar das überwiegende Darstellungsmittel (bedeckt mehr als 50% der Kartenfläche). [DAH-08; 15]

Betrachtet man die Bodennutzung und Bodenbedeckung der Schweiz so ist festzustellen, dass 466416 ha der vegetationslosen Flächen zugerechnet werden. Das sind Flächen die von Fels, Sand und Geröll bedeckt sind. Der Anteil dieser Flächen an der Gesamtfläche beträgt rund 11,3%. Siedlungsflächen nehmen im Vergleich dazu lediglich ~7,5% ein. Zusätzlich sind diese vegetationslosen Flächen im Wachsen begriffen. In den letzten 24 Jahren kann ein Plus von 7,2% festgestellt werden. [STA-14]

Für Österreich sind vergleichbare Daten etwa durch die CORINE Landcover Erhebung 1998 verfügbar. Felsflächen ohne Vegetation – das sind Geröllhalden, Klippen, Fels und anstehendes Gestein – nehmen in Österreich eine Fläche von 376440,38 ha ein. Das sind etwa 4,5 % der Gesamtfläche des Landes. Im Vergleich dazu sind bebaute Flächen mit 1,79% zu beziffern. [AUB-98; 43]

2.1 Mehrwert durch Qualität

Felsdarstellungen sind relevant für die Ästhetik von topographischen Hochgebirgskarten. Sie sind nicht nur durch den hohen Anteil prägend für das gesamte Kartenbild, sondern oftmals auch Teil des künstlerischen Anspruchs der Kartengraphik.

Ästhetik und Schönheit erscheinen generell als eher subjektive Merkmale, da sie im Allgemeinen schwer messbar sind. Nach Imhof [IMH-65; 100] lässt sich die Ästhetik von Karten aber durchaus an bestimmten Kriterien festmachen. Die Summierung verschiedener Eigenschaften einer Darstellung, führen zu einer eigenen Art von Schönheit der Karte. Zu diesen Eigenschaften zählt Imhof unter anderem:

- Die hohe Genauigkeit der Darstellung (Die Karte bietet dem Maßstab entsprechend die höchst mögliche Genauigkeit)
- Die gute Charakterisierung der Formen (Naturähnlichkeit in Form und Farbe)
- Eine hohe Anschaulichkeit und Lesbarkeit
- Einfachheit und Klarheit der Darstellung

Ein gutes Zusammenspiel aller graphischen Elemente trägt zur Schönheit von Karten bei. Durch sinnvolle Kombination der Elemente, unterstützen sich diese gegenseitig, anstatt das Kartenbild zu stören.

Zudem sieht Imhof in kartographischen Darstellungen durchaus Parallelen zur Kunst. Eigenschaften wie die Anschaulichkeit, Ausdruckskraft, Ausgewogenheit und Einfachheit von Darstellungen sind identisch mit Schönheit. Diese Eigenschaften tragen zu einer guten kartographischen Darstellung und somit zur Qualität der Karte bei. Ein entscheidender Unterschied zwischen Kunst und Kartographie ist jedoch die weitgehende Gestaltungsfreiheit der Kunst, die in der Kartographie nicht gegeben ist. Die künstlerischen Zielsetzungen fehlen somit in der Kartographie. [IMH-65; 400]

In den Alpenländern Österreich und Schweiz wird der Geländedarstellung traditionell durch die landschaftlichen Gegebenheiten, eine hohe Bedeutung zugemessen. Hier hat sich die Geländedarstellung als prägendes Merkmal der Kartographie etabliert und ist somit entscheidendes Qualitätsmerkmal von topographischen Karten. [GAR-98; 164]

Die Qualität einer kartographischen Darstellung kann daran festgemacht werden, wie die jeweilige Karte ihre Funktionen erfüllt bzw. wie - aus Sicht der Nutzerin und des Nutzers - die Anforderungen an die Karte in spezifischen Situationen erfüllt werden. Nach Gartner ist das Verständnis des Qualitätsbegriffs in der Kartographie jedoch nicht einheitlich und zudem einem Wandel unterworfen. [GAR-98; 167]

Die Qualität wird von der Präsentation und der graphischen Gestaltung der Darstellung bestimmt. Hier spielt die ästhetische Komponente und somit das Gefallen des Kartenprodukts, das bei Benutzerinnen und Benutzern entsteht, die primäre Rolle. Alle anderen Funktionen der Karten bleiben jedoch unberücksichtigt. Versagt die Karte genau in diesem Punkt, wird das Produkt jedoch schnell als schlecht oder qualitativ minderwertig angesehen. Die Ästhetik kann gerade deshalb die Qualität von kartographischen Produkten stark beeinflussen [GAR-98; 167]. Felsdarstellungen als Teil der prägnanten Geländedarstellungen sind somit ausschlaggebend für die Ästhetik und die Qualität von topographischen Hochgebirgskarten.

Die Kommunikation ist ein weiteres Kriterium, das die Qualität der Karte bestimmt. Hierbei wird die Karte als Kommunikationsmedium verstanden, dass die Aufgabe erfüllt Informationen optimal an die Nutzerin bzw. den Nutzer zu übermitteln [GAR-98; 167]. Wie bereits beschrieben, ist der Fels ein prägendes Merkmal alpiner Gebiete. Es handelt sich somit um relevante Information der räumlichen Strukturen des jeweiligen Gebiets. Deshalb ist eine entsprechende Felsdarstellung, in Hinblick auf die Kommunikation der Rauminformation, entscheidend. Um eine korrekte Raumvorstellung eines alpinen Geländes zu vermitteln, darf die Darstellung von Felsbereichen nicht vernachlässigt werden.

Bei dieser Auffassung von Qualität, ist die ästhetische Komponente nur Mittel zum Zweck der Kommunikation und kann, wenn schlecht eingesetzt, diese unter Umständen stören. Eine ästhetische Darstellung wird hierbei also nicht als unbedingt notwendig erachtet – im Gegenteil: auch eine ästhetisch wenig ansprechende, graphisch schlecht gestaltete Karte, kann als Kommunikationsmedium einwandfrei funktionieren und somit als qualitativ hochwertig bezeichnet werden.

Die kognitive Qualität eines kartographischen Produkts bezieht sich auf eine möglichst optimale und passende mediale Aufbereitung der Information und weniger auf die graphische Umsetzung.

Felsdarstellungen sind vor allem in großmaßstäbigen topographischen Karten in weitgehend gedruckter Form relevant. Durch diese Beschränkung ist die Variation der kognitiven Qualität bei Felsdarstellungen eher gering. Die Art und Weise der Felsdarstellungen ist geschichtlich bedingt und auch noch heute, für die Präsentation in gedruckter Form ausgelegt. Digitale und mobile Technologien, die topographische

Hochgebirgskarten als Grundlage verwenden, haben bisher keinen Einfluss auf die Methoden der Felsdarstellung gehabt. Ein Grund dafür könnte sein, dass aufwendige Felszeichnungen selten vollständig neu erstellt werden. Wenn vorhanden, werden meist bestehende Darstellungen weiterverwendet, ergänzt oder überarbeitet. Felsdarstellungen die speziell für Anzeige und Visualisierung mit modernen, mobilen Technologien ausgelegt sind, sind derzeit nicht bekannt. Im Zuge von Automatisierungsbestrebungen werden solche angepassten Darstellungen, in Zukunft jedoch durchaus von Interesse und zu beachten sein.

Entscheidende Änderungen der kartographischen Aufbereitung durch einen technologischen Wandel können daher nicht ausgeschlossen werden. Ein gänzlich Verdrängen der vorherrschenden Form der medialen Aufbereitung der topographischen Karten und der gedruckten Karte an sich, ist jedoch in naher Zukunft nicht zu erwarten. Es kann angenommen werden, dass gerade topographische Karten in gedruckter Form, auch noch in Zukunft genutzt werden und ihre Berechtigung haben.

2.2 Notwendigkeit der Automatisierung

Felsdarstellungen wurden in der Vergangenheit mit sehr hohem Aufwand manuell erstellt. Zusätzlich sind für diese Arbeit hohes Fachwissen und Erfahrung sowie graphische Fähigkeiten, Voraussetzung. Die Felsdarstellung zählt zu den größten kartographischen Herausforderungen und ist mitunter der am schwierigsten herzustellende Teil topographischer Karten. [HUR-98; 35]

Der Arbeitsaufwand für die Neuzeichnung pro Quadratzentimeter Felsfläche in Schweizer Manier beträgt etwa eine Stunde. Das ergibt für ein Kartenblatt der Schweiz etwa 2.000 Arbeitsstunden. Die Kosten für eine Neuerstellung der Felszeichnung eines Gebirgskartenblattes kann daher zwischen 250.000 und 1 Mio. Schweizer Franken (oder 200.000 – 800.000 €) beziffert werden. [DAH-08; 3]

„Es erstaunt deshalb kaum, dass solche Neubearbeitungen heute nur noch in Einzelfällen ausgeführt werden können. Trotzdem stellt sich bei Neukartierungen [...] die Frage, wie Felsgebiete anschaulich und geometrisch präzise wiedergegeben werden können, ohne dass dabei die Produktionskosten ins Astronomische steigen. Zudem sollten neue Methoden wenn möglich auch in computergestützte Produktionssysteme integriert werden können.“ [HUR-98; 36]

Auch die Aktualisierung von Kartenblättern ist von der Problematik betroffen. Durch das signifikante Abschmelzen der Gletscher werden Nachführungen von Fels- und Geröllzeichnung notwendig, die einen nicht zu vernachlässigenden Aufwand erzeugen. Pro Kartenblatt (Landeskarte der Schweiz) können mehrere hundert Stunden für die Ergänzung von Fels und Geröll anfallen, wobei die Automatisierung der Gerölldarstellung bereits als gelöst gilt. [FEL-06]

Der hohe Aufwand und die Kosten sind in der heutigen Zeit also nur schwer zu rechtfertigen. Die Suche nach Lösungen für die wirtschaftliche Erstellung von Felszeichnungen liegt daher auf der Hand.

Andererseits sind die hohen Kosten der Hochgebirgskartographie nicht nach normalen kaufmännischen Maßstäben zu beurteilen. Arnberger [ARN-70; 14] beschrieb die Alpenvereinskartographie als ein Verlustgeschäft, wenn sie rein materiell betrachtet wird. Dasselbe gilt für den Betrieb von Schutzhütten, Wegeanlagen, die Herausgabe von Alpenvereinszeitschrift und dergleichen. Es handelt sich hierbei um Leistungen von Organisationen für Mitglieder und die Bevölkerung, die aus ideellen Gründen oder aus Verpflichtung heraus erbracht werden und somit einen besonderen Stellenwert besitzen. Trotzdem werden auch solche Leistungen in der heutigen Zeit hinterfragt. Sparzwänge machen auch hier nicht halt, wodurch eine kostenmäßige Optimierung unvermeidbar ist.

Digitale Methoden der Felszeichnung wurden schon gezeigt und stellen grundsätzlich kein Problem dar. Der Aufwand und die Kosten werden dadurch aber nicht gesenkt, da die zu erbringende kartographische Leistung erhalten bleibt. Der Wechsel der Technik von analog auf digital ändert nicht die grundlegenden, zeitaufwändigen Arbeitsabläufe. [GIL-98; 20]

Um Kosten und Aufwand von Neuerstellungen und Ergänzungen von Felszeichnungen zu senken, ist eine weitgehende bis vollständige Automatisierung der Prozesse notwendig. Zukünftige Methoden der Felszeichnung sind daher immer auch unter einem wirtschaftlichen Aspekt zu sehen und zu bewerten.

Dabei darf naturgemäß die Qualität nicht außer Acht gelassen werden. Schon Imhof äußert Bedenken bezüglich Automatisierungsbestrebungen in der Kartographie. Bei vollständiger Automatisierung kartographischer Arbeitsschritte sind Rückschläge der graphischen Qualität in Kauf zu nehmen. Daher sei es sinnvoll Teilvorgänge zu automatisieren, um ein manuelles Eingreifen zu ermöglichen und somit die geforderte Qualität zu gewährleisten. [IMH-65; 397]

3 Historische Entwicklung der Geländedarstellung

Die Entwicklung der kartographischen Geländedarstellung ist geprägt von den zur jeweiligen Zeit verfügbaren Technologien, aber auch von den Ansprüchen die an kartographische Produkte gestellt wurden, und somit von den Bedürfnissen der Kartennutzerinnen und Kartennutzer.

Primitive Arten der Geländedarstellungen sind seit den überlieferten Anfängen kartographischer Darstellungen (Funde aus Ägypten, Mesopotamien) bekannt. In der so genannten „Nubischen Goldminenkarte“ (ca. 1300 v.Chr.) wurden Gebirge erstmals als umgeklappte Profile wiedergegeben [KRI-11; 107].

Die Darstellung des Geländes erfolgte lange Zeit über Methoden, die Seitenansichten der markanten Formen nutzten. Gebirge wurden so dargestellt, wie sie aus der Perspektive des Menschen, der sich zumeist in der Ebene (im Tal) befand, wahrgenommen wurden. Grundrissdarstellungen, wie wir sie heute kennen, wurden im 17. bzw. 18. Jahrhundert erstmals eingesetzt und weiterentwickelt.

3.1 Signaturendarstellungen

Naturnahe Darstellungen des Geländes waren lange Zeit nicht vorhanden. Das Gebirge wurde als Hindernis wahrgenommen, weshalb eine detaillierte Darstellung nicht notwendig war. Zudem gab es keinerlei Vermessungen, wodurch Daten über die exakte Form des Gebirges fehlten. Dies führte zu schematische Darstellungen des Geländes in Form von Signaturen.

Lange Zeit wurden gleichförmige Signaturen oder Gruppen von Signaturen eingesetzt. Die individuellen Reliefformen wurden kaum berücksichtigt – es dominierten einheitliche Darstellungsweisen. Trotz der Beschränkungen durch die technologischen Möglichkeiten, entwickelten sich diverse Methoden das Gelände im Aufriss darzustellen.

„Diese Darstellungsweise, wie beispielsweise die Sägezahn-, Backenzahn-, Maulwurfshügel-, Wülst-, Fischschuppen-oder Bergfigurenmanier – um nur einige Arten zu nennen – prägte über Jahrhunderte die kartographische Landschaft. Erst mit der Nachhaltigen geodätischen Vermessung der Erde und der Verfeinerung der Geometrie und Perspektive in der Grafik wurde auch die kartographische Darstellung präziser.“ [KRI-11; 107]

Zuerst wurden klare Einzelformen, wie Wülste oder die Maulwürfhügelmanier eingesetzt. In der weiteren Entwicklung traten typische Gruppierungen von Signaturen auf. Bestes Beispiel hierfür sind die so genannten Fischschuppendarstellungen. Die Variation betraf vor allem die Größe, aber auch die Form. Teilweise wurden schon perspektivische Effekte durch die Variation der Größe zwischen dem Vorder- und dem Hintergrund erzielt.

Der erstmalige Einsatz von Schraffentechniken kann eher als künstlerisches Stilmittel und nicht als systematische Methode angesehen werden. Das Füllen der Signaturen mit Schraffenstrichen, wurde eingesetzt um räumliche Effekte zu erzielen.

3.2 Naturgetreue Reliefformen

Weiterentwicklungen der kartographischen Geländedarstellung können ab dem 16. Jahrhundert festgehalten werden. Diese gingen mit dem erhöhten Forschungsdrang und dem technischen Fortschritt einher.

„Mit der Entdeckung der Berge durch Naturforscher und Maler setzte auch in den Karten eine naturgetreue Darstellung der Geländeform ein.“ [IMH-65; 5]

Die bisher vorherrschende Technik des Holzschnittes wurde langsam durch den Kupferstich abgelöst, wodurch feinere Striche, eine verbesserte Grafik und eine höhere Inhaltsdichte ermöglicht wurden. Das Verlangen nach höherer Inhaltsdichte und die technische Machbarkeit, führten zu größeren Maßstäben. Erste topographische Aufnahmemethoden wie Bussole, Messketten und Messwagen kamen zum Einsatz. Das führte dazu, dass die einheitlichen Darstellungsweisen von der individuellen Erfassung und Gestaltung der Reliefformen abgelöst wurden. Das Gelände wurde im Gegensatz zu diversen Signaturmethoden in zusammenhängender Manier dargestellt. [IMH-65; 5]

Auch hier kamen Schraffen immer wieder zum Einsatz. Schraffentechniken die schon damals von Lichtquellen (meist von links oben) ausgingen, wurden in späterer Folge zur Schattenschraffenmethode weiterentwickelt. Durch die Annahme einer dem Licht abgewandten Seite der Geländeform und deren Kennzeichnung durch Schraffuren, entstand ein plastischer Effekt, der bei diesen Methoden zu einer naturnahen aber weiterhin künstlerischen Darstellung führte. Zudem wurden Falllinienschraffen eingesetzt, die die Eigenschaft besaßen besonders formgebend zu wirken und den räumlichen Eindruck der Geländeformen zu unterstützen.

Bei allen Schraffentechniken handelt es sich um Darstellungen fiktiver Elemente, die in dieser Form in der Natur nicht vorkommen. Sie dienen ausschließlich der Verdeutlichung der Geländeformen.

3.3 Schraffendarstellungen im Grundriss

Ausgelöst durch technologische Entwicklungen kam es im 17. und 18. Jahrhundert zu einem entscheidenden Fortschritt in der Geländedarstellung. Durch trigonometrische und topographische Aufnahmetechniken konnte eine hohe Dichte an Punkten eingemessen werden. Die damaligen Kartographinnen und Kartographen erhielten dadurch einerseits

die Möglichkeit Grundrissdarstellungen anzufertigen, wurden andererseits aber dadurch auch dazu gezwungen. [IMH-65; 9]

Die graphische Lösung der Grundrissdarstellungen wurde vorwiegend durch Schraffendarstellungen gelöst. Hierbei entwickelten sich zwei Methoden die nebeneinander bestanden und teilweise auch heute noch genutzt werden. Aus den bekannten Schraffentechniken entstanden die Prinzipien der Böschung- und der Schattenschraffen. Diese wurden bis dahin nicht flächendeckend auf das gesamte Kartenbild angewendet, sondern lediglich als Gestaltungselement von Gebirgsformen in Seitenansichten und Vogelschaubildern eingesetzt.

3.3.1 Böschungsschraffen

Bei den Böschungsschraffen handelt es sich um eine Weiterentwicklung und Formalisierung der formgebenden Schraffentechniken, die bereits in Aufrissdarstellungen verwendet wurden. Sie ermöglichten erstmals kartometrische Auswertungen von Höhen, da die Endpunkte der Schraffen auf äquidistanten Linien lagen. Die Höhenlinien wurden zur Konstruktion verwendet, teilweise aber auch in die Darstellung integriert.

Bei der Böschungsschraffe handelt es sich um ein Prinzip, das von Johann Georg Lehmann (1799) festgelegt wurde. Dazu werden Schraffen in der Falllinie eingesetzt, deren Anfangs- und Endpunkte jeweils auf Höhenlinien liegen (vgl. Abb. 1). Daraus folgt, dass im flachen Gelände lange Schraffen und im steilen Gelände dementsprechend kurze Striche zum Einsatz kommen. Zudem wird die Strichstärke der Schraffen je nach Böschungswinkel variiert. An steilen Hängen werden die Schraffen stärker gezeichnet, wodurch diese Bereiche in der Darstellung sehr dunkel erscheinen. Im flachen Gelände werden die Schraffen hingegen sehr fein gezeichnet, wodurch diese Bereiche hell bleiben. Generell ist die Böschungsschraffe eine Methode, die Richtung und Stärke des Gefälles gut darstellt und nicht auf einer willkürlichen Konstruktion basiert. [IMH-65; 8]

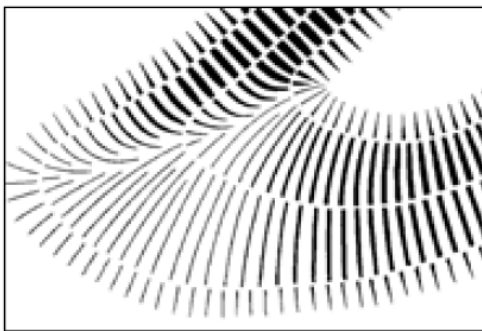


Abb. 1: Prinzip der Böschungsschraffe [IMH-65; 241]

Nachteil dieser Technik ist die sehr dichte Darstellung. Die Böschungsschraffe bewirkt eine starke Verdunklung des Kartenbildes. Die grundsätzlich ansprechende Darstellungsweise führt dadurch zu schwer lesbaren Karten. Dies trifft vor allem im steilen Gelände zu, welches naturgemäß das Hochgebirge dominiert.

Beispiele von Böschungsschraffen können in den Karten der ersten drei Österreichischen Landesaufnahmen ab dem 18. Jh. gefunden werden. Hier war sie das primäre Mittel zur Geländedarstellung und wurde unterschiedlich prägnant eingesetzt. In der dritten Landesaufnahme wurden sie in Verbindung mit Höhenlinien gezeichnet (vgl. Abb. 2).



Abb. 2: Dritte Österreichische Landesaufnahme [KRI-11; 109]

3.3.2 Schattenschraffe

Die Schattenschraffe kann als Vorläufer der Schummerung angesehen werden, da sie schattenplastische Effekte unter Annahme einer Lichtquelle (meist aus Richtung Nordwest) nutzt. Sie wurde in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts entwickelt. Als eindrucksvolles Beispiel einer frühen Anwendung kann die „Dufourkarte“ (topographische Karte der Schweiz, ca. 1850, vgl. Abb. 4) genannt werden [IMH-65; 13].

Für die Schattenschraffe wurde das neuere Strichsystem der Böschungsschraffe mit den bereits bekannten „linksbeleuchteten“ Falllinienschraffen kombiniert. An den lichtbeschienenen Hängen wurden die Schraffen fein gezeichnet, an den Schattenhängen entsprechend kräftiger (vgl. Abb. 3). Der größte Vorteil der Schattenschraffen ist die erzielte räumliche Wirkung. Ähnlich wie bei der Schummerung kommt das Relief gut zu Geltung.

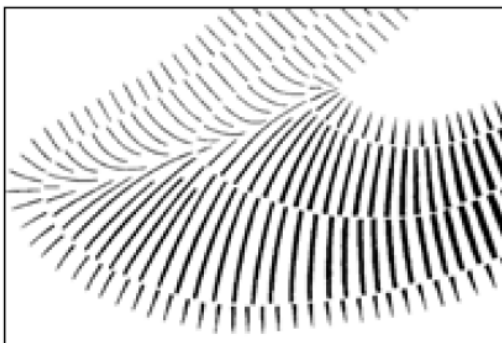


Abb. 3: Prinzip der Schattenschraffe [IMH-65; 241]

In modernen Karten wurden die Schraffentechniken, als primäres Element der Geländedarstellung, durch die Höhenlinien abgelöst. Vor allem die Böschungsschraffen finden kaum mehr Anwendung. Der plastische Effekt der durch die Schattenschraffen erzielt wurde, kann heute leicht durch die Schummerung erzeugt werden. Die Schummerung hat daher die Schattenschraffe als Darstellungselement größtenteils abgelöst. Die Schattenschraffen finden aber weiterhin ihre Anwendung in Felsdarstellungen. Vor allem in der Schweizer Manier ist sie als prägnantes Element auch heute noch vorhanden.

3.4 Höhenlinien

Höhenlinien oder auch Höhenkurven sind heute neben der Schummerung das wichtigste Element der Geländedarstellung. Sie waren schon relativ früh als Tiefenlinien aus der Seefahrt bekannt, wurden aber erst später für die Geländedarstellung genutzt. Zuerst wurden Höhenlinien primär zur Konstruktion von Schraffen eingesetzt, später als eigenes Element der Geländedarstellung übernommen. Sie sind, wie auch die Schraffendarstellungen, ein abstraktes Element der Darstellung, das in der Natur keine Entsprechung hat.

„Auch die Höhnkurve ist vorwiegend fiktiver Art, doch besitzt sie den außerordentlich Vorzug, die geometrische Gestalt des Geländes, Höhen, Höhenunterschiede, Böschungswinkel, Streichrichtungen usw. einwandfrei festzuhalten und zu vermitteln.“
[IMH-65; 13]

Die Entwicklung, weg von den Schraffentechniken, hin zu Höhenlinien war abhängig von der Entwicklung der Messtechnik. Erst um 1860 kamen die ersten Höhenmessinstrumente in Verwendung. Am Ende des 19. Jh. war die Messtechnik so weit fortgeschritten, dass Höhenmessungen für ganze Staatsgebiete in ausreichender Anzahl vorhanden waren. In Österreich wurden Höhenlinien erstmals mit der 3. Landesaufnahme (1869-1887) in die Karten integriert. [ARN-75; 264]

Der Anstieg der eingemessenen Punkte und deren Genauigkeit, führten in weiterer Folge dazu, dass Höhenlinien auch für große Maßstäbe sinnvoll einsetzbar wurden. Der Vorteil der Höhenliniendarstellungen liegt auf der Hand. Es handelt sich um eine geometrisch exakte und messbare Festlegung der Geländeform, die das Kartenbild nicht belastet.

3.5 Schummerung

Auch die Einführung von kontinuierlichen Schummertönen und der heute bekannten Schummerungen, ist mit einer technischen Entwicklung verknüpft. Durch die Erfindung der Lithographie hielten Farbe und Flächenfärbungen Einzug in die Kartographie. Bisher

genutzte Schraffentechniken wurden weitestgehend durch Schattentöne und Schummerungen ersetzt. Durch den Einsatz von Farbe in der Lithographie, bestand zudem die Möglichkeit einer vielseitigeren Kombination von Darstellungselementen. Die Schummerung ist neben den Höhenlinien, auch heute noch das wichtigste Element der Geländedarstellung in topographischen Karten. Sie wird zudem in sehr kleinen Maßstäben eingesetzt, wenn Höhenkurven keine Aussagekraft mehr besitzen.

Ihr Einsatz in topographischen Hochgebirgskarten ist teilweise nicht unumstritten. Vor allem auch in Kombination mit einer Felsdarstellung sind Schummerungen nicht immer obligatorisch. Gegen den üblichen Gebrauch der Schummerung hat sich etwa L. Brandstätter vom Österreichischen Alpenverein ausgesprochen. Er nutzte eine sogenannte Hilfsschummerung, die aber ebenfalls unter starker Kritik stand. Im Allgemeinen ist die Schummerung aber fester Bestandteil moderner Geländedarstellungen. In großmaßstäbigen topographischen Karten wird sie, vor allem in Kombination mit Höhenlinien, eingesetzt.

„Obwohl sie keine geometrisch exakte und kartometrisch messbare Aussagekraft besitzt, ermöglicht sie eine effiziente Wahrnehmung der dritten Dimension – des Reliefs – im zweidimensionalen (Karten)Raum.“ [KRI-11; 111]

Im Wesentlichen entwickelten sich drei unterschiedliche Schummerungstypen. Das sind die Böschungsschummerung, die Schräglichtschummerung sowie kombinierte Schummerungen.

Die Böschungsschummerung greift das Prinzip der Böschungsschraffen auf, welches mit „je steiler desto dunkler“ zusammengefasst werden kann. Je steiler das Gelände desto dunkler wird der Flächenton dargestellt. Waagrechte beziehungsweise flache Bereiche des Geländes werden somit nicht mit einem Schummerton versehen und bleiben Weiß. Zur Formalisierung der Böschungsschummerung wurde die Theorie einer senkrechten Lichtquelle, die Schatteneffekte erzeugt, aufgestellt. [IMH-65; 188]

Bei der Schräglichtschummerung wird hingegen eine Lichtquelle von schräg oben angenommen. Ausgehend von den Schattenschraffen, hat sich als Beleuchtungsrichtung schon früh die Richtung Nordwest durchgesetzt. Änderung der Beleuchtung führen zu einem ungewohnten Kartenbild, oder einer falschen Wahrnehmung des Geländes (einer so genannten „Reliefumkehr“). Durch die Schräglichtschummerung werden „echte“ Schatteneffekte generiert, wodurch eine plastische Wirkung erzielt wird.

Bei der kombinierten Schummerung werden die Eigenschaften der Böschungsschummerung und der Schräglichtschummerung in einer Darstellung zusammengefasst. Diese Art der Schummerung wird oft als optimal angesehen. Heute können Schummerungen leicht automatisch und digital erzeugt werden. Dazu werden digitalen Geländemodelle verwendet, deren Verfügbarkeit stark gestiegen ist.

4 Einordnung von Felsdarstellungen

Die Entwicklung der Felsdarstellung war stark abhängig von den Entwicklungen in der Kartographie und der Messtechnik. Eine Vorreiterrolle nahmen hierbei die Alpenländer ein. Vor allem in Österreich und in der Schweiz wurde, bedingt durch die langjährige kartographische Tradition, der Gelände- und Felsdarstellung viel Beachtung geschenkt. Allen voran sind hier der Österreichische Alpenverein und die amtliche Schweizer Kartographie zu nennen, die in der Vergangenheit qualitativ hochwertige Felszeichnungen hervorgebracht haben.

Nach Arnberger [ARN-75; 299] können drei Gruppen kartographischer Methoden zur Felszeichnung unterschieden werden. Dabei handelt es sich um:

- freie oder genetische Methoden
- geometrisch gebundene Methoden
- geometrisch integrierte Methoden

Diese Auflistung der drei Methoden beschreibt in ihrer Abfolge auch eine chronologische Entwicklung von Felsdarstellungen. Ungeachtet dieser Tatsache haben alle Methoden auch heute noch ihre Berechtigung und sind weiterhin in aktuellen Karten zu finden.

Die Methoden der Felsdarstellung waren stets geprägt von den technischen Möglichkeiten der jeweiligen Zeit, aber auch von der Philosophie und dem „Verständnis der Kartographie“ führender Einzelpersonen. Gerade die herausragenden Kartographen ihrer Zeit, wie Imhof oder Brandstätter, haben die Entwicklung der Felsdarstellungen stark beeinflusst. In diesem Teil der Arbeit folgt ein Überblick über die drei grundsätzlichen Methoden mit Beschreibungen ihrer wichtigsten Merkmale sowie eine Zuordnung bekannter Felsdarstellung zu der jeweiligen Methodik.

4.1 Freie oder genetische Methoden

Als freie oder genetische Felsdarstellungen werden Methoden ab Mitte des 19. Jahrhunderts bezeichnet. Vor allem durch die beschränkten technischen Möglichkeiten, waren diese Darstellungen von einer eher künstlerischen Interpretation der Morphologie des Felsgeländes geprägt. Als technische Voraussetzung der Zeit können Messtischaufnahmen angeführt werden. Die geringe Anzahl von Messpunkten im Fels hatte zur Folge, dass es kaum möglich war die graphisch korrekte Form festzuhalten. Deshalb waren exakte Höhenlinien für felsiges Gelände nur selten verfügbar. Die Topographinnen und Topographen der damaligen Zeit nutzten jedoch ihr Wissen bezüglich der geologisch-morphologische Genese der Gebirge, um den Fels möglichst realitätsnah darzustellen. Auf Grund der Berücksichtigung dieser gebirgsbildenden Prozesse, werden diese Methoden auch als genetische Methoden bezeichnet und die Topographinnen und Topographen der Zeit als Genetikerinnen bzw. Genetiker.

Die ersten eigenständigen Felsdarstellungen des Österreichischen Alpenvereins, sind ebenfalls der genetischen Methode zuzurechnen. Die Zeit zwischen 1900 und 1936 wird allgemein als klassische Periode der Alpenvereinskartographie bezeichnet.

„Die Topographen und Kartographen der klassischen Alpenvereinskartographie waren Vertreter des genetischen Gedankens, welcher den Werdegang des Gebirges zu erfassen sucht, und die im Felsaufbau hierfür erkennbaren Zeugnisse in der Felszeichnung besonders herausarbeitet.“ [ARN-70; 99]

Diese Methoden kamen auch im Alpenverein zur Anwendung. Sie wurden vor allem durch Kartographen wie F. Becker und L. Aegerter im Österreichischen Alpenverein etabliert. Erste Bearbeitungen wurden im Stil der Siegfriedkarte durchgeführt. Anfangs wurden Reliefkarten unter Nutzung einer Schrägbeleuchtung herausgegeben, später folgten möglichst naturnahe Felszeichnungen mit fast senkrechter Beleuchtung. [BRU-98; 211]

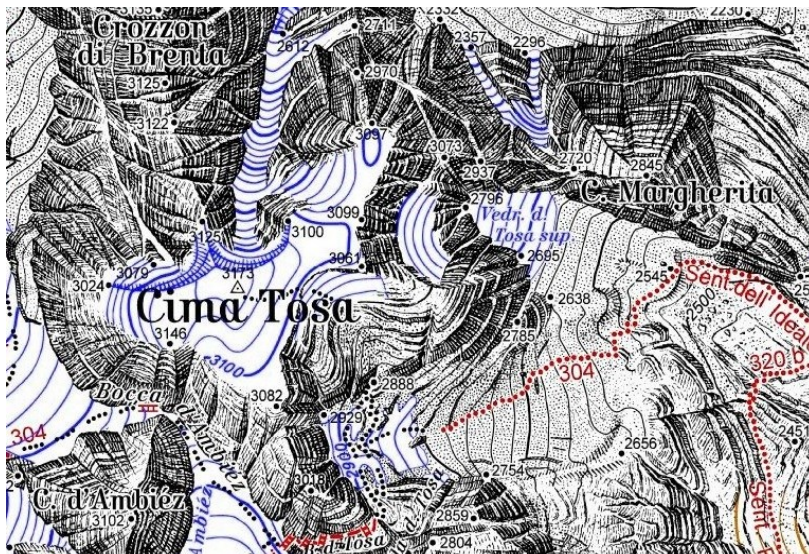


Abb. 6: Ausschnitt Alpenvereinskarte Nr. 51, „Brentagruppe - Gruppo di Brenta“
1:25.000 (nicht maßstabsgetreu)

Als erster Höhepunkt der klassischen Alpenvereinskartographie wird häufig die Karte der Brentagruppe im Maßstab 1:25.000 genannt, für die sich die Kartographen L. Aegerter und H. Rohn verantwortlich zeichneten (vgl. Abb. 6). Die Erstausgabe erschien 1908. In der aktuellen Version (5. Ausgabe, 2005) ist die ursprüngliche Felszeichnung weiterhin enthalten.

Die genetische Felszeichnung des Alpenvereins zeichnet sich durch eine sehr dicht wirkende Darstellung aus. Der Fels wurde oft über den eigentlichen Grundriss hinausgezeichnet. Er wirkt auch dadurch sehr massiv. Die Höhenlinien sind im Schutt enthalten, werden aber im Fels selbst ausgesetzt. Die Felszeichnung kann als primäres Darstellungselement bezeichnet werden - alle anderen Elemente ordnen sich unter. [ARN-70, 87 u. 97]

Von einer zweiten Phase der klassischen Alpenvereinskartographie kann ab 1915 gesprochen werden. Diese Phase war durch technische Fortschritte in der terrestrischen Photogrammetrie geprägt. Durch diese Entwicklungen war es möglich exakte Höhenlinien auch im Fels zu erhalten. [BRU-98; 211]

Dies führte dazu, dass Höhenlinien vereinzelt auch im Fels gezeichnet wurden. Diese Felsdarstellungen sind eher den geometrisch gebundenen Methoden zuzuordnen. Als Beispiel hierfür kann die Karte Dachsteingruppe angeführt werden.

Zusammengefasst sind die wichtigsten Merkmale der genetischen oder freien Felsdarstellungsmethoden folgende:

- Sehr dichte Darstellungen mit „künstlerischem“ Anspruch
- Von der Auffassung und dem Verständnis der Kartographin bzw. des Kartographen abhängig
- Herausarbeiten der Morphologie des Felsens
- Oftmaliges Überzeichnung des Felsgeländes
- Höhenlinien im Fels meist nicht enthalten (wenn dann nur Zähllinien)

4.2 Geometrisch gebundene Methode

Wie bereits beschrieben, konnten durch die messtechnischen Fortschritte exaktere geometrische Grundlagen geliefert werden. Für die Gelände- und Felsdarstellung waren vor allem exakte Höhenlinien von Bedeutung. Unter den Kartographinnen und Kartographen der damaligen Zeit wurde die Forderung nach dem Erhalt des Höhenlinienbildes im Fels immer lauter. Diese Forderungen nach der Aufnahme der geometrischen Grundlage in die Darstellungen, konnten sich schrittweise durchsetzen und führten zu neuen Methoden der Felszeichnung.

Arnberger [ARN-75; 302-307] unterscheidet in dieser Gruppe eine Reihe von Methoden, die Höhenlinien als geometrische Grundlage in die Felszeichnung miteinbeziehen.

Dazu zählen unter anderem:

- Genetische Methoden mit Höhenlinien größerer Äquidistanz
- Kombinationen von Höhenlinien mit anderen graphischen Elementen
- Methoden mit Höhenlinien als primäres Element

Die Unterscheidung innerhalb der geometrisch gebundenen Methoden, betrifft vor allem die Bedeutung, die den Höhenlinien in der Darstellung beigemessen wird. Diese Relevanz steigert sich von relativ unbedeutend (Höhenlinien lediglich als geometrisches Gerüst, größere Äquidistanz im Fels), über Höhenlinien als gleichberechtigtes Element der Darstellung, bis hin zu Höhenlinien als wichtigstes Element, dem die Felszeichnung untergeordnet wird.

4.2.1 Genetische Methoden mit Höhenlinien größerer Äquidistanz

Die Verfügbarkeit von geometrisch exakten Grundlagen, führte in der Hochgebirgskartographie zur Diskussion, ob das Höhenlinienbild im steilen Fels zu erhalten ist. Konkret ging es um die Frage, ob in Karten vom Maßstab 1:25.000, die übliche Äquidistanz von 20 Metern auch im Fels eingehalten werden könne. Ein Gegenargument lautete, dass dadurch der Platz für andere Elemente der Felsdarstellung eingeschränkt würde.

Ein Lösungsansatz stellte der Kompromiss dar, im Fels Höhenlinien größerer Äquidistanz zu zeichnen. Beim Maßstab 1:25.000 handelt es sich hier üblicherweise um die 100-Meter Zähllinien. Diese werden ohnedies zumeist auch im restlichen Kartenbild stärker eingezeichnet und können somit gut als geometrisches Gerüst für die Felszeichnung herangezogen werden.

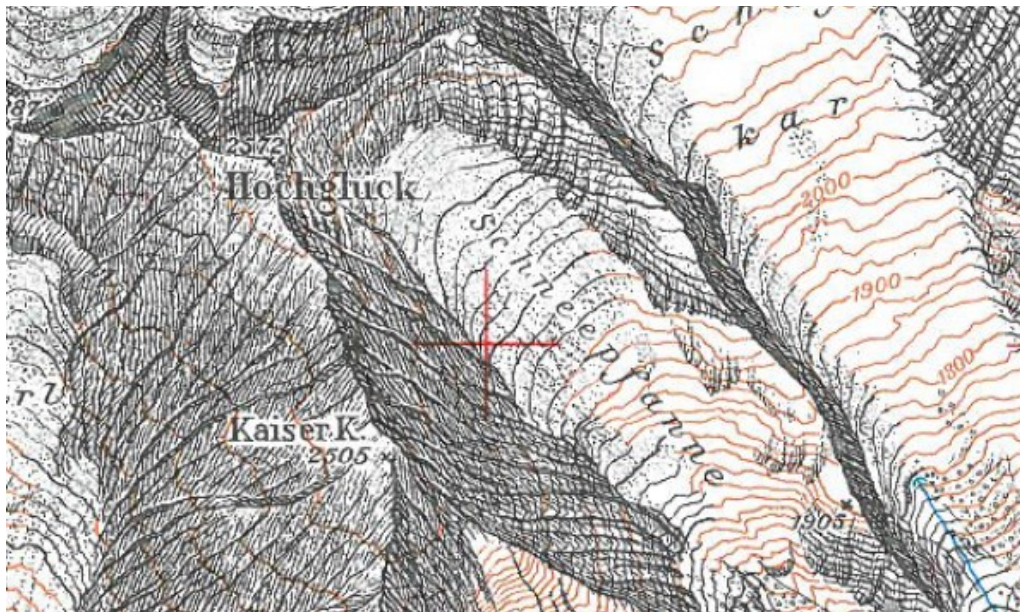


Abb. 7: Ausschnitt Alpenvereinskarte Nr. 5/3, „Karwendelgebirge - Ost“ 1:25.000 (nicht maßstabsgetreu)

Dieser Methode können Karten der zweiten Phase der klassischen Alpenvereinskartographie zugeordnet werden. Hier sind vereinzelt Höhenlinien im Fels enthalten. Als Beispiele können die Karten der Zillertaler Alpen und des Karwendel (vgl. Abb. 7) in 1:25.000 angeführt werden. Dabei handelt es sich um spätere Darstellungen von H. Rohn. Auffallend ist bei diesen Felszeichnungen, dass die Darstellung der Höhenlinien im Fels nicht konsequent durchgesetzt wurde. Zumeist sind jedenfalls die Zähllinien im Fels eingezeichnet. Dabei kann die Farbgebung auf den Betrachter verwirrend wirken. Die Zähllinien werden gerissen oder durchgezogen in orange-braun dargestellt, oder aber auch

im Schwarz der Fels- und Schuttzeichnung. Wenn der Platz es erlaubt, sind Höhenlinien der normale Äquidistanz (20 Meter), in die Felszeichnung integriert oder auch nur angedeutet. Deshalb ist das Höhenlinienbild bei diesen Beispielen eher schlecht zu lesen. Die einzelnen Linien sind schwer zu verfolgen. An den Darstellungen erkennt man jedenfalls die Bestrebungen, die Höhenlinien in die Felszeichnungen zu integrieren.

Bei der **Schweizer Methode** der Felsschraffen werden die 100-Meter Zähllinien konsequent durchgezogen. Sie bilden ein echtes geometrisches Gerüst, in das die Schraffen eingepasst sind. Sie sind in der Felszeichnung grundsätzlich freigestellt und werden daher nicht von sonstigen Elementen, wie etwa den Schraffen, gekreuzt oder überlagert. Dies führt zu einer guten Lesbarkeit der Höhenlinien. Sie sind in allen Bereichen gut nachzuverfolgen und eindeutig zu identifizieren. Die Konstruktion basieren dabei zusätzlich auf Gerippe- und Kantenlinien. Dieses Felsgerippe ist an das geometrische Gerüst der Zähllinien angepasst. Charakteristische Knicke und Richtungswechsel der Höhenlinien werden durch die Gerippezeichnung unterstützt. Dominierendes Element sind jedenfalls die relativ freien, horizontalen und vertikalen Schraffen, die den typischen schattenplastischen Effekt erzeugen.

Wichtigstes Merkmal der „genetischen Darstellungen mit Höhenlinien größerer Äquidistanz“ ist, dass die Felszeichnung an sich, das dominante Element bleibt. Die Höhenlinien sind als sekundär einzustufen und werden daher meist nur als Vielfaches der normalen Äquidistanz gezeichnet.

4.2.2 Kombination Fels und Höhenlinien

Die Darstellungen dieser Methoden sind durch den Erhalt des gesamten Höhenlinienbildes im Felsen geprägt. Im Maßstab 1:25000 werden üblicherweise die meist stärker eingezeichneten Zähllinien (100 Meter Äquidistanz) sowie die 20-Meter Höhenlinien auch im Fels dargestellt. Die Elemente der Felszeichnung an sich (wie Kantenlinien und Schraffen) und die Höhenlinien, können als gleichberechtigte Elemente der Darstellung angesehen werden.

„Der photogrammetrische Höhenlinienplan soll als unverletzbares geometrisches Gerüst der kartographischen Geländedarstellung überall (auch im Fels) erhalten bleiben.“
[ARN-70; 115]

Zu diesen Darstellungen zählen etwa Felszeichnungen des Österreichischen Alpenvereins ab den 1930er Jahren, die durch den Kartographen F. Ebster geprägt wurden. Diese so genannten Haarstrichfelszeichnungen zeichneten sich durch lange, feine Schraffenstriche und den Erhalt des gesamten Höhenlinienbildes im Fels aus. Die feinen Haarlinien wurden zumeist in der Falllinie, auch über die Höhenlinien hinweg gezeichnet, ohne deren Lesbarkeit zu stark zu beeinflussen. Trotzdem entsteht durch diese Methode der langen Schraffen in manchen Bereichen eine Art Gewebe-Effekt sowie ein zu dichtes Liniengewirr, welches ebenfalls Grund zur Kritik liefert. Im Alpenverein wurden Karten

bis in die 1970er Jahre mit der Haarstrichmethode Ebsters gezeichnet. Darunter finden sich Expeditionskarten, wie Nanga Parbat (1935, 1:50.000) oder Mount-Everest (1957, 1:25.000; vgl. Abb. 8) sowie Karten der Ostalpen wie etwa die Blätter zu den Stubaier Alpen und Ötztaler Alpen (1937 und 1954, alle 1:25:000).

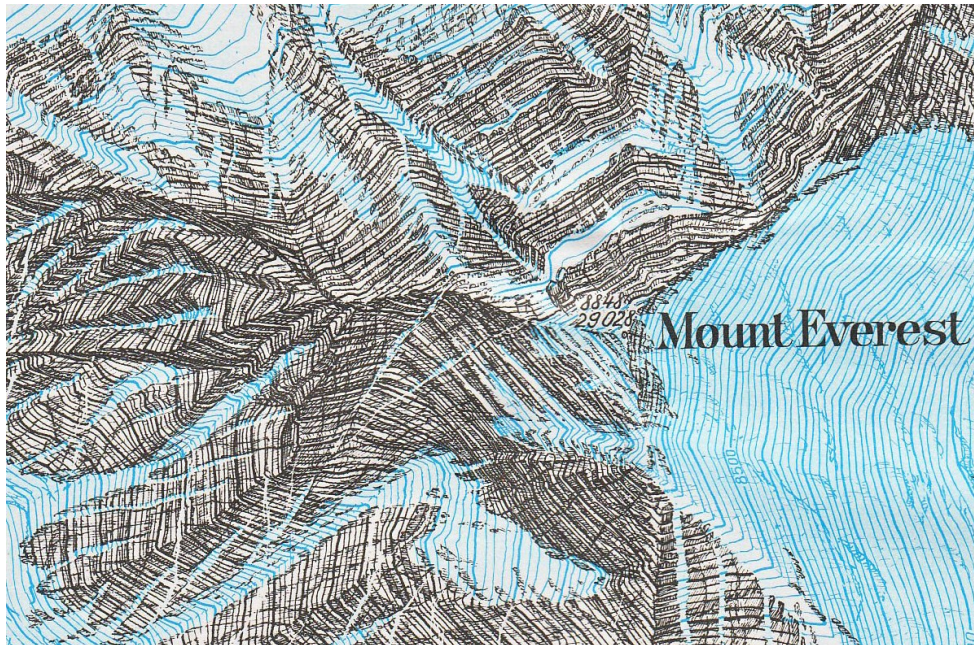


Abb. 8: Ausschnitt Alpenvereinskarte Nr. 0/2, „Chomolungma - Mount Everest“ 1:25.000 (nicht maßstabsgetreu)

4.2.3 Methoden mit Höhenlinien als primäres Element

Zu den Felsdarstellungen dieser Methoden zählen Darstellungen, in denen das Höhenlinienbild in den Vordergrund rückt. Die Felszeichnung ist nur sekundäres Element der Geländedarstellung.

Als Beispiel für diese Methoden können die Felszeichnung der amtlichen Österreichischen Karte 1:50.000 (ÖK50) herangezogen werden (vgl. Abb. 9). Die Höhenlinien sind in orange-braun gezeichnet und insgesamt gut lesbar. Der Fels wirkt etwas in den Hintergrund versetzt und wird in einem leichten grau dargestellt. Er tritt also graphisch stark zurück, die Höhenlinien dominieren die Geländedarstellung. Vor allem in neueren Karten des Österreichischen Alpenvereins, bediente man sich ebenfalls bei den Darstellungen des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen. Grund dafür dürfte die aufwendige Neuerstellung der Felszeichnungen sein.

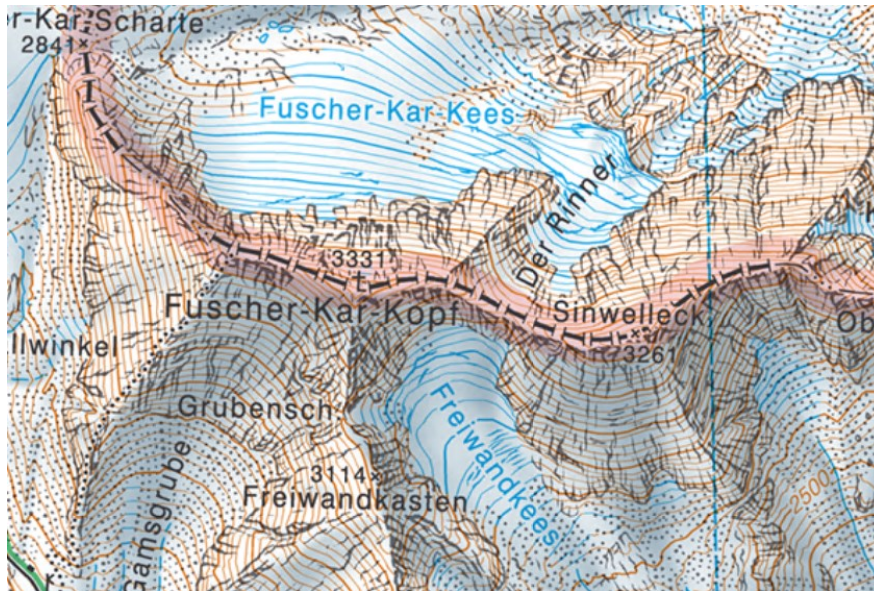


Abb. 9: Ausschnitt Österreichische Karte 1:50.000, 3227 – Grossglockner (nicht maßstabsgetreu)

Bei der amtlichen österreichischen Darstellung handelt es sich eher um eine Gerippelinienendarstellung. Füllschraffen kommen nur sehr sparsam zum Einsatz. Die Felszeichnung ist kaum an die Höhenlinien angepasst. Lediglich grobe Richtungsänderungen der Kurven spiegeln sich auch in der Linienführung der Darstellung wider. Ansonsten wirken beide Elemente eher visuell voneinander getrennt und die Höhenlinien im Fels zu geglättet. Eine plastische Wirkung ergibt sich nur durch das Höhenlinienbild in Kombination mit der Schummerung.

Allgemeine Kritik, bezüglich der Wirkung des Höhenlinienbildes dieser Darstellungsweise, wurde auch von Arnberger formuliert. Der Fels wird nur schematisch dargestellt und von den Höhenlinien erdrückt. Dadurch fehlt der Ansporn eine qualitativ hochwertige Felszeichnung zu erstellen. [ARN-75; 306]

4.3 Geometrisch integrierte Methode

Bei der geometrisch integrierten Methode handelt es sich um Entwicklungen in der Felsdarstellung, die ab den 1940er Jahren stattgefunden haben. Es sind Felszeichnungen, die auf einer geometrischen Konstruktion basieren. Die photogrammetrisch gewonnenen Höhenlinien werden in den Vordergrund gestellt und als primäres Konstruktionsmittel genutzt.

Erste Darstellungen einer geometrisch integrierten Methode zeigte der Schweizer W. Blumer schon 1937 (Karte Glärnischgebiet 1:25.000, vgl. Abb. 10). Sie zeigen eine

Verschmelzung von Höhenlinien mit der Felszeichnung. Ab den 1960er Jahren wurden Karten des Österreichischen Alpenvereins mit diesen Darstellungen veröffentlicht. Verantwortlich dafür zeichnete sich L. Brandstätter, der die Methoden von Blumer übernahm und weiterentwickelte. Dazu zählt unter anderem das Prinzip der so genannten Steilwandkennzeichnung. [ARN-75; 307]

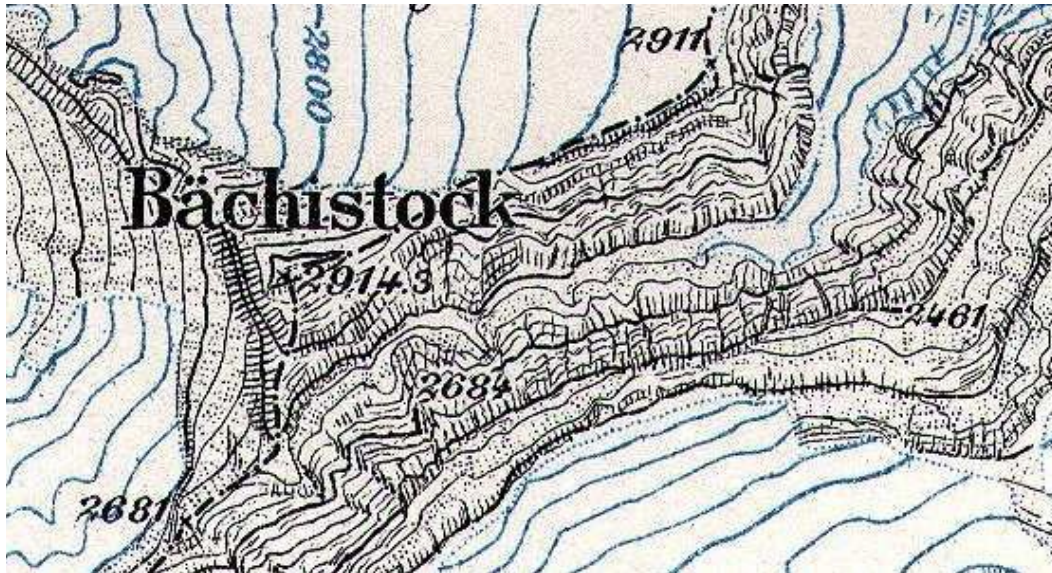


Abb. 10: Ausschnitt Karte Glärnisch [DAH-08; 11]

Brandstätter lehnte die üblichen Schraffenzeichnungen entschieden ab und trat für eine Felsdarstellung ein, die auf einem exakten Höhenlinienbild basierte. Er prägte einen technischen Zugang zur Felsdarstellung, der strikteren Regeln folgte, als die bis dato bekannten Darstellungen.

Dabei setzte er auf die Nutzung der Scharungsplastik. Damit ist die plastische Wirkung der Höhenlinien bei einer bestimmten Äquidistanz gemeint. Im Steilraum kommt der Scharungersatz (oder auch Steilwandkennzeichnung) zum Einsatz. Ab einer bestimmten Hangneigung werden die Höhenlinien (ausgenommen der Zähllinien) ausgespart, um eine Überlagerung der Linien und die daraus resultierende Unlesbarkeit zu vermeiden. Stattdessen werden diese steilen Bereiche mit vertikalen Schraffenstrichen gefüllt.

Das Höhenlinienbild wird zusätzlich noch durch eine Kantenzeichnung und die Gefügezeichnung ergänzt. Die Gefügezeichnung dient generell zur Abbildung von Kleinformen im Fels und wird vor allem in den weniger steilen Bereichen, in denen die Scharungsplastik nicht wirkt, eingesetzt. Brandstätter ging auch bei der Schummerung neue Wege. Er lehnte die Schummerung als Teil der Geländedarstellung, wie sie etwa in den Schweizer Landeskarten genutzt wurden, grundsätzlich ab. Stattdessen verwendete er in seinen Darstellungen eine hilfplastische Schummerung (ähnlich einer

Böschungsschummerung), die aber ihrerseits Kritik unter den Kartographinnen und Kartographen der damaligen Zeit auslöste [ARN-75; 311].

Die Felsdarstellungen Brandstätters finden sich in Alpenvereinskarten der Ostalpen, wie etwa Steinernes Meer (1969, 1:25:000) und Hochalmspitze – Ankogel (1979, 1:25:000). Karten mit Darstellungen nach dem gleichen Prinzip, aber von anderen Bearbeiterinnen und Bearbeitern, wurden vom Alpenverein noch in den 1980er Jahren herausgegeben. Dazu zählen unter anderem die Karten der Cordillera Real (1987 und 1990, jeweils 1:50.000) und der Ennstaler Alpen - Gesäuse (1987, 1:25.000).

5 Analyse bekannter Felsdarstellungsmethoden

5.1 Schweizer Methode

Der dreidimensionale Eindruck der Schweizer Geländedarstellung entsteht durch die Schummerung, die Felszeichnung und die Schuttdarstellung (vgl. Abb. 11). Diese Elemente variieren ihre Helligkeit und Strichstärken je nach Lage zur Lichtquelle und erzeugen dadurch einen plastischen Effekt. Der Felsen wird in der Schweizer Methode in einer aufrissähnlichen Perspektive gezeichnet. Er wird so dargestellt, wie es der natürlichen Blickrichtung von unten auf die Formationen entspricht. Dies erleichtert der Kartenleserin und dem Kartenleser die Auffassung und das Wiedererkennen in der Natur. Grundsätzlich soll die Darstellung das Erscheinungsbild des Felsens möglichst optimal wiedergeben. Dazu gehören die Steilheit, die Form und die Art des Felsens. [JEN-14; 362]

Die Schweizer Felsdarstellungsmethode ist durch drei Merkmale gekennzeichnet, die wie folgt zusammengefasst werden können:

- Kontinuierliche dreidimensionale Darstellung des Geländes
- Aufriss-Perspektive
- Bestmögliche Beschreibung des Felsens



Abb. 11: Ausschnitt Schweizer Landeskarte 1178, Gross Litzner 1:25.000 (nicht maßstabsgetreu)

5.1.1 Felsschraffen und Gerippe

Die Felsdarstellung nach Schweizer Methode setzt sich aus einzelnen Felselementen zusammen, die wiederum aus einem Felsgerippe und Füllschraffen aufgebaut sind. Das Felsgerippe ist das formgebende Element der Darstellung und bildet die geologischen Gegebenheiten des Felsens ab. Das sind vor allem Formen wie Kanten, Grate, Erosionslinien und Rinnen. Die Füllschraffen sind das gestalterische Element, das durch das Prinzip der Schattenschraffen den plastischen Effekt der Darstellung erzeugt und zusätzlich die Charakteristik des Felsens wiedergibt.



Abb. 12: Konturstriche, Formstriche, Gerippe [GIL-98; 14]

Das formgebende Felsgerippe setzt sich aus Konturstrichen und Formstrichen zusammen (vgl. Abb. 12). Konturstriche kennzeichnen Kanten an den beleuchteten Hängen der Darstellung. Sie werden grundsätzlich relativ fein gezeichnet. Im Gegensatz dazu sind Formstriche, für morphologische Gegebenheiten, an den Schattenhängen vorgesehen und werden stärker gezeichnet als Konturstriche und Füllschraffen. Sie werden vor allem für die Kennzeichnung von eingeschnittenen Elementen der Morphologie, wie etwa Rinnen eingesetzt. Sie sind für das dreidimensionale Erscheinungsbild des einzelnen Felselements ausschlaggebend. [JEN-14; 366-367]



Abb. 13: Gerippe, Füllschraffen und Felsdarstellungselement [GIL-98; 14]

Das Gerippe alleine kann dem Betrachter bereits eine gute Vorstellung über den Felsaufbau und die Form vermitteln. Die Schweizer Darstellung erzielt ihre Wirkung durch die Fels-Schattenschraffen. Diese Füllschraffen werden in das Gerippe „eingepasst“ (vgl. Abb. 13).

„In ein fein gegliedertes, leicht angedeutetes Gerippelinienbild setzt man, wo es der Raum zulässt, Schraffuren, die in Ihrem plastischen Effekt den Tonwert eines vorher entworfenen oder nur supponierten Schattenentwurfes entsprechen. [...] Anordnung und Form der Felsschraffen sind nicht so streng geregelt, wie bei den allgemeinen Böschungs- und Schattenschraffen. Hierzu wären die einzelnen Flächen zu klein, zu unstetig, zu zerknittert. Felsschraffen sind zeichnerisch freier.“ [IMH-65; 287]

Die Füllschraffen geben der Darstellung also die schattenplastische Wirkung und die unverwechselbare Charakteristik. Durch sie entsteht der Eindruck massiver Felsen, ohne aber das Gesamtbild zu belasten. Durch Imhofs Beschreibung werden auch die künstlerische Freiheit und die Anforderungen der manuellen Erstellung deutlich. Diese Freiheit und das Fehlen exakter Regeln für die Erstellung, stellen in Hinblick auf die Automatisierung natürlich gewisse Probleme dar. Trotzdem können aus der älteren und jüngeren Literatur einige Prinzipien der Schweizer Felsdarstellungsmethode abgeleitet werden, die in weiterer Folge beschrieben werden.

Das Gerippe unterteilt den Fels in Felseinzelemente, die zumeist die Form von Drei- oder Vierecken annehmen. Diese Einzelemente entsprechen einer Gliederung der Felsflächen, wie sie aus der Aufriss-Perspektive (Ansicht des Menschen aus der Ebene) zu erkennen ist. Sie setzen sich häufig aus einer Schatten- einer Licht- sowie einer Streiflicht- beziehungsweise Streifschattenseite zusammen. Die oberen und unteren Begrenzungen der Felseinzelemente werden oftmals von den eingezeichneten Höhenlinien gebildet. [JEN-14; 366]

Diese Felseinzelemente sind jedoch als idealtypisch anzusehen. Sie sind in den Darstellungen nicht immer eindeutig zu erkennen oder abzugrenzen. Vielmehr handelt es sich bei den Felsdarstellungen der Schweizer Landeskarten um kontinuierliche Darstellungen, die in ihrer Gesamtheit wirken. Ebenso sind oft Füllschraffen und das Gerippe der Theorie in den komplexen Darstellungen schwer voneinander zu trennen.

„Im fertigen Schraffenbild sollen die Gerippelinien nur wenig in Erscheinung treten. Sie dienen lediglich als zeichnerische Hilfe. [...] Der Eindruck der scharfen Kanten muss durch Akzentuierung der aneinandergrenzenden Licht- und Schattenseiten zu erreichen versucht werden.“ [ARN-75; 305]

Die Schweizer Felszeichnung beruht also auf einer gewissen Freiheit in der Erstellung. Diese Freiheit verlangt von der Kartographin oder vom Kartographen hohe Fertigkeiten, um ein harmonisches Gesamtbild zu erschaffen. Gerade das Gesamtbild erzeugt die hervorragende Anschaulichkeit der Schweizer Darstellungen. Die Freiheit in der Erstellung führt aber auch zu Schwierigkeiten in Hinblick auf mögliche Automatisierungsbestrebungen.

Schraffenrichtung

Die Schraffenrichtung wird je nach Steilheit des Geländes variiert (vgl. Abb. 14). In flachen Bereichen des Felsens werden sie horizontal, parallel zu den Höhenlinien gezeichnet, in steilen Bereichen hingegen vertikal und in Fallrichtung. Es existiert kein definierter Schwellenwert der Hangneigung, der die Orientierung der Schraffen eindeutig bestimmt. Hier ist auf die Darstellungen Brandstätters hinzuweisen, die einem ähnlichen Prinzip folgen. Dabei wird aber allerdings ein solcher Schwellenwert berücksichtigt, um den Einsatz des so genannten Scharungsersatzes zu regulieren. Eine exakte Anwendung einer solchen Regel scheint jedoch bei der manuellen Erstellung einer Felszeichnung nach Schweizer Methode, nicht zwingend notwendig zu sein.



Abb. 14: Höhenlinien, vertikale Schraffen und horizontale Schraffen [GIL-98; 14]

Die Schweizer Methode geht einen anderen Weg. Es liegen allgemeine Beschreibungen für die jeweilige Anwendung von horizontalen oder vertikalen Schraffen vor. Vertikale Schraffen werden dann eingesetzt wenn sich Schnee und Vegetation an der Felswand nicht halten kann und die Gefahr von Felssturz besteht. Derartige Bereiche sind vom Menschen nur mit spezieller Ausrüstung begehbar. Im Gegensatz dazu werden horizontale Schraffen in flacheren Bereichen gezeichnet, die grundsätzlich von Wanderern begangen werden können. [JEN-14; 367]

Hier wird ersichtlich, dass der Kartographin oder dem Kartographen eine gewisse Freiheit auch in Hinblick auf die Ausrichtung der Schraffen zugestanden wird. Bei der Schweizer Darstellungsmethode kommen größtenteils horizontale Felsschraffen und Fallinienschraffen zum Einsatz. Andere Schraffenrichtungen werden nur in Ausnahmefällen verwendet. Dadurch ist dieses Prinzip der Darstellung, genauso wie das Prinzip des Scharungsersatzes nach Brandstätter, durchaus für eine Automatisierung geeignet.

Beleuchtung / Schattenplastischer Effekt

Die Beleuchtung wird aus Richtung Nordwest angenommen. In Abhängigkeit von der Exposition erfolgt hauptsächlich eine Variation der Strichstärke, weniger der Abstände zwischen den Schraffen.

„Mit jeder kleinsten Strichknickung und Strichbiegung soll äußerst genau eine entsprechende Änderung der Strichstärke verbunden sein [...]. Gekrümmte und geknickte Striche ohne entsprechende Variation der Strichstärken sind stets falsch. Gerade Striche mit Strichstärkeänderungen sind stets falsch.“ [IMH-65; 290]

Das Beleuchtungsmodell der Schweizer Felsdarstellungsmethode wurde schon 1998 von Gilgen beschrieben [GIL-98; 14] (vgl. Abb. 15, links). Durch den Einfall des Lichts aus Nordwest ergeben sich an einem idealtypischen pyramidenförmigen Fels eine Volllichtseite und eine Hauptschattenseite. Die Seiten die nicht direkt der Lichtquelle zu- oder abgewandt sind, werden je nach Exposition Streiflicht- oder Streifschattenseite bezeichnet. In diesem Modell ist nur eine Beleuchtungsrichtung berücksichtigt. Jenny [JEN-14; 366] beschreibt neben der Hauptbeleuchtungsrichtung auch eine sekundäre Beleuchtungsrichtung, die dafür verantwortlich ist, dass kleinere Felseinzelemente schattenplastisch prägnanter dargestellt werden (vgl. Abb. 15, rechts). Das Felselement auf der Hauptschattenseite wäre an den zwei Seiten parallel der Hauptbeleuchtungsrichtung, annähernd mit demselben Tonwert darzustellen. Dadurch käme keine schattenplastische Wirkung zustande. Deshalb wird die Beleuchtungsrichtung lokal für dieses Element verändert, um die Seiten deutlich voneinander zu unterscheiden. Es entstehen somit eine Volllichtseite und eine Hauptschattenseite als begrenzende Flächen des Felselements.

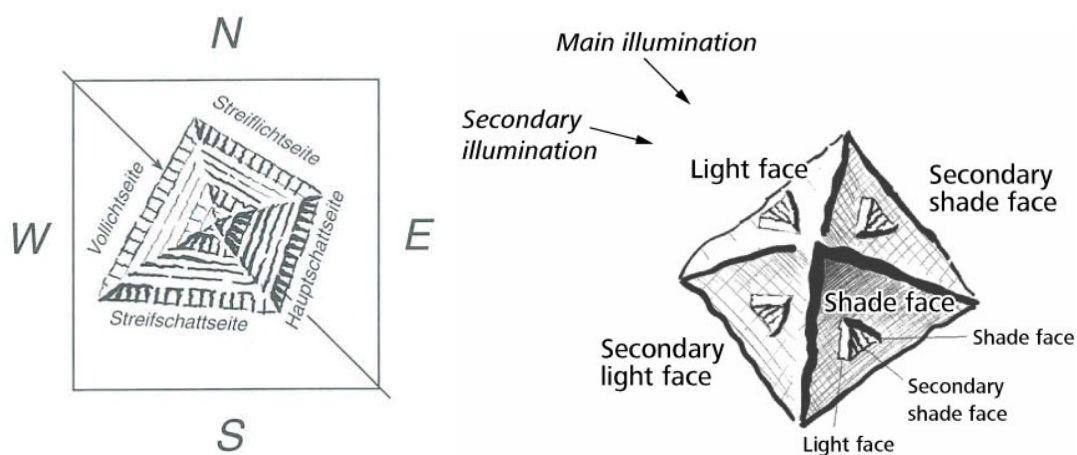


Abb. 15: Beleuchtungsmodell [GIL-98; 14], Hauptbeleuchtungsrichtung und sekundäre Beleuchtungsrichtung [JEN-14; 366]

Schraffenabstände

Wie schon beschrieben, erfolgt in Abhängigkeit von Licht oder Schattenexposition hauptsächlich eine Variation der Strichstärke. In geringem Ausmaß kann aber auch der Schraffenabstand variiert werden. Im Durchschnitt werden sieben Schraffen auf 2 mm gezeichnet (vgl. Abb. 16). Anhand der Änderung der Strichstärke allein, kann die Helligkeit des jeweiligen Bereiches festgelegt werden. Trotzdem ist eine leichte Variation der Schraffenabstände nicht unüblich.

„Es sollen durchschnittlich sieben Striche auf zwei Millimeter für Füllschraffen gezeichnet werden. Dieselben können variieren von sieben bis acht Strichen auf Schattenseiten und sieben bis fünf auf Lichtseiten.“ [GIL-98; 14]



Abb. 16: Durchschnittliche Schraffendichte [JEN-14; 365 u. 367]

Die Variation ist also ebenfalls abhängig von der Lage der Schraffen. Um dem schattenplastischen Bild zu entsprechen, können die Schattenseiten etwas dichter und die Lichtseiten weniger dicht mit Schraffen versehen werden. Diese Festlegung kann hinsichtlich einer Automatisierung umgesetzt werden.

Strichcharakteristik und Akzentuierung der Kanten

Charakteristisch für die Schweizer Felszeichnungen ist auch die „zittrige“ Strichführung, die eine gewisse Schroffheit des Felsens widerspiegelt. Zusätzlich werden sich verjüngende Striche genutzt, die oft nicht mit dem Gerippe verbunden sind. Dadurch werden Kantenlinien betont.

„Die Felsschraffen sind leicht bewegt zu halten, nicht wellig sondern eher zittrig, die rauhe Oberfläche der Naturfelsen charakterisierend.“ [GIL-98; 14]

Die Füllschraffen zeichnen sich dadurch aus, dass sie an den Grenzen zu Schattenseiten nicht bis zur Kante hin durchgezeichnet werden [JEN-14; 368]. Durch dieses Stilmittel entstehen weiße Freiräume, wodurch Geländekanten hervorgehoben werden (vgl. Abb. 17). Verantwortlich dafür ist der starke Kontrast der an den Schnittlinien unterschiedlich beleuchteter Seiten des Felsgeländes entsteht.

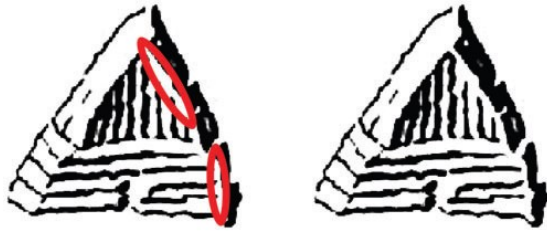


Abb. 17: Strichcharakteristik und Leerräume [JEN-14; 368]

Auf der beleuchteten Seite werden Schraffen nicht mit den oberen Konturstrichen verbunden. Hier verjüngen sich die Striche nach oben hin. Falllinienschräffuren an beschatteten Seiten werden hingegen mit der Kontur streng verbunden. [JEN-14; 368]

Generell zeichnen sich die feineren Schraffen auf den beleuchteten Seiten durch häufiges Unterbrechen und einen deutlich „gerissenen“ Stil aus. Dagegen werden Schraffen an den Schattenseiten weniger häufig unterbrochen und eher durchgezogen dargestellt. Dadurch werden einerseits der „leichte“ Eindruck der Lichtseiten und andererseits der massive Eindruck der Schattenseiten verstärkt. Der plastische Effekt wird zusätzlich unterstützt.

Die gut erkennbare Geländeform der Schweizer Felsdarstellungen wird also durch ein gezieltes „Auslassen“ und die dadurch entstehenden Zwischenräume und nicht durch eine prägnante Kantenzeichnung erzeugt. Im komplexen Zusammenspiel von Felseinzelementen, unterliegen gerade diese Gestaltungsprinzipien stark dem Verständnis und Können, aber auch der Gestaltungsfreiheit der Kartographin bzw. des Kartographen. Sie stellen deshalb auch eine besondere Herausforderung hinsichtlich einer automatisierten Umsetzung dar.

5.1.2 Höhenlinien

Grundsätzlich werden bei der Methode die Höhenlinien im selben Schwarz der Felszeichnung dargestellt. Im größten Maßstab der Schweizer Landeskarten (1:25.000) werden die Höhenlinien mit der Äquidistanz von 20 Metern, im Fels ausgesetzt. Lediglich die 100 Meter Zähllinien werden durchgezogen. Bei kleineren Maßstäben und generalisierter Felsdarstellung werden gar keine Höhenlinien im Fels gezeichnet. Im Schutt werden alle Höhenlinien ebenfalls im Schwarz der Felszeichnung, abgebildet.

Eine Darstellung aller Höhenlinien würde in der Schweizer Methode zu Problemen führen. Aufgrund der Füllschraffen, die den schattenplastischen Effekt erzeugen, ist der Platz für weitere Elemente begrenzt. Ein Erhalt des gesamten Höhenlinienbildes, ist mit einer Felsdarstellung nach Schweizer Manier nicht zu vereinbaren. Die Darstellung würde gestört und die plastische Wirkung verloren gehen.



Abb. 18: Strichstärke und Charakteristik der Zähllinien [GIL-98; 18]

Die Höhenlinien im Fels werden im Allgemeinen freigestellt. Das heißt es kommt zu keinem Kreuzen oder Überlagern mit den anderen Elementen der Darstellung. Die Schraffen und das Gerippe werden zumeist nicht bis an die Höhenlinie heran gezeichnet. Dadurch entsteht ein gut leserliches Bild – die Höhenlinien sind eindeutig zu verfolgen.

Die Zähllinien werden in der gesamten Kartendarstellung verstärkt eingezeichnet. Diese Strichstärke wird mit leichter Variation im Fels beibehalten. Die Variation der Strichstärke folgt hier grundsätzlich dem Prinzip der Schattenschraffen (vgl. Abb. 18). An den Sonnenhängen werden etwas geringere Strichstärken eingesetzt, an Schattenseiten werden sie etwas stärker eingezeichnet. Ihr Verlauf kann als kantig beschrieben werden, was einem natürlichen Verlauf im Gestein entspricht. Den zitterigen Strichcharakter der Schraffen weisen die Höhenlinien im Fels nicht auf, was mit Sicherheit zu einer besseren Lesbarkeit beiträgt. Des Weiteren orientiert sich das Gerippe stark am Verlauf der Zähllinien. Dadurch wirken die Höhenlinien insgesamt harmonisch in die Darstellung integriert und nicht visuell von der Felszeichnung getrennt.

5.1.3 Schummerung

In den Schweizer Landeskarten wird zur Unterstützung der Auffassung des Geländes eine schattenplastische Schummerung eingesetzt. Diese Schummerung weist jedoch einige Besonderheiten auf.

Unter Annahme einer Lichtquelle aus Nordwesten mit einem Einfallswinkel des Lichtes von 45°, wird das Gelände durch einer Schräglichtschummerung angedeutet. Zudem wird eine Art luftperspektivische Ansicht berücksichtigt. Mit ansteigender Höhe wird eine zunehmende Schatten - und Lichtwirkung erzeugt. Die Kontraste werden nach oben hin stärker, nach unten hin schwächer. Das Prinzip findet sich in der Felsdarstellung wieder. [GIL-98; 12]

Eine Besonderheit der Darstellung ist auch der sogenannte Sonnenton. An nordwestlich orientierten Hängen die von Vegetation (außer Waldvegetation) bedeckt sind, wird eine leicht gelbe Flächenfärbung eingesetzt. Die Felszeichnung selbst wird jedoch nicht in diesem Ton gefärbt. [KRI-98; 118]

5.1.4 Kritik an der Darstellung

Kritik an den Schweizer Felsdarstellungen wurde vor allem von Seiten der Vertreterinnen und Vertreter der geometrischen und messtechnisch korrekten Darstellungsweisen geübt. Der Forderung nach einer geometrisch exakten Grundlage und Definition des Geländes durch die Höhenlinien, wird in der Schweizer Manier nicht nachgekommen. Der Erhalt des Höhenlinienbildes im Fels, ist mit der Darstellungsmethode nicht zu vereinbaren. Dadurch werden der Kartenleserin bzw. dem Kartenleser geometrische Informationen vorenthalten, die grundsätzlich vorhanden sind. Diese geometrische Information wird durch eine weitgehend subjektive und freie Zeichnung ersetzt.

Brandstätter äußerte sich in seinen Publikationen wiederholt kritisch bezüglich der traditionellen Felsschraffenmethode: *„Das Beugen und unterdrücken echten Vermessungsgutes im Felsgebiet zugunsten einer Strichzeichnung alten Stils verweist auf die Unlust der jüngeren Topographie, sich mit genauer Höhenlinienmessung und ihrer darstellerischen Konsequenz überhaupt ernsthaft auseinanderzusetzen.“* [BRA-83; 35]

Die hohe Anschaulichkeit, die plastische Wirkung und die dadurch schnelle Auffassbarkeit, sind die großen Vorzüge dieser Darstellungsweise. Den Vorteilen steht das Fehlen exakter geometrischer Information, als Hauptkritikpunkt gegenüber.

5.2 Haarstrichmethode von Ebster

Die Haarstrichmethode von Fritz Ebster wurde ab den 1930er Jahren erprobt und in Alpenvereinskarten der Ostalpen, aber auch in Expeditionskarten (Nanga Parbat) eingesetzt. Sie stellt eine eigenständige Felszeichnung des Österreichischen Alpenvereins dar, die bis in die 1960er Jahre genutzt wurde. Die Methode ist dadurch gekennzeichnet, dass erstmals alle Höhenlinien im Fels dargestellt wurden (vgl. Abb. 19). Ergänzt wurde das vollständige Höhenlinienbild durch die charakteristischen Haarlinienschraffen und eine Kantenzeichnung. Durch die Haarstrichmethode wurde im Alpenverein eine neue Richtung eingeschlagen. Weg von einer größtenteils subjektiven und freien Zeichnung der ausschließlich genetischen Methoden, hin zur geometrisch exakten Darstellung. Im Alpenverein wurde somit im Gegensatz zur amtlichen Schweizer Kartographie, der Forderung nach dem Erhalt der messtechnischen Grundlage nachgegeben.

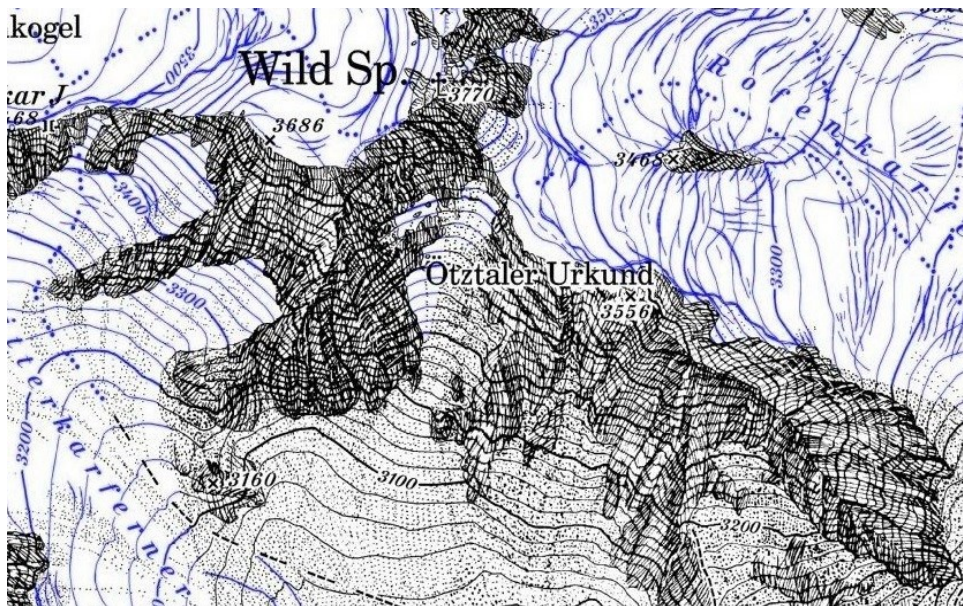


Abb. 19: Ausschnitt Alpenvereinskarte Nr. 30/3, „Ötztaler Alpen, Wildspitze“ 1:25.000 (nicht maßstabsgetreu)

Trotz der geometrischen Grundlage der Höhenlinien im Fels, verfolgte Ebster aber auch weiterhin eine Art genetischen Ansatz. Die Kenntnis über die Morphologie und Genese des Gebirges, wurde weiterhin als Voraussetzung für korrektes Felszeichnen angesehen. Es war für die Felszeichnerin bzw. den Felszeichner unerlässlich, die geologischen Beschaffenheit und den Aufbau des Gebirges zu kennen. Die verschiedenen geologischen Schichten und die für jede Gesteinsart typische Gestaltung, durch die gebirgsbildenden Kräfte, sollten sich in der Felszeichnung widerspiegeln. [EBS-37; 709]

5.2.1 Höhenlinien

Wie beschrieben, werden die Höhenlinien im Fels durchgezogen. Es werden dadurch teilweise Überlagerungen der Kurven in Kauf genommen. Diese Verdichtung führt im Allgemeinen auch dazu, dass sehr steile Bereiche dunkel erscheinen.

Bei den sehr dichten Haarstrichzeichnungen fügen sich die Höhenlinien stark ins Gesamtbild der Felszeichnung ein. In den bereits besprochenen steilen Bereichen und an sonstigen Hängen mit hoher Schraffendichte (Schattenseiten), können durch das Liniengewirr die Höhenlinien nicht eindeutig ausgemacht werden. Das Abzählen ist teilweise schwierig.

Die Höhenlinien werden im selben Schwarz der Fels- und Schuttzeichnung dargestellt. Für Gletscher und Gewässer kommt Blau zum Einsatz. Sonstige Höhenlinien (Vegetation) werden in Braun gezeichnet.

Die manuelle Konstruktion Ebsters Haarliniendarstellungen erfolgt auf Basis der Höhenlinien. Zuerst werden die Höhenkurven, dann die Gerippelinien und markante Geländeformen (wie Bänder, Rinnen und Absätze) gezeichnet. Danach werden die Flächen mit den charakteristischen Haarlinienschraffen gefüllt. [ARN-70; 117]

5.2.2 Schraffen

Die Schraffenmethode Ebsters unterscheidet sich grundsätzlich von anderen Felszeichnungen, wie der Schweizer Manier. Die eingesetzten Schraffen sind sehr feine Striche (deshalb Haarstriche), die meist in Richtung der Falllinie gezogen sind. Kreuzschraffuren kommen ebenfalls zur Anwendung, werden aber sparsam eingesetzt. Typisch für die Methode ist auch, dass die besagten Haarstriche zum Teil sehr lang und über die Höhenlinien hinweg gezogen werden. Sie werden nicht systematisch ausgesetzt oder unterbrochen.

Gemeinsamkeiten mit der Schweizer Methode können trotzdem festgehalten werden. Ebster versucht unter Annahme einer steilen West- bis Nordwestbeleuchtung einen plastischen Effekt zu erzielen. Dieser Effekt ist im Prinzip vergleichbar mit der schattenplastischen Wirkung der Schweizer Darstellungen. [ARN-70; 119]

Die Darstellung verwendet dabei aber nicht eine konstante Beleuchtungsrichtung. Die Hauptbeleuchtungsrichtung (Nordwest), die möglichst eingehalten werden soll, wird teilweise variiert um charakteristische Gebiete prägnant darzustellen. Der Einfallswinkel kann lokal zwischen 10° und 60° angepasst werden, wenn dies notwendig ist. Laut Ebster beeinträchtigt diese lokale Variation der Beleuchtungsrichtung nicht die Auffassbarkeit und den Gesamteindruck der Darstellung. Kartenleserinnen und Kartenleser werden dadurch nicht verwirrt. [EBS-37; 709]

Der erzeugte plastische Effekt wird jedoch nicht konsequent auf die gesamte Darstellung angewendet. Das Prinzip ist relativ frei ausgelegt und wird zudem mit anderen Darstellungsregeln kombiniert. Räumliche Effekte werden aber im Allgemeinen durch den Wechsel der Strichlagen (Schraffendichte und Strichstärke) an Graten und Geländekanten erzeugt.

Eine exakte Definition von Darstellungsregeln kann in der Literatur nicht gefunden werden. Es kann festgehalten werden, dass je nach Lage und Neigung der Felsfläche eine Variation der Haarstriche in Richtung und Länge erfolgt. [BRU-98; 211]

Generell bestehen also Abhängigkeiten der Strichlage, Stärke und Dichte von der Exposition (und damit der Beleuchtungsrichtung), aber auch der Hangneigung. Diese Abhängigkeiten sind nicht fest definiert, sondern werden von der Zeichnerin bzw. vom Zeichner je nach Situation mehr oder weniger frei angewendet.

Ebenso allgemein beschreibt Arnberger die Methode: *„Die zwischen den Gerippelinien liegenden Flächen werden je nach Steilheit, Lage und Beleuchtung mit mehr oder weniger starken Strichlagen versehen, um zu den körperlich anschaulichsten Formen zu gelangen.“* [ARN-70; 117]

Der Abstand zwischen den Schraffuren richtet sich nach der Geländeform und der Beleuchtung. Tonverstärkungen einer Fläche an den Schattenseiten, können durch Kreuzschraffuren gelöst werden. Diese Methode ist jedoch vorsichtig einzusetzen, da eine mögliche Überlagerung der Schraffen mit den Höhenlinien, ein zu dichtes und unleserliches Bild erzeugt. Besser ist es die Strichstärke zu erhöhen. Aus diesen Beschreibungen Ebsters zur Schraffendichte und Strichstärke, kann ebenfalls die gewisse Freiheit erkannt werden, die der Felszeichnerin bzw. dem Felszeichner zukommt. [EBS-37; 709]

An gleichmäßigen Hängen (Hängen ohne maßgebliche Änderung der Exposition beziehungsweise der Beleuchtungsrichtung) kommt das Prinzip „je steiler desto dichter“ zum Einsatz, wodurch eine Verdunklung, der jeweiligen Bereiche hervorgerufen wird. Dies ist einerseits durch die schon besprochene Verdichtung und den Erhalt aller Höhenlinien bedingt und wird andererseits bewusst, durch die Variation der Strichstärke oder der Anzahl der verwendeten Haarstriche, eingesetzt. Schon zur damaligen Zeit galt das Prinzip das in Ebsters Haarstrichzeichnungen nur teilweise intendiert zum Einsatz kommt, als veraltet. Kritik an einer Methode „je steiler desto dunkler“ wurden von Imhof und Arnberger geäußert.

„Felsschraffuren nach dem Prinzip „je steiler, desto dunkler“ ergeben ein wenig plastisches und schwer lesbares Bild. An Gräben und Wänden berühren sich gleichartig dunkel schraffierte Flächen und verhindern auf diese Weise eine klare Erkennbarkeit der Form. Diese Methode ist heute allgemein überwunden.“ [ARN-75; 305].

Grundsätzlich werden bei der Methode also Richtungswechsel in Felshängen und damit markante Geländeformen, durch Änderungen in der Schraffur (Strichdichte und Stärke), herausgearbeitet. Dies geschieht primär unter Berücksichtigung einer Beleuchtungsrichtung und damit der Exposition, aber auch in Abhängigkeit der Hangneigung. Die Beleuchtungsrichtung kann lokal variiert werden, um Formen besser zu verdeutlichen.

Wie bei der Schweizer Methode wird auch hier eine gewisse gestalterische Freiheit vorausgesetzt. Es gibt zwar Richtlinien für die Darstellung, diese sind aber nicht exakt in Regeln formuliert. Zudem kommen sie nicht jederzeit zwingend zum Einsatz – die Zeichnerin oder der Zeichner entscheidet schlussendlich über Einsatz der Stilmittel. Diese Freiheit in der Gestaltung wird von Ebster wie folgt beschrieben:

„Es bleibt der subjektiven Auffassung des Zeichners überlassen, sich die verschiedenen Arten, also Richtung, Stärke, Länge und Enge des Strichs bzw. Strichlagen fallweise dienstbar zu machen.“ [EBS-37; 709]

Diese gestalterische Freiheit ist bezüglich der möglichen Automatisierung einer solchen Darstellung, als ungünstig zu bewerten. Andererseits bietet die Ebster-Methode durchaus Ansatzpunkte die einer Formalisierung zugänglich sind.

5.2.3 Kantenzeichnung, Gerippe

Positive sowie negative Geländekanten (konvexe beziehungsweise konkave Geländeformen), wie Kämme und Rinnen werden bei der Methode als durchgängige Striche eingezeichnet. Die Strichstärke ist dabei zumeist etwas größer als die der umgebenden Schraffen. Dadurch können die Kanten besser als solche erkannt werden. Die Schraffen setzen oftmals an der Kantenzeichnung an oder werden durch Kanten begrenzt. Die Haarlinien werden nicht über primäre Geländekanten (markante Änderung der Exposition) hinweg gezeichnet. In diesem Fall erfolgt eine Änderung der Strichrichtung.

Imhof äußert Kritik an der an der Haarstrichmethode auch bezüglich der Auffassbarkeit der Kantenzeichnung. An scharfen Kämmen und Gräben treffen gleichartig schraffierte Flächen aufeinander. Dadurch sind diese Strukturen nur schwer zu erkennen. [IMH-65; 294]

Diese Kritik kann nur bedingt nachvollzogen werden. Viel mehr wirkt es so, als würde Ebster diesen Effekt bewusst vermeiden. Die Kantenzeichnung wird zumeist durch einen Wechsel der Schraffendichte unterstützt. An den wesentlichen Geländekanten wird die Dichte der Flächenschraffur variiert, was einen Wechsel des Tonwerts von hell (weniger dicht) zu dunkel (dichter) bewirkt. Wenn die Kanten nicht durch solch einen Wechsel unterstützt werden, kann es zu Schwierigkeiten in der Auffassung kommen. Dies tritt jedoch meist nur bei sehr komplexen Formen auf.

Die Abgrenzung des Felsgeländes ist in Ebsters Darstellungen meist als eindeutige Trennlinie eingezeichnet. Einerseits tritt dadurch der Fels sehr gut hervor und hebt sich eindeutig ab, andererseits wirkt diese Grenze oft zu hart oder etwas unnatürlich. Es sind selten kontinuierliche Übergänge zum umgebenden Gelände (Vegetation, Schutt usw.) zu finden. Im Allgemeinen hebt sich der Fels sehr stark vom restlichen Kartenbild ab und wirkt dadurch teilweise schlecht in die Darstellung integriert.

5.2.4 Kritik an der Darstellung

Die Methode konnte sich im Österreichischen Alpenverein etablieren und wurde lange Zeit angewendet. Kritik übte etwa Imhof an der dichte der Darstellung. Die Falllinienschraffuren wirken schematisch und ohne Licht-Schatteneffekte. Zudem entsteht ein zu dichtes Strichgefüge durch die Höhenlinien in Kombination mit den Haarlinienschraffen [IMH-65; 305].

Die dichte Darstellungsweise bewirkt jedenfalls eine sehr prägnante Wirkung. Der schroffe Fels kommt in seiner Gesamtheit gut zur Geltung. Komplexe Felsformen sind durch die Methode jedoch schwer darstellbar. Hier fehlt oft ein plastischer Effekt, der die Auffassung erleichtert. Im sehr steilen Gelände kommt es, alleine wegen der engen Höhenlinienscharung, zu Darstellungsproblemen.

Des Weiteren kann eine unnatürliche Darstellungsweise kritisiert werden, die zeitweise durch eine Art „Gewebeeffekt“ erzeugt wird. Gleichmäßige Haarlinienstriche wirken im Zusammenspiel mit den Höhenlinien wie ein Netz. Dies trifft vor allem zu, wenn die Höhenlinien ebenfalls gleichmäßig und ohne Richtungsänderung verlaufen und keine Kantenzeichnung das Bild klärt. In diesem Fall ergibt sich eine Zeichnung, die wenig charakteristisch für ein Felsgelände ist.

Man kann davon ausgehen, dass die Methode in der Form nicht für kleinere Maßstäbe (1:50.000) geeignet ist. Die Höhenlinienscharung wäre bei der üblichen 20-Meter Äquidistanz, in Verbindung mit der dichten Haarlinienschraffur, zu gering. Die Darstellung würde sich somit noch weiter verdichten und wäre dadurch nicht mehr auffassbar.

5.3 Geometrisch integrierte Methode Brandstatters

Brandstätters Standpunkt bezüglich der topographischen Felsdarstellung ist geprägt von der Ablehnung gegenüber der zeichnerischen Freiheit, die in anderen Felsdarstellungsmethoden praktiziert wurde. Er war starker Kritiker der Schweizer Methoden und Verfechter der geometrisch korrekten Darstellung. Die durch die Vermessung zu der Zeit schon sehr exakten Höhenlinien, dürften im Fels nicht einfach ignoriert und durch eine freie Zeichnung ersetzt werden. Die faszinierende und spontane Anschaulichkeit von schattenplastischen Darstellungen, dürfe nicht Vorrang gegenüber der korrekten Bildinformation haben. Dies entspräche nicht der Zielsetzung der Topographie – der Sinn und Zweck der topographischen Karte würden dadurch in Frage gestellt werden. [BRA-83; 34]

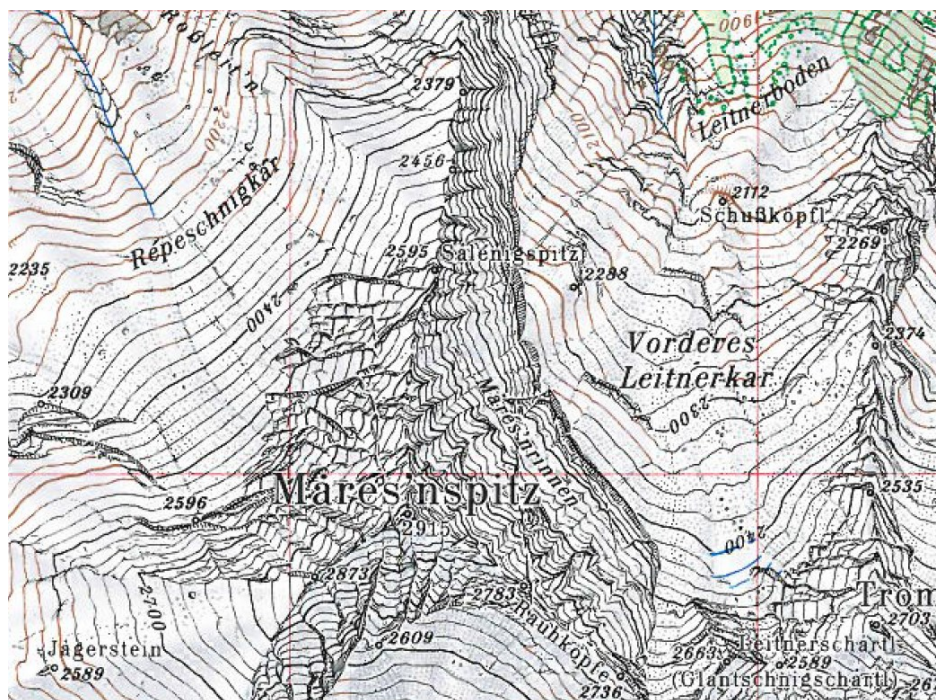


Abb. 20: Ausschnitt Alpenvereinskarte Nr. 44, „Hochalmspitze-Ankogel“ 1:25.000 (nicht maßstabsgetreu)

Brandstätter spricht sich für eine rein geometrische Konstruktion über das Höhenlinienbild aus. Die Höhenlinien sind primäres Element der Gelände- und Felsdarstellung (vgl. Abb. 20). Für den Fels soll es keine Sonderlösung, wie eine subjektive Schraffenzeichnung, geben.

„Der Höhenlinienkarte des Hochgebirges obliegt es, alle Böschungsgrade des Oberflächenreliefs zwischen 0° und 90° [...] in verebneter und stark verkleinerter Darstellung begreiflich zu machen. Außer den Höhenlinien gibt es kein Mittel, das sich zu einem derart universalen Anlauf eignen könnte.“ [BRA-83; 78]

Eingriffe werden nur dort getätigt, wo die Höhenlinien nicht aussagekräftig oder sinnvoll darstellbar sind. Unterstützt wird das Höhenlinienbild durch eine Kantenzeichnung. Die sogenannte Gefügezeichnung bringt Kleinformen zur Darstellung. Sie wird vor allem im flachen Gelände eingesetzt, wo die Höhenlinien die Oberflächen nicht ausreichend beschreiben.

Zusammengefasst sind die wesentlichen Elemente von Brandstätters Felsdarstellung folgende:

- Höhenlinienbild mit Eingriffen im „Steilraum“ (der sogenannte „Scharungsersatz“)
- Kantenzeichnung
- Gefügezeichnung für Kleinformen

5.3.1 Höhenlinien – Scharungsplastik

Die Höhenlinien werden im Fels und im Schutt in Schwarz, die Zähllinien verstärkt oder teilweise auch gerissen gezeichnet. Die Farbe der Höhenlinien grenzt den Felsuntergrund von anderen Böden ab (beispielsweise Braun für die alpine Vegetation, usw.).

Die Darstellung ist durch die Verwendung des geometrisch exakten Höhenlinienbildes gekennzeichnet. Es ist das primäre Element, um das Felsgelände korrekt darzustellen. Eine eigene Lösung für das Felsgelände (wie etwa eine Schraffendarstellung) kommt nicht zum Einsatz. Begründet wird die Methode von Brandstätter durch die Scharungsplastik. Darunter wird die räumliche Wirkung des Höhenlinienbildes bei bestimmten horizontalen Abständen zwischen den Höhenlinien verstanden. Dieser plastische Effekt der Scharung ist nur zwischen bestimmten Flach- und Steilgrenzen gegeben.

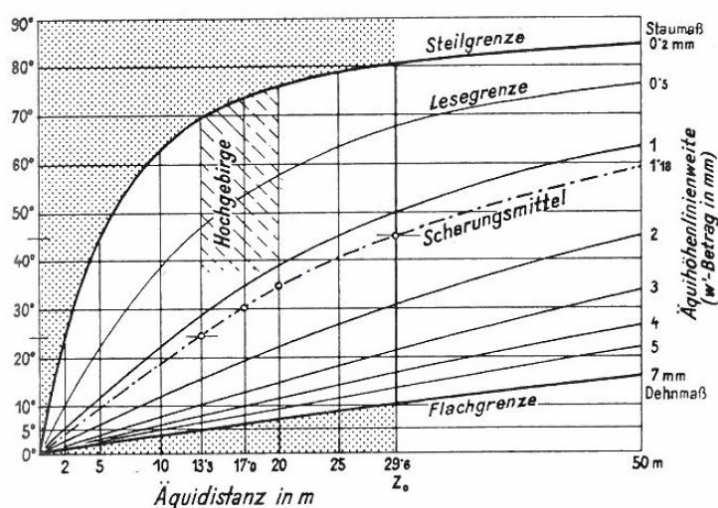


Abb. 21: Scharungsdiagramm für 1:25.000 [BRA-83; 87]

Als Grundlage verwendet Brandstätter Scharungsdiagramme, die das Höhenlinienbild analysieren (vgl. Abb. 21). Hierbei wird der Winkel der Böschung auf der Ordinate und die Äquidistanzen auf der Abszisse, jeweils linear aufgetragen. Als Strichstärke für die Höhenlinien wird ein Wert von 0,08 mm angenommen (Zähllinien 0,2 mm). Die Kurven beschreiben Grenzwerte der visuellen Auffassung, die durch die Abstände der Höhenlinien definiert werden.

An der Steilgrenze ist der Linienstau so groß, dass es zur Überlagerung kommt. Die Linien sind visuell nicht mehr voneinander zu trennen. Oberhalb der Steilgrenze befindet sich der Steilraum. Die Lesegrenze definiert die Schwelle an der die Abzählbarkeit der Höhenlinien nicht mehr gewährleistet ist. Zwischen Lesegrenze und Steilgrenze befindet sich der „Halbtonraum“. Hier ist die Scharung nicht mehr leicht auffassbar. Unterhalb der Flachgrenze - im so genannten Flachraum - versagt die Wirkung der Scharungsplastik. Brandstätter spricht hier vom gestörten Scharungsraum. Vor allem diese Bereiche des Felsgeländes werden bei der Konstruktion mit der Gefügezeichnung versehen. [BRA-83; 82 ff.]

Eine ideale Darstellung hätte einerseits eine möglichst hohe Steilgrenze, was für eine große Äquidistanz spricht, andererseits aber auch eine möglichst niedrige Flachgrenze - was wiederum für eine kleine Äquidistanz spricht. Es gilt somit unter allen Äquidistanzen den optimalen Kompromiss zu finden. Die gebräuchliche Äquidistanz von 20 Metern der Maßstäbe 1:25.000 und 1:50.000, stellt sich bei den Untersuchungen Brandstätters als nicht optimal heraus (siehe Tab. 1). Für 1:25.000 ist sie zu grob und für 1:50.000 zu fein. Ein Problem stellt hierbei naturgemäß das metrische System dar. Der Kartograph ist dadurch an bestimmte Äquidistanzen gebunden.

Maßstab	Äquidistanz		Steilgrenze	Flachgrenze	Lesegrenze	Anmerkung
1:25.000	20 m	grob	76°	7°	58°	gebräuchlich
	50 feet (15,24 m)	günstig	72°	5°	52°	ideal
	10 m	fein	63°	3°	38°	
1:50.000	33,3 m	grob	73°	8°	54°	
	25 m	günstig	68°	6°	45°	ideal = 27,5 m
	20 m	fein	63°	5°	39°	gebräuchlich

Tab. 1: Hochgebirgsäquidistanzen nach Brandstätter

Das Versagen der Scharungsplastik tritt auf wenn die Distanz zwischen den Höhenlinien zu gering ist, aber auch bei zu großen Abständen zwischen den Linien. Die Scharungsplastik ist also vom Böschungswinkel und der Äquidistanz abhängig. Bei zu

geringer Scharungsdistanz kommt es zum Überlagern der Höhenlinien, was ein Liniengewirr und schlechte Lesbarkeit zur Folge hätte. In diesem Fall sieht die Methode Eingriffe ins Höhenlinienbild vor. Der Scharungersatz (oder auch Steilwandkennzeichnung) kommt zum Einsatz.

Das Prinzip, das hier zur Anwendung kommt ist, wie bereits erwähnt, durchaus vergleichbar mit dem der Schweizer Darstellung. In steilen Bereichen werden Linien in der Fallrichtung, anstelle von parallel zu den Höhenkurven verlaufenden Linien, eingesetzt. Trotzdem unterscheidet sich die Schweizer Methode grundsätzlich durch den Einsatz der freieren Schattenschraffen in horizontaler und vertikaler Richtung. Im Gegensatz dazu ist Brandstätters Lösung der Steilwandkennzeichnung eine geometrische.

Das Versagen der Scharungsplastik durch zu große Scharungsweiten, kann in flachen Bereichen auftreten. Die Höhenlinien allein können in solchen Felsregionen (beispielsweise Karstplateaus) keine aussagekräftige Darstellung liefern. Zudem finden sich in diesen Bereichen kaum markante Geländekanten, die das Höhenlinienbild ergänzen würden. Besonders hier ist eine andere Darstellungsweise notwendig. Die Lösung erfolgt durch die Gefügezeichnung, die kleinere Felsstrukturen wiedergibt.

5.3.2 Scharungersatz

Brandstätter zeigt auch eine grobe Klassifizierung des Geländes nach dem Böschungswinkel (siehe Tab. 2). Die Wirkung der Scharung der Höhenlinien versagt demnach im Flachraum und im Steilraum. Die beste Wirkung erzielt die Scharung im Allgemeinen zwischen 30° und 60° . Hier ist sie gut leserlich und der plastische Effekt kommt zum Tragen. Im Falle von Schrägwänden (ca. 60° - 75°) ist die Abzählbarkeit der Höhenlinien nur beschränkt gegeben. Im bereits beschriebenen Halbtonraum wirken Höhenlinien wie Horizontalschraffuren. Im Steilraum berühren sich die Höhenlinien, die Zwischenräume sind geringer als die Strichstärken - es entstehen unleserliche Knäuel von Linien. [BRA-83; 67]

Bezeichnung	Böschungsbereich	Scharungsreflex
Flach gelagertes Felsgebiet (Karst, Gletscherschliff, ...)	0° - 30°	dürrtige bis gemäßigte Scharung, meist gestört
Felsflanken	30° - 60°	Scharung gut leserlich
Schrägwände	60° - 75°	Engscharung, Halbtonraum
Steilwände	$\sim 80^\circ$	Normalscharung unbrauchbar, Zähllinien
Lotwände	$\sim 90^\circ$	ohne maßstäbliche Grundrissfläche

Tab. 2: Böschungsklassen nach Brandstätter [BRA-83; 118]

Die graphische Lösung für den Steilraum ist der Scharungsersatz. Hier werden lediglich die Zähllinien dargestellt. Das sind zumeist Höhenlinien der vier- bis fünffachen „Normal-Äquidistanz“. Dadurch wird die Lesbarkeit aufrechterhalten und die geometrische Definition geht nicht zur Gänze verloren. Das Höhenlinienbild wird durch Schraffen in der Falllinie ersetzt, die auch als Steilwandkennzeichnung beschrieben sind (vgl. Abb. 22). Auch Felsbänder und Steilhänge in mehr oder weniger vertikaler Richtung werden so dargestellt. Die Steilwandkennzeichnung wird auch in Kombination mit der Kantenzeichnung eingesetzt.

Der Scharungsersatz richtet sich nach der Steilgrenze. Sie definiert den Grenzwert der Hangneigung (den Böschungswert), ab dem sich die Höhenlinien überlagern. Die Steilgrenze ist abhängig vom Maßstab und der Äquidistanz. Im Maßstab 1:25.000 und bei einer Äquidistanz von 20 Metern, kommt der Scharungsersatz ab einer Hangneigung von etwa 76° zur Anwendung.

Brandstätter äußerte sich zu der Methode, die er weitgehend von Blumer übernommen hat, wie folgt: *„Man meidet jede Berührung, jeden Zusammenstoß zweier verschieden hoher Schichtlinien, setzt die untere Linie knapp vorher ab, und man geht an höher entwickelten Steilwänden unter Auslassen der 20-m-Höhenlinien auf die Zähläquidistanz, die 100-m-Linie, über, wenn diese sich auf etwa 1,5mm nähern. Auch das Zusammenfließen von 100-m-Linien meidet man durch Absetzen der tieferen. Die entstehende Scharungslücke deckt man präzise mit strukturverwandter, tonausgleichender Steilwandschraffur, genannt Scharungsersatz, zu. Mit diesem Verfahren bringen wir bildliche und geometrische Klarheit in die Steilwandgürtel ab etwa 70° [...]“* [ARN-75; 309]

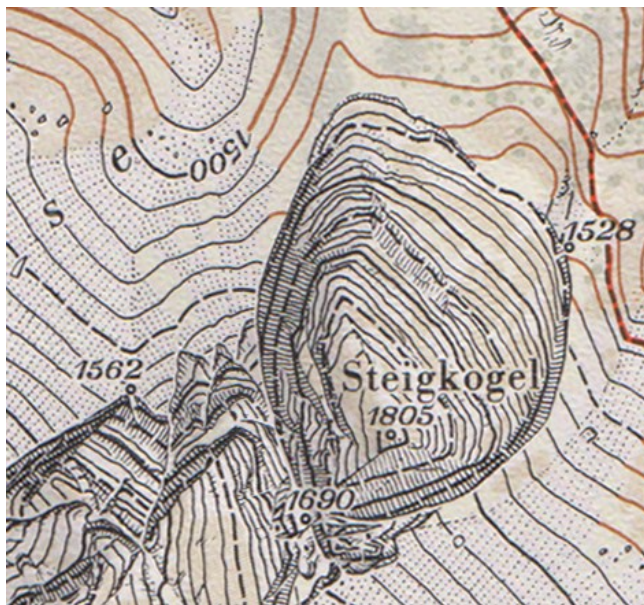


Abb. 22: Scharungsersatz und Steilwandkennzeichnung; Kartenausschnitt Gosaukamm 1:10.000 (nicht maßstabsgetreu) [BRA-83]

Der Strichcharakteristik zeichnet sich dadurch aus, dass extrem feine, parallele Schraffen in der Falllinie gezeichnet werden. Hierbei handelt es sich um keine typischen Felsschraffen, die die Charakteristik des Felsens wiedergeben sollen, sondern um sehr gleichmäßige Striche. Sie sind weder „zittrig“ noch kreuzen oder überlagern sie sich, um knittrige Felsoberflächen darzustellen. Der Scharungsersatz ist demnach nicht zu vergleichen mit Schraffentechniken anderer Methoden.

Die Striche der Steilwandkennzeichnung setzen oftmals - aber nicht ausschließlich - an Höhenlinien oder der Kantenzeichnung an. Zudem werden die Zähllinien nicht freigestellt. Teilweise verwendet Brandstätter bei der Gefügezeichnung ähnliche Strichmuster. Dadurch sind der Steilraum und das Gefüge nicht immer eindeutig voneinander zu unterscheiden.

5.3.3 Kantenzeichnung

In der Darstellung werden positive und negative Geländekanten eingezeichnet. Alle markanten Richtungsänderungen und Knicke der Höhenlinien werden dadurch verdeutlicht.

„Brandstätter betont, dass Höhenlinienbild und Kantenzeichnung zu einer Einheit verschmelzen müssen und es eine Höhenlinienecke ohne klärende Kantenzeichnung ebenso wenig geben darf wie ein Hinwegziehen von Kanten über glatte Höhenlinien.“
[ARN-75; 310]

Bei der Methode wird nach Art der Kanten unterschieden. Hochkanten (positive Geländekanten) werden durchgezogen in Schwarz eingezeichnet. Tiefkanten (negative Geländekanten) werden hingegen mit weißem Begleitstrich dargestellt. Die Strichstärke ist dabei abhängig von der Ausprägung der Kante. Diese Darstellungsweise ist in der Literatur auch als „begleitende Lichtkante“ beschrieben. Im Prinzip werden negative Kanten durch ein kurzes Aussetzen der Höhenlinien angezeigt. [BRU-98; 212]

Bei der Kantenzeichnung Brandstätters ist die Linienstärke zur Kantenneigung umgekehrt proportional. Scharfe Kanten werden daher stärker eingezeichnet, als weniger scharfe Kanten. [ARN-75; 310]

Generell erfolgt bei der Darstellung keine explizite Abgrenzung des Felsgeländes. Wenn die Felsgrenze mit einer Geländekante zusammenfällt, ist eine solche Grenze durch die Kantenzeichnung jedoch gut erkennbar. Ansonsten ist der Fels allein durch die schwarze Farbe des Höhenlinienbildes gekennzeichnet. Dasselbe Schwarz wird in Brandstätters Darstellungen auch für die Höhenlinien im Schutt verwendet. Dadurch kommt es teilweise zu Verwechslungen zwischen Fels- und Schuttgelände.

5.3.4 Gefügezeichnung

Die Gefügezeichnung kommt überall dort zum Einsatz, wo die Scharungsplastik versagt. Zusätzlich wird sie dort, wo Platz ist, auch zur Charakterisierung des Felsgeländes verwendet. Es handelt sich dabei um feine Schraffen und Kantenlinien, die Kleinformen und die Oberflächenrauigkeit des Felsens wiedergeben. Die Gefügezeichnung wirkt wie eine der jeweiligen Situation angepasste, aber dennoch generalisierte Textur für das Felsgelände.

Brandstätter versteht unter dem Gefüge die nicht messbare Oberflächenrauigkeit des Geländes. Die Gefügezeichnung ist eine feine Kantenzeichnung deren Form nicht unmittelbar abhängig von der Scharung ist (im Gegensatz zur Kantenzeichnung). In ihrer Anwendung ist sie im Mengenverhältnis umgekehrt proportional zur Höhenlinienscharung. Je dichter die Scharung, desto weniger Gefügezeichnung kommt zum Einsatz. [BRA-83; 227 ff.]

Im Allgemeinen wird die Gefügezeichnung von Brandstätter also zur Andeutung der Struktur des Felsgeländes eingesetzt. Sie stellt zudem einen gewissen Flächenzusammenhang her. Es ist eine relativ freie Zeichnung, die kaum Regeln folgt und deshalb für eine Automatisierung schwierig umzusetzen ist. [BRU-98; 212]

5.3.5 Schummerung

Brandstätter äußerte sich grundsätzlich kritisch gegenüber dem Einsatz von Schummerungen in topographischen Karten. Er entwickelte eine neue Art der Schummerung, die er selbst als Hilfsschummer bezeichnete. Es handelt sich um eine eher subjektive Schummerung, die die Scharungsplastik unterstützen soll. Dies ist vor allem an weichen Flächenübergängen notwendig. Die Schummerung, die von Brandstätter als unwichtigstes Element der Darstellung bezeichnet wurde, soll vor allem ein schnelleres Erkennen von Formzusammenhängen ermöglichen. Eine festgelegte Beleuchtungsrichtung gibt es bei der Methode nicht. [BRA-83; 288]

Aufgabe der Hilfsschummerung ist es, Großformen zusammenzufassen und Mittelformen zu verdeutlichen. Es ist eine Schummerung der Böschungsänderung die böschungsplastische, aber auch schattenplastische Effekte nutzt. Steil-Flach-Übergänge werden böschungsplastisch betont. Kämme und Rücken werden durch die Schattenplastik hervorgehoben. Die Technik ist in der Literatur nicht unumstritten. Kritikpunkt ist vor allem die Verwirrung der Kartenleserin bzw. des Kartenlesers, die durch die Änderung der Beleuchtungsrichtung ausgelöst wird. [ARN-75; 311]

Die Hilfsschummerung wurde nicht in allen Karten Brandstätters eingesetzt und in Neuauflagen teilweise durch eine zeitgemäße Schummerung ersetzt. Diese Tatsache unterstreicht die Annahme, dass die Schummerung nur einen unwesentlichen Beitrag zur Wirkung von Brandstätters Gelände- und Felsdarstellungen beiträgt.

5.3.6 Weitere Bearbeitungen nach Brandstätter-Methode

Auch nach Brandstätter gab es im Österreichischen und Deutschen Alpenverein Bearbeitungen, die seine Methoden der Geländedarstellung nutzten. Als Beispiel kann die Karte der Cordillera Real (Maßstab 1:50.000) aus dem Jahr 1990 herangezogen werden (vgl. Abb. 23). Im Allgemeinen sind diese Darstellungen weniger detailliert und wirken deutlich gröber. Die Höhenlinien im Fels werden stärker betont. Die Prinzipien der Kanten- und der Steilwandkennzeichnung wurden grundsätzlich übernommen. Eine eigene Gefügezeichnung wurde jedoch nicht realisiert.



Abb. 23: Ausschnitt Alpenvereinskarte Nr. 0/9, „Cordillera Real, Süd - Illimani“ 1:50.000 (nicht maßstabsgetreu)

Als positiver Ansatz kann die differenzierte Darstellung der Höhenlinien gesehen werden. Geröll und Fels werden in der Karte durch unterschiedliche Färbung der Höhenlinien getrennt. Im Geröll sind die Höhenlinien grau gezeichnet, im Fels weiterhin schwarz. Dies ermöglicht eine visuelle Unterscheidung des reinen Felsgeländes vom umgebenden Gelände. Es kommt zu einer eindeutigen Felsabgrenzung, die durchaus förderlich für die schnelle Auffassung ist.

5.3.7 Kritik an der Darstellung

Kritik wurde an der Felsdarstellung Brandstätters, vor allem von Vertreterinnen und Vertretern der Schweizer Methode geübt. Das Kartenbild wird generell als schwer lesbar beurteilt. Das feine Strichbild ist relativ schwer zu interpretieren. Im Unterschied zu anderen Methoden ist die fehlende Plastizität der Darstellung in Klein- und Großformen nicht gegeben. Im Vergleich zur Schweizer Methode ist dieser Punkt besonders augenscheinlich. [HUR-95; 75]

Imhof äußert sich ebenfalls kritisch zu der Methode, die durch Blumer und Brandstätter vertreten wurde:

„Ein solch starr geregeltes Liniengewebe vermag die Gliederungen und Strukturen im Fels nicht genügend zu veranschaulichen. Der Kartenleser bleibt mancherorts im Unklaren, ob es sich um Felsen oder Schuttbänder handelt. Das Felsbild ist nicht genügend anschaulich, nicht genügend plastisch.“ [IMH-65; 298]

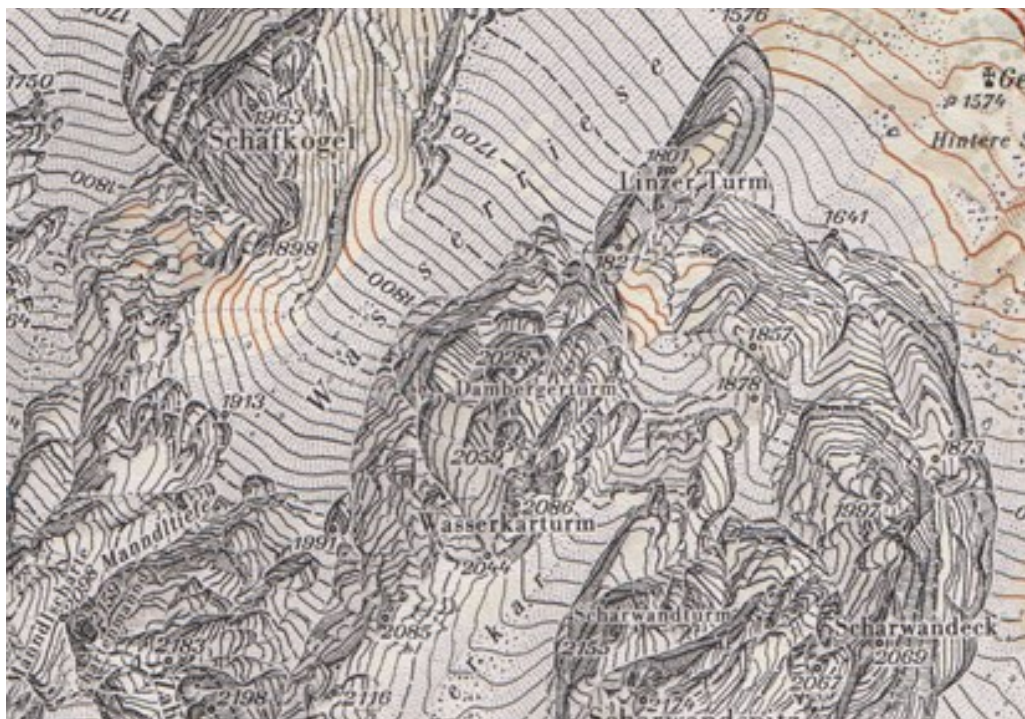


Abb. 24: Kartenausschnitt Gosaukamm 1:25.000 (nicht maßstabsgetreu) [BRA-83]

Die Darstellungsmethode stößt an Ihre Grenzen, wenn es darum geht komplexere Felsformationen im üblichen Maßstäben (1:25.000) zu erfassen. Dies wird deutlich, wenn man die Karten Gosaukamm, die in 1:10.000 (vgl. Abb. 22) und 1:25.000 (vgl. Abb. 24) vorliegen, vergleicht. Im größeren Maßstab ist das Felsgelände noch relativ gut zu interpretieren. Die Formen kommen klar zur Geltung. Im Maßstab 1:25.000 herrscht teilweise ein unübersichtliches Liniengewirr, das es kaum schafft einen treffenden

Eindruck vom Gelände zu vermitteln. Durch die dichte Darstellung und den ständigen Wechsel zwischen Scharung, Scharungsersatz und Kanten, sind die Höhenlinien im Fels praktisch nicht zu verfolgen. Der Vorteil der geometrisch korrekten Darstellung erschließt sich der Kartenleserin und dem Kartenleser hier teilweise nicht mehr. Zudem ist die visuelle Abgrenzung des Felsgeländes häufig nicht gegeben. Oftmals fehlt der eindeutige Flächenzusammenhang. Vor allem wenn der Fels nicht durch eine Kante von der Umgebung getrennt ist, führt dies oft zu Verwirrung. Auch die Schuttdarstellung und die Gefügezeichnung können dieses Problem nicht optimal lösen. Die wiederkehrende Kritik an Brandstätters Schummerung wurde bereits besprochen. Da sie nicht als essentieller Teil der Felsdarstellung gesehen wird, ist dieser Kritikpunkt jedoch zu vernachlässigen.

„Die Felsdarstellungen in den Karten Brandstätters erreicht sicher nicht die Brillanz etwa der Felszeichnungen von Aegerter und Rohn; die Bedeutung der Brandstätter-Manier liegt im Erhalt der hohen Geometriegenauigkeit der photogrammetrischen Auswertung, gepaart mit einer Anschaulichkeit.“ [BRU-98; 212]

Kritik kann auch an der Gefügezeichnung geübt werden. Brandstätters Philosophie von einer Geländedarstellung ist gekennzeichnet durch die Ablehnung von subjektiven Felszeichnungen, wie sie etwa von den Schweizer Kartographinnen und Kartographen vertreten werden. In Hinblick auf diese Tatsache überrascht es jedoch sehr, dass eine Gefügezeichnung in dieser Form zum Einsatz kommt. Die Gefügezeichnung kann ebenfalls als detaillierte Kantenzeichnung subjektiven Charakters gesehen werden und ist daher den feinen und künstlerischen Schraffenzeichnungen teilweise nicht unähnlich.

Grundsätzlich kann bei der geometrisch integrierten Methode nach Brandstätter von einer modernen und effektiven Art der Felsdarstellung gesprochen werden. Vor allem für Automatisierungsversuche bietet sie einige Ansatzpunkte. Das Prinzip des Scharungsersatzes („Steilwandkennzeichnung“) sollte relativ leicht formalisierbar sein. Auch die Kantenzeichnung und das besprochene Prinzip der Lichtkanten sind einer Automatisierung gut zugänglich. Die Gefügezeichnung, als eine Art „Mikro-Kantenzeichnung“ zur Charakterisierung der Felsoberfläche, dürfte sich jedoch als anspruchsvoller in Hinblick auf eine Automatisierung herausstellen.

5.4 Prinzipien und Elemente der Darstellung

Abschließend zur Analyse manueller Felsdarstellungen, soll ein Überblick über die genutzten Prinzipien und Elemente gegeben werden. Hierfür wurde eine Tabelle erstellt, die alle analysierten Methoden gegenüberstellt (siehe Tab. 3).

In die Liste wurden zusätzlich, auch nicht genauer analysierte Methoden aufgenommen. Diese wurden zwar vorgestellt und nutzen auch teilweise die beschriebenen Prinzipien, wurden aber aus besonderen Gründen nicht genauer betrachtet. Die Felsdarstellungen der amtlichen Österreichischen Karten (BEV) sind geometrisch gebundene Darstellungen, die ein dominantes Höhenlinienbild unterstützen. Der Fels ist nicht primäres Element der Geländedarstellung. Zudem können sie qualitativ nicht mit den Darstellungen des Alpenvereins und der amtlichen Schweizer Kartographie mithalten. Dieser qualitative Unterschied ist mitunter auf den kleineren Maßstab zurückzuführen. Die Felszeichnungen des BEV sind mittlerweile auf den Maßstab 1:50.000 ausgelegt. Alle anderen beschriebenen Methoden sind für Maßstäbe von 1:25.000 oder größer konzipiert. Die genetischen Methoden hingegen sind sehr freie, künstlerische Methoden, die kaum bestimmten Regeln folgen. Zu den genetischen Felszeichnungen, die mittlerweile seit mehr als 100 Jahren bestehen, ist kaum analytische Literatur vorhanden. Auch deshalb sind sie für den verfolgten Ansatz der Automatisierung zu vernachlässigen.

	analysierte Methoden			nicht genauer analysierte Methoden	
	Schweizer Methode	Haarstrich-methode	geom. integrierte Methode n. Brandstätter	amtliche österreichische Darstellung	genetische Methoden
Schattenplastischer Effekt	X	X			
Variation horizontaler und vertikaler Linien/Schraffen	X		X	X	X
Höhenlinien im Fels (Scharungsplastik)	nur Zähllinien	X*	X	X*	teilweise Zähllinien
Kantenzeichnung	Gerippe	X	X**	Gerippe	X
Strichcharakteristik	zittrig	Haarlinien			Schraffen
Begrenzung des Felsgeländes	X	X			X

* Darstellung nicht dezidiert auf Nutzung der Scharungsplastik ausgelegt

** Kanten und Gefügezeichnung

Tab. 3: Methodenvergleich der Felsdarstellungen

Die Tabelle beinhaltet Prinzipien und Darstellungselemente der beschriebenen Felszeichnungen. Diese sind relativ allgemein formuliert und die jeweilige Anwendung und der Einsatz innerhalb der Darstellungsmethoden unterscheiden sich teilweise stark. Diese Unterschiede werden im Folgenden kurz zusammengefasst, können aber im Detail den vorangegangenen Analysen entnommen werden.

Der Schattenplastische Effekt ist grundsätzlich durch seine Anwendung in der Schweizer Methode bekannt, aber auch die Haarstrichzeichnungen Ebsters nutzen vergleichbare Effekte unter Annahme einer Beleuchtungsrichtung. Vertikale und horizontale Linien oder Schraffen sind das primäre Darstellungselement der meisten Methoden. Brandstätter (geometrisch integrierte Methode) hat für die Anwendung der vertikalen Linien genaue Regeln aufgestellt (Steilwandkennzeichnung). Auch in der Schweizer Methode wird der Einsatz der Falllinienschraffen von der Steilheit des Felsgeländes abhängig gemacht. Ausnahme ist hier die Haarstrichzeichnung des Alpenvereins - sie nutzt hauptsächlich Linien in der Fallrichtung.

Höhenlinien sind in fast allen Methoden wesentlicher Bestandteil der Darstellung. Die geometrisch integrierte Methode Brandstätters nutzt fast ausschließlich das Höhenlinienbild und seine plastische Wirkung (Scharungsplastik) zur Darstellung des Felsgeländes. Ausnahme sind hier die Schweizer Methode und die genetischen Methoden. Hier steht die Wirkungsweise der Schraffenelemente im Vordergrund, wodurch die geometrische Information nur teilweise (in Form von Zähllinien) integriert ist.

Kantenzeichnungen können prinzipiell in allen Felsdarstellungsmethoden erkannt werden. Die Art der Kantenzeichnung ist jedoch häufig unterschiedlich. Differenziert werden können Gerippeliniendarstellungen und „gewöhnliche“ Kantenzeichnungen. Gerippelinien bilden große geologische Formen ab und definieren einzelne Felselemente. Einfachere Kantenzeichnungen beschränken sich hingegen auf markante Linien, die das Felsgelände prägen. Gerippeliniendarstellungen werden von der Schweizer Methode und auch in den amtlichen Österreichischen Karten (ÖK50) genutzt. Bei letzterer Methode sind sie primäres Element der Felszeichnung.

Markante Unterschiede können bei Felsdarstellungen bezüglich der Strichcharakteristik festgehalten werden. Ein breites Spektrum von Linienarten kommt zum Einsatz. Besonders zu erwähnen sind hier die zittrigen Striche der Schweizer Schattenschraffenmethode, aber auch die feinen und langen Striche (Haarstriche) der Felszeichnung nach Ebster. Die geometrisch integrierte Methode nach Brandstätter verzichtet hingegen weitgehend auf Schraffendarstellungen.

Ein weiteres Merkmal ist die Darstellung der Felsabgrenzung. Einige Darstellungen nutzen eigene Linienelemente, um die Felsfläche von der Umgebung eindeutig abzugrenzen. Hier ist vor allem die Haarstrichmethode des Alpenvereins zu nennen. Auch bei der Schweizer Methode ist eine solche Abgrenzung vorhanden. Sie entsteht durch die Kombination des Gerippes mit den Füllschraffen zu abgrenzbaren Felseinzelementen. Vor allem in der Methode nach Brandstätter fehlt diese Abgrenzung zur Gänze. Es wird einerseits versucht durch eine Gefügezeichnung die Felsflächen zu charakterisieren und unterscheidbar zu machen. Andererseits wird eine visuelle Abgrenzung, durch die unterschiedliche Färbung der Höhenlinien je nach Untergrund, erreicht.

6 Konzept der Automatisierung

Nach der Analyse manueller Felszeichnungen des vorigen Kapitels, erfolgt die Festlegung einer Methode für die Automatisierung. Dabei steht die Umsetzung bestimmter Prinzipien der Felsdarstellungen im Vordergrund.

Um die Methode einzugrenzen, wurden einige Voraussetzungen für die Umsetzung der Automatisierung festgelegt. Der Fokus der Umsetzung liegt auf der kartographischen Darstellung der Felszeichnung. Zudem ist auch die Generierung der dafür notwendigen Daten zu berücksichtigen. Das System soll unter Einsatz von GIS-Funktionalitäten und programmierbaren Darstellungswerkzeugen, mit möglichst wenigen manuellen Eingriffen funktionieren. Dabei soll aufgezeigt werden, ob und wie weit eine Automatisierung möglich ist. Eine vollständige Automatisierung aller Teilprozesse ist, auch hinsichtlich des entstehenden Aufwands, nicht unbedingt im ersten Schritt zu realisieren. Als Datengrundlage für die Methode werden digitale Höhenmodelle der darzustellenden Gebiete festgelegt.

Das Ziel einer ersten exemplarischen Umsetzung ist daher eine möglichst weitgehend automatisierte Erstellung von Felsdarstellungen für großmaßstäbige Karten, die unter Anwendung von wiederkehrenden Regeln und allgemeiner Prinzipien der analysierten manuellen Darstellungen abläuft. Zusätzlich soll ein möglichst flexibles System zur Darstellung realisiert werden. Dadurch soll das Erproben der unterschiedlichen Darstellungsweisen und Prinzipien ermöglicht werden. Die Entwicklung einer Testumgebung, mit der Möglichkeit diverse Felsdarstellungen zu erzeugen und zu speichern, ist daher erforderlich. Obwohl Prinzipien bekannter Felsdarstellungen zum Einsatz kommen, sind exakte digitale und automatisierte Kopien bestimmter Felsdarstellungsmethoden, nicht primäres Ziel einer ersten Umsetzung.

Beim Ansatz der Automatisierung kommen verschiedene Technologien zum Einsatz. Es wird vorwiegend auf GIS-Funktionalitäten und programmierbare Grafiktools und Bibliotheken zurückgegriffen. Die Software soll bestenfalls serverbasiert und möglichst unabhängig von graphischen Oberflächen lauffähig sein. Zudem wird der Einsatz von Open-Source Software bevorzugt, um unabhängig von kostenpflichtigen Programmen zu bleiben. Aus den beschriebenen Voraussetzungen für die Methode ergibt sich ein Ablauf, der sich in Datengenerierungs- sowie Darstellungsprozesse gliedert und Daten vom Typ Raster sowie Vektordaten verarbeitet.

Zusammengefasst bestimmen folgende Voraussetzungen das Konzept der Automatisierung:

- Datengrundlage: Digitale Höhenmodelle
- Automatisierte Arbeitsschritte: kartographische Darstellung und die dafür notwendige Datengenerierung
- Umsetzung: Flexibles System zur Erprobung diverser Felsdarstellungen und Prinzipien
- Technologieeinsatz: GIS-Funktionalitäten und programmierbare Grafiktools

In den nächsten Kapiteln wird beschrieben, wie die Regeln der Darstellung und die verschiedenen Felsdarstellungselemente abgeleitet und in weiterer Folge im Darstellungssystem umgesetzt wurden. Hierbei waren die analysierten Felsdarstellungen Grundlage. Anhand der beschriebenen Voraussetzungen und dieser Prinzipien und Elemente, ergeben sich Anforderungen an den Aufbau und den Ablauf der exemplarischen Umsetzung der Automatisierung. Zudem wird die Methode ausführlich beschrieben und verschiedene Ergebnisse gezeigt und diskutiert.

7 Formalisierung von Prinzipien der Darstellung

Durch die Analyse bekannter Felsdarstellungsmethoden, können wiederkehrende Prinzipien der Darstellung erkannt und für eine Automatisierung aufbereitet werden. Bei dem Ansatz der Automatisierung, der in den folgenden Kapiteln beschrieben wird, steht die Umsetzung dieser allgemeinen Regeln im Vordergrund.

Im ersten Schritt wird die Formalisierung der abgeleiteten Prinzipien erläutert. Um für die Automatisierung anwendbar zu sein, müssen die erkannten Prinzipien in formalisierte Regeln umgelegt werden. Dabei ist besonders die Umsetzbarkeit in GIS-Funktionalitäten und programmierbaren Darstellungstools zu beachten. Detaillierte Grundlagen für die Ableitung der Regeln, wurden in den jeweiligen Kapiteln zu den Methoden und Elementen der manuellen Felsdarstellungen beschrieben.

7.1 Scharungsersatz - Einsatz horizontaler und vertikaler Linien/Schraffen

Im Allgemeinen kommen in Felsdarstellungen horizontale und vertikale Linien oder Schraffen zum Einsatz. Das sind Linien in der Fallrichtung oder parallel zu den Höhenlinien. Andere Linienrichtungen werden nur selten verwendet. Die Kantenzeichnung oder auch Gerippeliniendarstellungen sind hier gesondert zu betrachten und werden im entsprechenden Kapitel abgehandelt.

Beim Einsatz dieser unterschiedlichen Linien werden bei verschiedenen Felsdarstellungsmethoden vergleichbare Prinzipien angewendet. In sehr steilen Bereichen werden anstatt horizontaler Linien, vertikale Linien gezeichnet. Die Linienrichtung ist also von der Hangneigung abhängig.

Bei der geometrisch integrierten Methode Brandstätters erfolgt die Darstellung des Felsens primär durch das Höhenlinienbild. Hierbei wird das Prinzip der Scharungsplastik genutzt. Das ist der plastische Effekt der durch äquidistante Linien erzeugt wird. Ab einer gewissen Steilgrenze werden die Höhenlinien jedoch durch vertikale Linien ersetzt (Prinzip der Steilwandkennzeichnung und des Scharungsersatzes), um ein Überlagern der Linien zu vermeiden. Bei der Steilgrenze handelt es sich um einen fest definierten Wert der sich durch die Äquidistanz und den Maßstab der Darstellung, aber auch durch die Linienstärke ergibt.

Bei der Schweizer Methode der Felsdarstellung kommt ein ähnliches Prinzip zum Einsatz. Auch hier werden in sehr steilen Bereichen vertikale statt horizontale Schraffen gezeichnet. Die Regeln für den Einsatz der vertikalen Schraffen sind jedoch wesentlich freier definiert.

Für den Einsatz von horizontalen und vertikalen Linien kann daher folgende vereinfachte Regel abgeleitet werden:

- **Die Hangneigung ist Kondition für die Darstellung der Linienelemente**

Zudem können äquidistanten Linienelementen, abhängig von den horizontalen Abständen zwischen den Höhenlinien, zur Nutzung der Scharungsplastik eingesetzt werden.

7.2 Fels-Schattenschraffen - schattenplastische Darstellung

Schattenplastische Effekte werden nicht nur in der typischen Schweizer Felsdarstellung genutzt, sondern beispielsweise auch in der Haarstrichmethode des Alpenvereines.

Unter Annahme einer Lichtquelle (meist aus Richtung Nordwest) ergibt sich eine dunkle Darstellung an den Schattenseiten und eine hellere Darstellung an den Lichtseiten der Geländeformen. Beim Prinzip der Felsschattenschraffe wird der schattenplastische Effekt durch eine Variation der Strichstärke erreicht. An der Schattenseite werden stärkere Striche eingesetzt, an der Lichtseite entsprechend feinere. Dazwischen erfolgt eine Variation der Strichstärken.

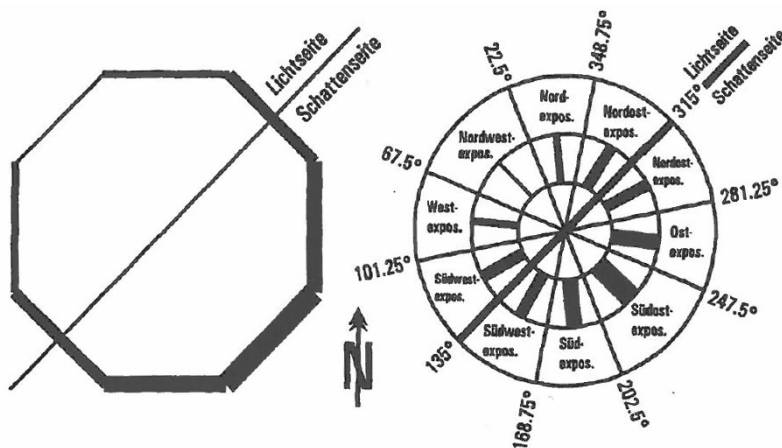


Abb. 25: Lichtmodell nach Hurni [HUR-95]

Eine grundlegende Überlegung zur Formalisierung der Schattenschraffe lieferte bereits Hurni [HUR-95]. Er erstellte ein vereinfachtes Lichtmodell unter Nordwestbeleuchtung (vgl. Abb. 25). Je nach Exposition erfolgt eine Variation der Strichstärke. Aus der Klassifizierung mit 10 Expositionsklassen ergibt sich eine achteckige Rosette der Strichstärken, wobei für die Licht- und Schattenseite jeweils drei Schattierungsstufen (drei Strichstärken pro Seite) eingesetzt werden [HUR-98].

Seltener aber nicht ganz unüblich ist das Prinzip die Schraffendichte (Abstand der Schraffen zueinander) zu variieren, um einen dunkleren Ton zu erzeugen. In der Schweizer Methode wird dieses Prinzip zusätzlich angewendet. Die Variation der Strichabstände ist aber relativ gering.

Bei Ebsters Haarstrichmethode, die im Österreichischen Alpenverein eingesetzt wurde, können ebenfalls beide Prinzipien erkannt werden. Es erfolgt eine Variation der Strichstärke und Dichte nach Exposition. Die Beleuchtungsrichtung wird bei der Haarstrichmethode jedoch fallweise geändert. Dieses subjektiv von der Zeichnerin bzw. vom Zeichner eingesetzte Stilmittel, ist einer „einfachen“ Umsetzung nicht zugänglich. Eine variable Beleuchtungsrichtung innerhalb einer Darstellung wird daher im ersten Schritt nicht realisiert.

Folgende Regeln können für die Erzeugung schattenplastischer Darstellungen festgelegt werden:

- **Die Variation der Strichstärke erfolgt in Abhängigkeit von der Exposition**
- **Zudem kann eine Variation der Strichdichte (Schraffendichte) nach Exposition erfolgen**

7.3 Kantenzeichnung und Felsabgrenzung

Diverse Felszeichnungen verwenden unterschiedliche Methoden zur Darstellung von Geländekanten. Einige Analogien können aber trotzdem erkannt werden.

In der Schweizer Methode ist die Kantenzeichnung durch die Gerippelinien-darstellung gelöst. Kanten werden durch weiße Freiräume (Auslassen) betont, aber auch durchgezogen dargestellt. Das Felsgerippe ist der schattenplastischen Darstellung angepasst. Die bereits beschriebene Konstruktion des Gerippes zu automatisieren, ist äußerst komplex und verlangt die Entwicklung eigener Methoden. Diese werden in der vorliegenden Arbeit nicht behandelt. Weiterführende Arbeiten zum Thema sind von der ETH-Zürich bekannt [GEI-13]. Die reine Darstellungsweise der Gerippelinien ist aber durchaus umsetzbar.

In der Haarstrichmethode des Alpenvereins (Methode nach Ebster) werden die Kanten grundsätzlich durchgezogen dargestellt. Dies beinhaltet positive (konvexe Geländeform) sowie negative Geländekanten (konkave Geländeform), die als durchgängige Striche eingezeichnet werden.

In der Methode Brandstätters ist eine Unterscheidung zwischen positiven und negativen Geländekanten (Hoch- und Tiefkanten) festzuhalten. Positive Geländekanten werden durchgezogen, negative mit weißem Begleitstrich gezeichnet. Das bedeutet die Höhenlinien werden in dem Fall ausgesetzt.

Für eine Automatisierung werden folgende Punkte festgehalten:

- **Positive und negative Geländekanten sind zu unterscheiden und auf verschiedene Arten darzustellen**
- **Die Strichstärke der Kanten kann nach Exposition variiert werden, um dem schattenplastischen Prinzip zu entsprechen**

7.4 Strichcharakteristik

In diversen Felsdarstellungen kommen verschiedene Stricharten zum Einsatz. Grundsätzlich kann zwischen Schraffenstrichen und einfachen Strichtypen unterschieden werden. Die analysierten Felsdarstellungen verwenden eine Reihe unterschiedlicher Schraffen- und Linienarten.

Die Schraffenstriche der Schweizer Methode (Schattenschraffen) sind durch die typische zitterige Strichführung charakterisiert. Dadurch wird die Schroffheit des Felsens widergegeben. Die Haarstrichschraffur nach Ebster nutzt sehr feine und dichte Schraffenstriche, die meist in Fallrichtung und relativ lang gezeichnet werden. Für die Vertikalschraffur der Steilwandkennzeichnung (nach Brandstätter und Blumer) werden regelmäßige, kurze und parallele Striche in der Fallrichtung eingesetzt, die aber über keine besondere Charakteristik verfügen. Des Weiteren finden sich in den Darstellungen einfache Strichtypen sowie die Striche der Kantenzeichnungen verschiedener Darstellungsmethoden. Letztere wurden bereits im vorangegangenen Kapitel beschrieben.

Die Manipulation der graphischen Variablen von Linienelementen, ist also essentieller Bestandteil einer möglichen Umsetzung. Dazu zählt die Variation der Farbe und der Helligkeit der Linien. Im Allgemeinen sind Felszeichnungen in Schwarz-, Grau- und Brauntönen gehalten. Auch innerhalb der Darstellung kann eine Änderung von Farbe und Helligkeit auftreten. Zudem werden verschiedene Linienmuster in den Darstellungen angewendet.

Hier folgt eine Auswahl wichtiger Darstellungsweisen von Linienelementen, die für die Automatisierung von Felsdarstellungen digital umzusetzen sind:

- durchgezogene oder gerissene Linie
- Linien die sich verjüngen
- Zitterige Strichmuster (Formalisierung als eine Art „Zick-Zack“ Muster mit zufälliger Variation der Amplitude)
- Linien mit (weißem) Begleitstrich und Linien die durch einfaches Auslassen definiert sind

Im Zuge einer Automatisierung ist also die **Variation der Farbe, der Helligkeit und des Strichmuster von Linienelementen** vorzusehen.

8 Methode der Automatisierung

Nach der Formalisierung gängiger Prinzipien und den daraus abgeleiteten Regeln, ergeben sich Anforderungen, die der Ansatz der automatisierten Darstellung erfüllen muss. Der Ablauf trennt sich grundsätzlich in die Datengenerierung, die Darstellung und die graphische Überarbeitung.

Bei der Datengenerierung werden aus dem Rasterhöhenmodell die benötigten Vektordaten abgeleitet und für die Darstellung aufbereitet. Die kartographische Darstellung erzeugt eine Felszeichnung aus einem Set von Datensätzen, unter Anwendung verschiedener Darstellungsprinzipien. Dies geschieht durch die Variation der graphischen Variablen der Einzelelemente und der Zusammenfassung zu einer Gesamtdarstellung. Um gewisse visuelle Effekte auf die gesamte Darstellung anzuwenden, kann eine graphische Überarbeitung diesem Prozess folgen.

8.1 Anforderungen an die Methode

Aus den beschriebenen Prinzipien und abgeleiteten Regeln, lassen sich folgende Anforderungen für die Methode zusammenfassen:

- Darstellung von horizontalen und vertikalen Linien (Linien parallel zu Höhenlinien und in der Fallrichtung)
- Darstellung dieser Linienelemente in Abhängigkeit von der Hangneigung
- Variation der Strichstärke in Abhängigkeit von der Exposition
- Variation der Schraffendichte / Strichdichte in Abhängigkeit von der Exposition
 - Daraus folgt, dass im automatisierten System Liniendatensätze (horizontale und vertikale) in verschiedenen Abständen verfügbar sein müssen
- Darstellung einer Kantenzeichnung (positive und negative Geländekanten) und der Felsabgrenzung sowie die Variation dieser Elemente nach den beschriebenen Prinzipien
- Variation der Farbe, Helligkeit und Strichmuster aller Elemente

8.2 Elemente der automatisierten Darstellung

Für die Automatisierung einer Felszeichnung wird die Darstellung also in Einzelelemente aufgegliedert. Dies beinhaltet eine getrennte Erstellung und eine unabhängig voneinander, variable Darstellung aller Elemente zu einem Gesamtbild. Die sich dadurch ergebende Flexibilität, ermöglicht unterschiedliche Arten der Darstellung. Die Elemente der automatisierten Darstellung sind folgende:

8.2.1 Horizontale und vertikale Linien

Horizontale und vertikale Linienelemente sind primäre Elemente der Darstellung. Dabei muss ihre Farbe, Helligkeit und das Muster variabel sein. Das heißt die Elemente sind sowohl als einfache Linien als auch als Schraffen darstellbar.

Die Strichstärke ist in Abhängigkeit von der Exposition zu variieren, wodurch das schattenplastische Prinzip umgesetzt wird. Welche Linienelemente zur Darstellung kommen, ist abhängig von der Hangneigung. Dies entspricht dem Prinzip des Scharungersatzes. Zusätzlich ist auch die Dichte der zu zeichnenden Linien (Abstände der Linien zueinander) abhängig von der Exposition. Daraus folgt, dass eine Reihe von unterschiedlichen Liniendatensätzen im System vorhanden sein muss.

Generell sind horizontale sowie vertikale Linien aus dem digitalen Höhenmodell ableitbar. Die Generierung von vertikalen Linien (Linien in der Fallrichtung) ist technisch anspruchsvoller. Horizontale Linien können als Höhenlinien diverser Äquidistanzen automatisch erstellt werden. Es kommen übliche GIS-Funktionalitäten zum Einsatz. Vertikale Linien können beispielsweise unter Anwendung von hydrologischen Modellierungen, als Flusslinien erzeugt werden. Für eine Felsdarstellung müssen diese Linien in regelmäßigen Abständen und mit bestimmten Längen generiert werden. In diesem Fall sind die Längen als vertikale Abstände zwischen diversen äquidistanten Höhenlinien definiert. Die automatische Ableitung ist weit weniger trivial, als die der horizontalen Linienelemente.

8.2.2 Kantenzeichnung

Die automatische Ableitung von Kantenlinien stellt wie die Erstellung der Felsabgrenzung eine gewisse Einschränkung der Methode dar. Diese Punkte werden nicht im Rahmen der Arbeit behandelt, sind aber in Hinblick auf eine zukünftige, vollständige Automatisierung zu beachten.

Die Erstellung von Kantenlinien für eine Felsdarstellung ist kein kartographisches Problem (kein Problem der Darstellung) und auch nicht allein durch übliche GIS-Funktionalitäten abzuarbeiten. Es sind geeignete Algorithmen zu entwickeln und daher weiterführende Arbeiten notwendig. Das Problem der Kantenerstellung ist mit Hilfe der Bildverarbeitung zu lösen. Hierfür kommen Kantendetektionsalgorithmen oder auch hydrologische Abflussmodellierungen in Frage. Eine automatisierte Ableitung aus einem digitalen Höhenmodell oder den daraus generierten Höhenlinien, ist grundsätzlich möglich.

Diese Arbeiten sind für eine vollständige Automatisierung umzusetzen. Im ersten Schritt der exemplarischen Umsetzung werden die Kantenlinien, wie auch die Felsabgrenzung, dem System manuell hinzugefügt. Die Methode umfasst daher nur die Darstellung dieser Elemente und keine automatische Generierung.

Diese Darstellung der Kantenzeichnung beinhaltet die Unterscheidung positiver und negativer Geländekanten sowie ihre Variation nach Farbe, Helligkeit und Muster. Zusätzlich sind die Kanten nach denselben Prinzipien wie die sonstigen Linienelemente darstellbar. Dies umfasst die Hangneigung als Bedingung für die Darstellung und die Variation der Strichstärke nach Exposition.

8.2.3 Felsabgrenzung

Die automatisierte Ableitung der Felsabgrenzung ist vor allem eine photogrammetrische Aufgabe, die mit Orthofotos als Datengrundlage zu lösen ist. Ein Höhenmodell ist als Grundlage nicht geeignet. Wie auch die Ableitung der Kanten, ist die Generierung von Felsabgrenzungen nicht Bestandteil dieser Arbeit und der exemplarischen Umsetzung.

Die Felsabgrenzung wird daher im ersten Schritt der Umsetzung als gegeben angenommen. Das Element wird manuell digitalisiert, wobei Orthofotos zur Orientierung dienen können.

Die Automatisierung beinhaltet lediglich die Darstellung des Elements und nicht die Ableitung. Zum einen definiert die Felsabgrenzung, wo Fels überhaupt gezeichnet wird und erfüllt somit den Zweck einer Maske für das Darstellungsgebiet. Zum anderen ist die Felsabgrenzung auch selbst als Linienelement darstellbar. Auch hier kommen dieselben Regeln, wie bei den anderen Elementen zur Anwendung. Muster, Farbe und Helligkeit können ebenfalls variiert werden.

8.2.4 Höhenlinien

Höhenlinien sind ein wesentlicher Bestandteil der Felsdarstellung. Je nach Typ der Felszeichnung werden diverse Äquidistanzen dargestellt. Diese beschränken sich im Maßstab 1:25.000 üblicherweise auf die Normaläquidistanz von 20 Metern und 100 Meter bei den Zähllinien.

Unterschiedliche Darstellungsweisen der Höhenlinien sind jedenfalls erforderlich. Abhängig von der Art der Felsdarstellung können Höhenlinien das primäre Element der Darstellung sein (siehe geometrisch integrierte Methode). Zudem können sie auch als eher untergeordnetes Darstellungselement auftreten, wie beispielsweise bei der Schweizer Methode der Felsschraffen. Hier werden nur die Zähllinien durchgezogen.

Wie bereits beschrieben, sind aus Höhenmodellen unter Einsatz von Standard GIS-Funktionalitäten, diverse Äquidistanzen ableitbar. Die Variation der Darstellung beinhaltet die Festlegung der Strichstärken, Farbe und Helligkeit der Höhenlinien.

8.2.5 Weitere Elemente

Zusätzlich werden weitere Elemente definiert, die zwar Bestandteil von Felsdarstellungen sind, aber getrennt von einer automatisierten Felsdarstellung zu betrachten sind. Dazu zählen der Schutt und die Schummerung.

Schutt

Eine separate Darstellung von Schutt ist obligatorisch und sinnvoll. Die Automatisierung von Schuttdarstellungen ist schon weitgehend gelöst. Hier ist auf die frei verfügbare Software „Scree Painter“ von Bernhard Jenny hinzuweisen [GIL-10]. Für die im Rahmen der Arbeit beschriebene Methode, ist lediglich eine Abgrenzung zwischen Fels und Schutt erforderlich. Im ersten Schritt der Umsetzung wird eine automatisierte Darstellung von Schutt nicht behandelt.

Schummerung

Die Schummerung ist nicht primärer Bestandteil der Felsdarstellung. Als Teil der Geländedarstellung muss sie für das gesamte Kartenbild erstellt werden. Generell sind Schummerungen gut aus Höhenmodellen ableitbar. Im Rahmen der automatisierten Umsetzung der Felsdarstellung ist eine eigene Erstellung der Schummerung aber nicht eingeschlossen.

8.3 Datengrundlage

Als Datengrundlage für den gesamten automatisierten Ansatz, wird ein digitales Höhenmodell festgelegt. Dabei ist zu beachten, dass für die Datengenerierung ein Rasterhöhenmodell benötigt wird, das auch das gesamte Felsumland mit einschließt. Als Richtwert für die Auflösung können 10 Meter für Felsdarstellungen großer Maßstäbe (um 1:25.000) festgelegt werden.

8.3.1 Testgebiet

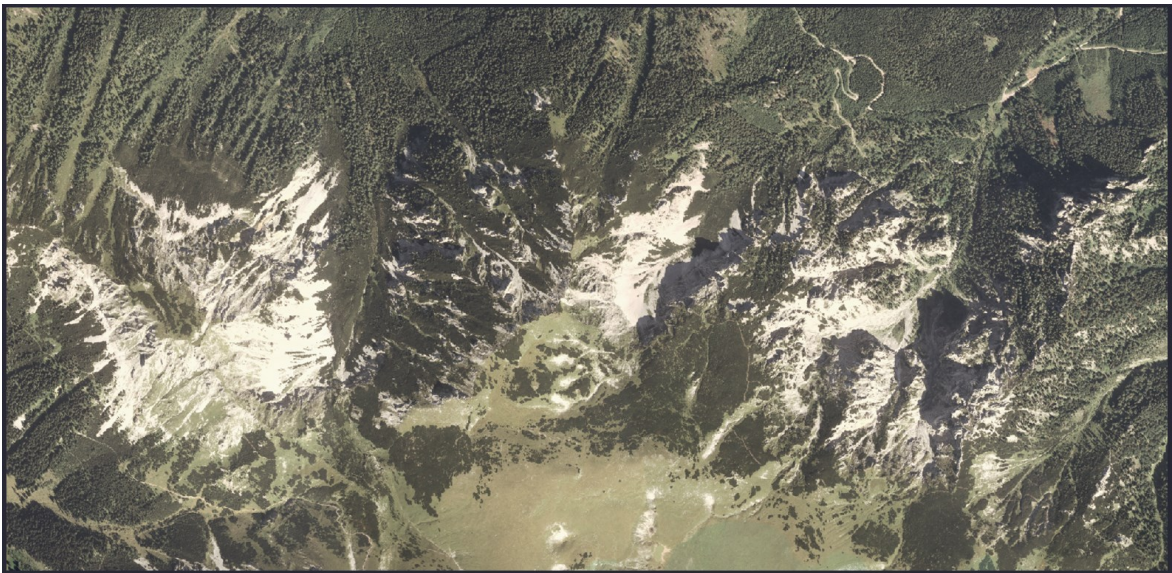


Abb. 26: Orthofoto „Hohe Veitsch Nord“

Für erste Tests der exemplarischen Umsetzung wurde in Hinblick auf die Geländeformen, ein möglichst vielgestaltiges und heterogenes Untersuchungsgebiet gewählt. Das Testgebiet liegt an der Nordseite der „Hohen Veitsch“ in der Steiermark, und ist geologisch gesehen, Teil der Nördlichen Kalkalpen (vgl. Abb. 26). Das Gebiet umfasst einen Ausschnitt von etwa 5000 x 2500 m und erreicht Seehöhen von bis zu 1850 m.

Unterschiedliche Felsformen können im Gebiet erkannt werden. Es beinhaltet zwei Pyramidenförmige Gipfel - einen größeren im Westen („Großen Wildkamm“, 1874 m) und einen kleineren im Osten („Thürnerwand“, 1404 m). Zudem weist es Täler in Nord-Süd Richtung auf. Diese werden durch mehr oder weniger steile Felswände begrenzt und verzweigen sich teilweise zu kleineren Seitentälern. Zusätzlich beinhaltet das Testgebiet Bereiche in denen sich Fels und Vegetation stark abwechseln. Hier sind nur kleinere Felsbänder oder Einzelfelsen darzustellen. Des Weiteren können einige charakteristische Schuttfelder ausgemacht werden, die direkt an die Felsbereiche angrenzen.

8.4 Ablauf

In diesem Kapitel werden der Ablauf der Automatisierung und die darin enthaltenen Teilprozesse anhand des schon beschriebenen Testgebiets erläutert. Der Prozesse der Automatisierung umfasst im ersten Schritt den Einsatz von GIS-Funktionalitäten für die Datengenerierung. Zusätzlich werden programmierbare Vektorzeichenprogramme und Bildverarbeitungsbibliotheken für die kartographische Darstellung und eine mögliche graphische Überarbeitung genutzt. Eine reine Darstellung im GIS ist nicht zweckmäßig. Hier sind kartographische und graphische Tools zu bevorzugen. Die folgende Abbildung gibt einen kurzen Überblick über die Prozesse der Automatisierung (vgl. Abb. 27).

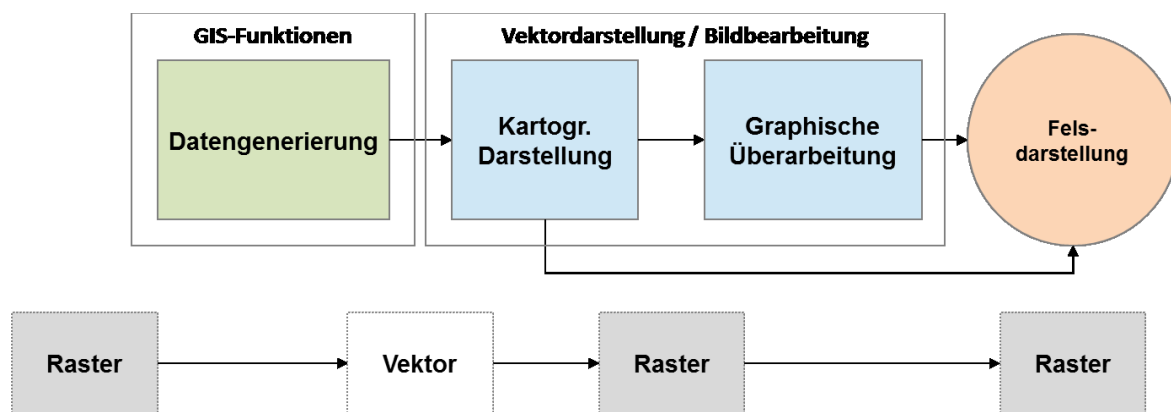


Abb. 27: Prozesse der Automatisierung und Datentypen

Bei der **Datengenerierung** handelt es sich um die automatisierte Erstellung der Datenbasis. Durch GIS-Operationen wird die Vektordatengrundlage (Shape-Files) der Felsdarstellungselemente erzeugt. Zusätzlich erfolgt eine Aufbereitung dieser Vektordaten, um im nächsten Schritt nach den abgeleiteten Prinzipien dargestellt werden zu können.

Hier sind nochmals die Einschränkungen des vorliegenden Ansatzes anzuführen. Die Kantenzeichnung und die Felsabgrenzung werden in der derzeitigen Umsetzung nicht automatisch generiert, sondern für die Testzwecke manuell erstellt und ins System eingespielt. Lediglich die Darstellung dieser Elemente erfolgt automatisch.

Für die Generierung der Datenbasis sind eine Reihe von Zwischenschritten und die Erstellung zusätzliche Daten in Raster- und Vektorformaten erforderlich. Dies beinhaltet etwa die Ableitung und Vektorisierung von Expositions- und Hangneigungsinformationen. Die verwendete Software umfasst unter anderem GDAL-Bibliotheken, Python und QGIS-Skripte.

GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) ist eine Programmbibliothek, die auf das Bearbeiten und Umwandeln von Geodaten ausgelegt ist [GDA-15]. Mit GDAL können Raster- und Vektordaten der üblichen Formate verarbeitet werden. Im automatisierten

Ablauf der Felsdarstellung wird es beispielsweise zum Ableiten von äquidistanten Höhenlinien genutzt. Des Weiteren werden GDAL-Tools (Utility Programs) eingesetzt, um Hangneigungs- und Expositionsinformationen aus dem Höhenmodell zu generieren und anschließend zu vektorisieren. GDAL ist über die Kommandozeile aufrufbar und benötigt daher keine graphische Benutzeroberfläche.

QGIS ist ein Open-Source Geoinformationssystem, das für das Erfassen, Visualisieren und Verarbeiten von Geodaten geeignet ist [QGI-15]. Es ist kostenfrei im Internet erhältlich und wird fortlaufend weiterentwickelt. QGIS verfügt über eine graphische Oberfläche, die Funktionalitäten können aber auch über Scripte (Python) aufgerufen werden. Somit ist es gut für automatisierte Prozesse einsetzbar. Die Programmiersprache Python hat sich als Scriptsprache für GIS etabliert. Auch QGIS ist mit Python programmierbar. Eine Vielzahl zusätzlicher Plugins sind für QGIS als Python-Plugins realisiert und ebenfalls frei verfügbar. Auch die GDAL-Bibliothek und ihre Tools sind in QGIS implementiert und können über die Konsole angesprochen, beziehungsweise programmiert werden. Die Kombination aus QGIS, GDAL und Python hat sich für die Datengenerierung als geeignete Software-Basis herausgestellt.

Unter dem Punkt „**Kartographische Darstellung**“ wird die Visualisierung der Vektordaten unter Anwendung der beschriebenen Felsdarstellungsprinzipien verstanden. Hier erfolgt die Variation der graphischen Variablen, wie etwa des Musters (Linienstile), der Farbe und Helligkeit sowie der Größe (Strichstärken). Die Ausgabe der kartographischen Darstellung sind Rasterbilder der Formate PDF und PNG. Als Software kommt das programmierbare Tool Mapyrus zum Einsatz. Mapyrus ist ein kommandozeilen-basiertes Graphiktool zur Erstellung von Punkten, Linien, Polygonen sowie Schrift in PostScript-, PDF- oder Rasterbildformaten [MAP-15]. Aus kartographischer Sicht ist es vor allem, interessant weil es Geodaten verarbeiten kann. In der exemplarischen Umsetzung der automatisierten Felsdarstellung wird es serverseitig über eine PHP-Weboberfläche, angesprochen.

Der letzte Arbeitsschritt im automatisierten Ablauf, ist die **graphische Überarbeitung**. Hierbei werden Filteroperationen auf das Rasterbild der Felsdarstellung und somit über die gesamte Darstellung, angewendet. Die Strichcharakteristik der Darstellung soll dahingehend verändert werden, dass die typische Schroffheit und Knitterung des Felsgeländes wiedergegeben wird. Eine solche Manipulation ist allerdings nicht bei allen Darstellungen erforderlich. Der graphische „Feinschliff“ ist besonders bei Felsdarstellungen relevant, die zittrige Schraffenstriche verwenden, um die charakteristische Rauheit des Felsens abzubilden. Des Weiteren kann in diesem Schritt ein Zusammenführen der Darstellung mit Höhenlinien oder das Kombinieren verschiedener Darstellungen erfolgen. Die Ausgabe erfolgt als Rasterdatensatz (beispielsweise PNG Format) und als Software kommen Graphikbibliotheken (ImageMagick) zum Einsatz.

Die Software für die exemplarische Umsetzung ist grundsätzlich frei erhältlich. Es wurde eine Umsetzung mittels Open-Source-Software angestrebt. Kostenpflichtige Software kommt nicht zum Einsatz. Hier folgt eine Auflistung der verwendeten Software:

- QGIS 1.8 [QGI-15]
 - Plugin SEXTANTE
- GDAL [GDA-15]
 - gdal_contour
 - gdaldem
 - gdal_polygonize.py
 - gdal_translate
- Python 2.6.5 (PythonWin Installation, pywin32)
 - GDAL Python (1.10.0)
 - Fiona (0.16.1)
 - Six (1.3.0)
 - Shapely (1.2.17)
- Mapyrus [MAP-15]
- ImageMagick [IMA-15]
- PHP 5.4.14

8.4.1 Datengenerierung

Am Beginn der automatisierten Umsetzung steht die Erstellung der digitalen Datenbasis. Ausgehend von einem digitalen Geländemodell, werden Vektordaten im Shape-File Format generiert und aufbereitet. Die Ausgabe des Arbeitsschrittes sind die Daten, die im nächsten Schritt der Automatisierung (kartographische Darstellung) visualisiert werden.

Bei der Datengenerierung werden aus einem Höhenmodell horizontale und vertikale Linien in verschiedenen Abständen und Äquidistanzen abgeleitet. Zusätzlich werden die Informationen der Hangneigung und der Exposition erzeugt. Hierfür kann es notwendig sein das Höhenmodell zu glätten, um für die Weiterverarbeitung generalisierte Daten zu erhalten. Die Felsabgrenzung und die Kantenzeichnung werden manuell zum System hinzugefügt. Alle Elemente der Darstellung (bis auf die Höhenlinien) werden durch Verschneidungsoperationen (Intersect) mit den Informationen von Hangneigung und Exposition versehen. Das Ergebnis der Datengenerierung sind diverse Datensätze der Felsdarstellungselemente, die aufbereitete Linienelemente beinhalten (vgl. Abb. 28).

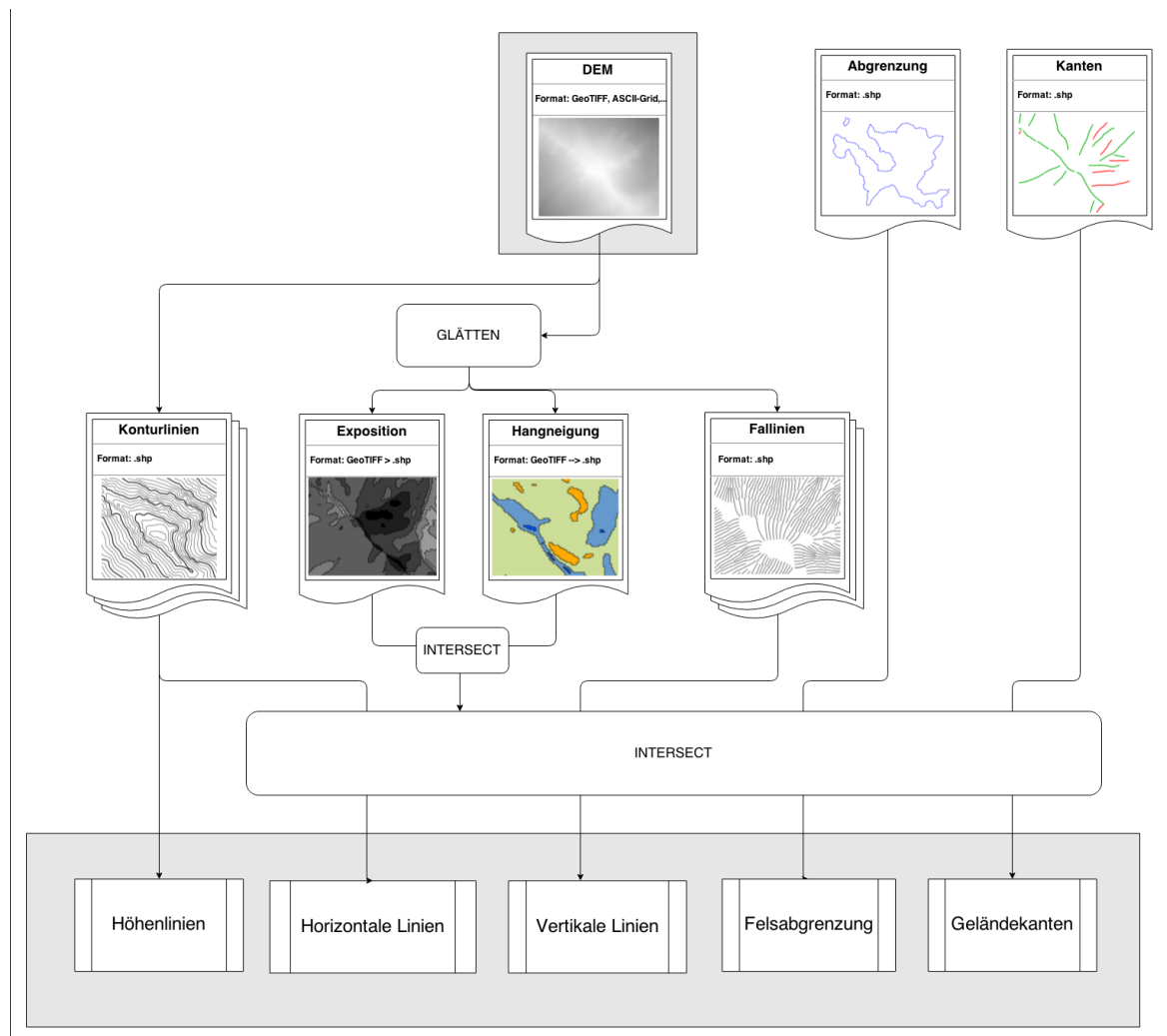


Abb. 28: Vereinfachter Ablauf Datengenerierung

Die Datengenerierung setzt sich aus aufeinanderfolgenden Einzelprozessen zusammen, die GIS-Funktionalitäten nutzen. Alle Prozesse wurden mittels GDAL-Bibliotheken, QGIS-Scripting sowie Python realisiert und durch ausführbare Kommandozeilen-Scripts verknüpft. Im vorliegenden Kapitel werden die einzelnen, automatisierten Arbeitsschritte der Datenerstellung genauer beschrieben.

Als Datengrundlage wurde ein Höhenmodell des Testgebietes mit 10 Metern Auflösung verwendet. In den Tests hat sich diese Auflösung für große Maßstäbe (um 1:25.000) als geeignet herausgestellt.

Aufbereitung Höhenmodell (Glätten)

Für bestimmte Schritte der Datengenerierung muss das digitale Höhenmodell aufbereitet werden. Für die Erstellung der Datensätze der Hangneigung und der Exposition, aber auch für die Fallliniengenerierung, wird ein geglättetes Höhenmodell benötigt. Dazu wird über das Rasterbild ein einfacher Mittelwertfilter ausgeführt. Dieser Matrixfilter wird im GIS auf das originale Höhenmodell automatisiert angewendet und erzeugt ein geglättetes Rasterbild.

Beispieldatei Matrix-Mittelwertfilter:

```
TITLE 5x5 Mittelwert (smooth)
MATRIX 5
1 1 1 1 1
1 1 1 1 1
1 1 1 1 1
1 1 1 1 1
1 1 1 1 1
DIVISOR 25
TYPE P
```

Die Glättung des Geländemodells ist eine Frage der Generalisierung. Ausgehend von der verfügbaren Genauigkeit des Rasterhöhenmodells und in Hinblick auf den Zielmaßstab der Felsdarstellung, können auch andere Filter eingesetzt werden. Zudem kann es notwendig sein den Filter auf das Rasterbild mehrmals anzuwenden. Diese Abhängigkeiten konnten in der ersten exemplarischen Umsetzung nicht genauer dokumentiert werden und sind daher noch zu untersuchen.

Hangneigung und Exposition

Grundsätzlich erfolgt eine Klassifizierung von Hangneigung und Exposition. Dabei ist eine gewisse Generalisierung notwendig. Ohne Generalisierung wäre die Ausgabe zu heterogen und größere, zusammenhängende Bereiche könnten nicht definiert werden. Deshalb wird für diese Teilprozesse das geglättete Höhenmodell eingesetzt.

Angelehnt an das Lichtmodell von Hurni werden Expositionsklassen gebildet [HUR-98]. Hurni nimmt eine feste Beleuchtungsrichtung von Nordwest an. Jeder Expositionsklasse wird eine feste Strichstärke zugewiesen. In der vorliegenden Umsetzung wird das Lichtmodell (achteckige Rosette) übernommen. Die Variation der Strichstärke ist jedoch Teil des Darstellungssystems und daher variabel. Die Klassengrenzen der Exposition (in Grad) wurden von Hurni übernommen und ergeben insgesamt zehn Expositionsklassen des Lichtmodells (siehe Tab. 4).

[1]	22.499°
[2]	67.499°
[3]	101.249°
[4]	134.999°
[5]	168.749°
[6]	202.499°
[7]	247.499°
[8]	281.249°
[9]	314.999°
[10]	348.749°

Tab. 4: Klassengrenzen der Exposition in Grad

Eine analoge Vorgehensweise wurde bei der Hangneigung angewandt, die im Darstellungssystem die Bedingung für das zu zeichnende Element darstellt. Die Hangneigung wurde in fünf Klassen unterteilt (siehe Tab. 5). Diese Klassifizierung ist, wie auch die Klassifizierung der Exposition, nicht zwingend in dieser Form festzulegen. Eine Variation kann sich durchaus als sinnvoll herausstellen. Nach den bisherigen Tests werden die Klassifizierungen jedoch als geeignet beurteilt.

[1]	9.999°
[2]	29.999°
[3]	49.999°
[4]	69.999°
[5]	90°

Tab. 5: Klassengrenzen der Hangneigung in Grad

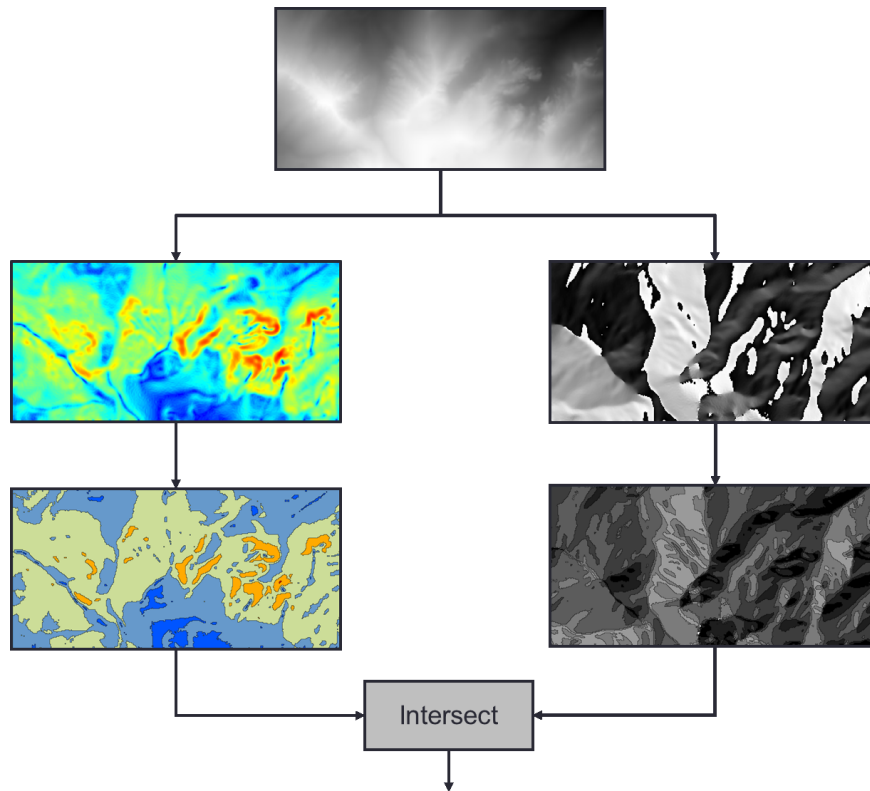


Abb. 29: Klassifizierung Hangneigung und Exposition

Als Ausgangsdatensatz steht das geglättete Höhenmodell des Testgebiets als Rasterdatensatz. Aus dem Höhenmodell werden mittels GIS-Funktionalitäten (GDAL-Operationen, `gdaldem`) die Hangneigung und die Exposition abgeleitet und nach den beschriebenen Grenzwerten reklassifiziert (vgl. Abb. 29). Die Ausgabe dieser Subprozesse sind ebenfalls Rasterdatensätze. In den nächsten Schritten werden diese Datensätze vektorisiert und miteinander verschnitten (Intersect-Operation).

Die Ausgabe des automatisierten Prozesses ist ein Vektordatensatz mit Polygonen, die als Attribute über Hangneigungs- und Expositionsklassen verfügen. Dieser Datensatz wird in weiteren Schritten der automatisierten Datengenerierung, für die Verschneidung mit diversen Linienelementen genutzt, um die Information der Hangneigung und der Exposition auf die Linien zu übertragen.

Vertikale Linien

Vertikale Linien (oder auch Falllinien) werden erzeugt, um als vertikale Schraffen oder als Steilwandkennzeichnung dargestellt zu werden.

Ziel ist es Linien in der Fallrichtung, in regelmäßigen horizontalen und vertikalen Abständen zu generieren. Diese Linien sind mit den bereits beschriebenen Schraffendarstellungen (Böschungsschraffen, Schattenschraffen) vergleichbar (vgl. Abb. 30). Unter Einschränkungen eignen sich GIS-Abflussmodellierungen, für die Berechnung von Schraffenlinien in der Fallrichtung. Das Problem ist hierbei das natürliche „Zusammenlaufen“ der Linien, das durch die Geländeform (Täler, Rinnen) bedingt ist. Für Schraffendarstellungen ist daher eine automatisierte Erstellung, allein durch Abflusslinien nicht möglich.

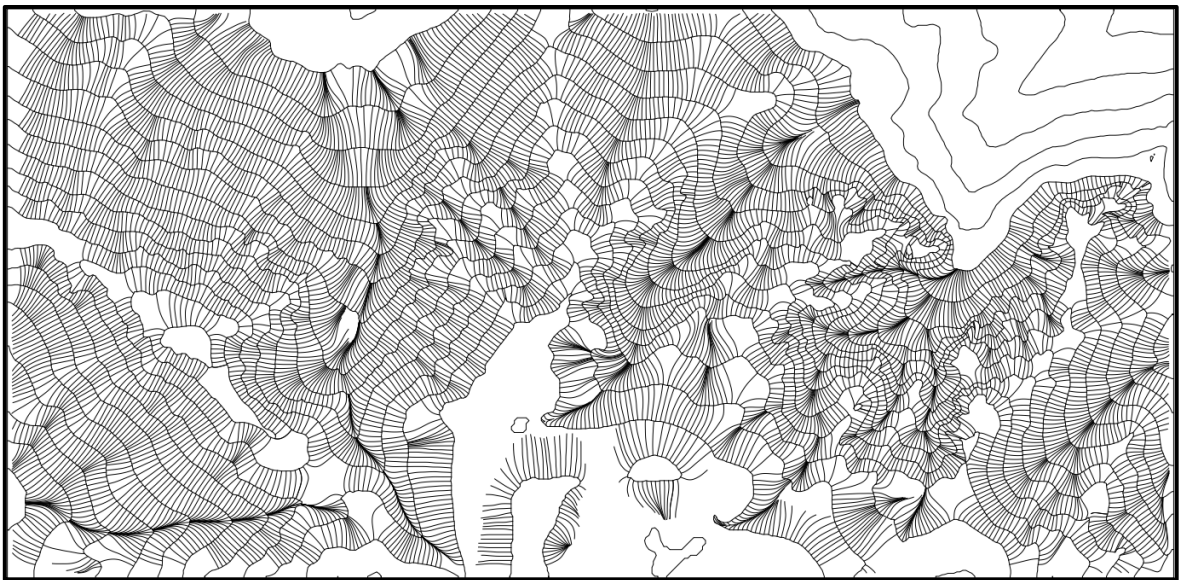


Abb. 30: Visualisierte horizontale und vertikale Linienelemente

Für die automatische Generierung werden die Linien jeweils zwischen Konturlinien verschiedener Abstände erzeugt, was der vertikalen Begrenzung entspricht. Der regelmäßige horizontale Abstand wird durch Punkte gleichen Abstands erreicht, die als „Startpunkte“ der Falllinien-Berechnung dienen. Diese Punkte liegen auf den Konturlinien, die zur Konstruktion genutzt werden. Durch die Variation dieser beiden Abstände werden unterschiedliche Datensätze erzeugt.

Für die Erstellung der vertikalen Linienelemente wurde ein QGIS-Script zur Berechnung von Flusslinien adaptiert [ALB-14]. Das Script erzeugt, ausgehend von einem Rasterhöhenmodell und an bestimmten Startpunkten ansetzend, Punkte von Flusslinien. Neben der graphischen Vektorpräsentation der Punkte, werden noch zusätzlich Informationen generiert (wie etwa Zeit und Geschwindigkeit), die aber für die Erstellung der Falllinien nicht benötigt werden.

Als Datengrundlage wird bei der Falllinienberechnung, ebenfalls das geglättete Höhenmodell verwendet. Das Ausgangs-Höhenmodell (10m) würde zu unruhigen und wenig eindeutigen Linienverläufen führen, die bei den vertikalen Elementen nicht erwünscht sind.

Die Anpassungen für die Berechnung betreffen vor allem die „Startpunkte“ der Linien, die in regelmäßigen Abständen auf Höhenlinien platziert werden. Von jedem Startpunkt werden Punkte in der Falllinie generiert, die im weiteren Schritt zu Linien verbunden werden. Diese Falllinien werden wiederum mit Hilfe der Höhenlinien auf die benötigte Länge (vertikaler Abstand) gekürzt (Clipping-Funktion).

Das Ergebnis dieses Prozesses sind Vektordatensätze mit Linienelementen diverser horizontaler und vertikaler Abstände. Diese Datensätze werden zur Aufbereitung mit den Polygondaten der Hangneigung und Exposition verschnitten und als vertikale Linienelemente ins Darstellungssystem überführt.

Die automatisierte Erstellung der Falllinien ist noch nicht zufriedenstellend gelöst (vgl. Abb. 30). Es sind weitere Arbeiten notwendig. Probleme treten etwa in sehr flachen Bereichen auf. Hier versagt die Linienerstellung, da laut Berechnung kein Fluss mehr stattfindet beziehungsweise der Fluss anhält.

Des Weiteren werden in Gipfelbereichen grundsätzlich keine Linien erzeugt, weil immer von der letzten Höhenlinie als Startlinie ausgegangen wird. Ein zusätzliches, manuelles Hinzufügen von Hilfhöhenlinien, die aber nicht der verwendeten Äquidistanz entsprechen, ist hier eine zwischenzeitliche Lösung. Ein ähnliches Problem tritt auch an Graten auf. Hier sind im Allgemeinen zu wenige Startpunkte vorhanden, um die Falllinien flächendeckend zu generieren. Eine Lösung ist das Invertieren des Geländemodells um Linien in Richtung Hangaufwärts zu erstellen und die Lücken zu schließen. Durch das Umkehren der Höheninformation, werden Grate zu Rinnen oder Tälern. Bei komplexen Höhenlinienbildern (komplexe geländeformen) kommt es generell zu Lücken in der Erstellung der vertikalen Linienelemente.

Eine entsprechende Lösung für die Erstellung von Falllinienschräffuren wurde bereits von Samsonov gezeigt [SAM-14]. Die Fallliniengenerierung der vorliegenden Umsetzung ist dahingehend anzupassen und zu verbessern.

Horizontale Linien und Höhenlinien

Horizontale Linien sind definiert als Linien, die parallel zu Höhenlinien verlaufen. Demnach können sie relativ leicht aus dem Höhenmodell abgeleitet werden. Dabei werden GIS-Funktionalitäten (GDAL, `gdal_contour`) eingesetzt. Nach der automatisierten Erstellung der horizontalen Linien in verschiedenen Abständen (beispielsweise 10, 20, 33, 50, und 100 Meter, abhängig vom Maßstab), werden diese ebenfalls mit den Hangneigungs- und Expositionsklassen verschnitten. Als Ausgabe des Prozesses stehen Vektordatensätze mit horizontalen Linienelementen diverser Abstände.

Die Höhenlinien werden nach demselben Prinzip in den benötigten Äquidistanzen erzeugt. Eine Verschneidung mit dem Expositions- und Hangneigungsdatensatz wird hier nicht vorgenommen, da diese Informationen für die Darstellung der Höhenlinien nicht benötigt werden.

Felsabgrenzung

Die Felsabgrenzung wurde bei den Tests anhand eines Orthofotos digitalisiert. Die Abbildung zeigt zum Vergleich auch den ÖK50 Fels-Layer (vgl. Abb. 31). Zu beachten ist hierbei, dass die Felszeichnung der ÖK50 durch die Schriftfreistellung (Schrift-Layer ist nicht enthalten), teilweise Leerräume aufweist.

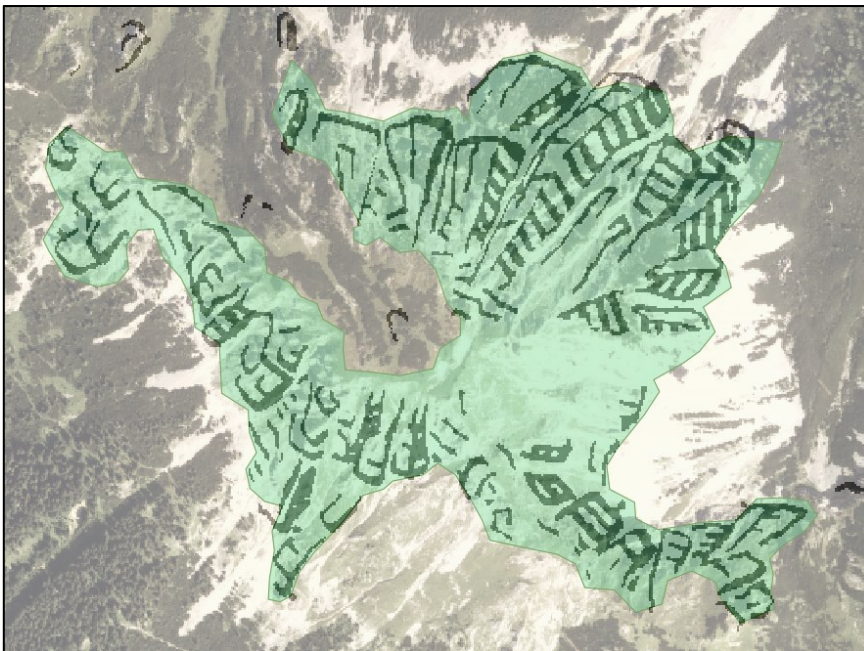


Abb. 31: Manuelle Felsabgrenzung

Die Felsflächen wurden relativ großzügig generalisiert, um zusammenhängende Flächen zu erhalten. Ein kantiger Charakter des Polygons hat sich als vorteilhaft für die Darstellung erwiesen. Die Abgrenzung muss also nicht allzu detailliert (relativ wenige Punkte) digitalisiert werden. Dadurch hält sich der Aufwand für diesen manuellen Arbeitsschritt in Grenzen.

Das Polygon der Felsabgrenzung wird benötigt, um als Maske für die Darstellung zu dienen. Sie bestimmt bei der kartographischen Darstellung, wo der Fels gezeichnet wird. Diese Maske ist notwendig, da die Felsdarstellungselemente für das gesamte Gebiet (gesamte Ausdehnung des Höhenmodells) generiert werden. Des Weiteren wird die Begrenzung des Felsens zusätzlich auch als Linienelement erzeugt, um nach den beschriebenen Prinzipien dargestellt zu werden. Dazu wird der Liniendatensatz der Felsabgrenzung, im Rahmen der automatischen Aufbereitung, mit den Hangneigungs- und Expositionsinformationen verschnitten.

Geländekanten

Im automatisierten System wird zwischen positiven und negativen Geländekanten (konvexe und konkave Geländeformen) unterschieden (vgl. Abb. 32). Wie bereits ausgeführt, werden im ersten Ansatz einer Automatisierung, die Geländekanten manuell digitalisiert. Die Aufbereitung der Datensätze erfolgt jedoch automatisch beim Prozess der Datengenerierung.

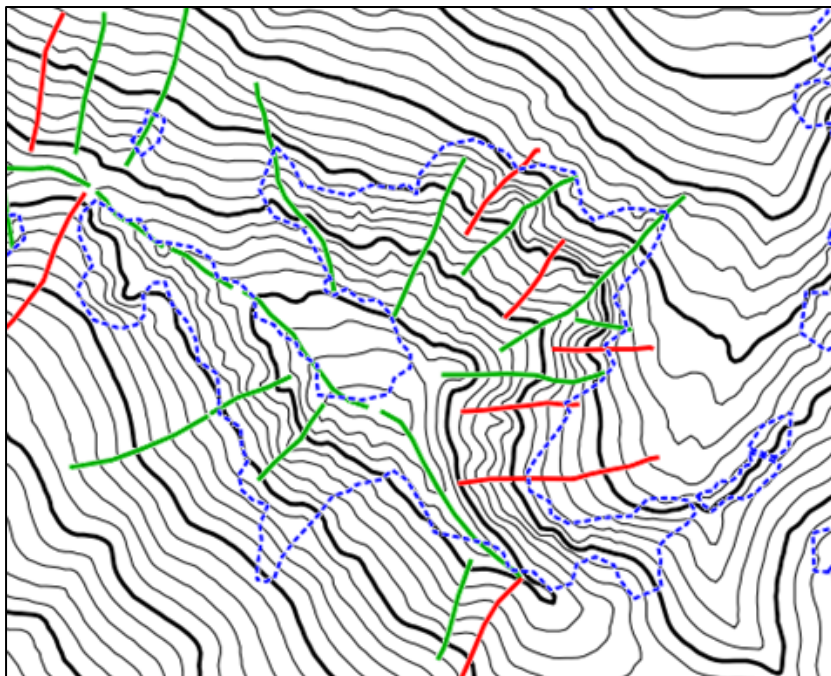


Abb. 32: Manuell digitalisierte Kanten im Testgebiet

Um beim manuellen Digitalisieren der Kantenlinien geeignete und realistische Ergebnisse zu erzielen, ist es sinnvoll sich an folgenden Datensätzen zu orientieren:

- Höhenlinien (beispielsweise 20 Meter Äquidistanz)
- Polygone der Expositionsinformation
- Felsabgrenzung (Kanten müssen nicht im gesamten Gebiet vorhanden sein)

Einige allgemeine Regeln für die manuelle Erstellung der Kanten haben sich als zweckmäßig erwiesen. Diese Regeln sind vor allem auch in Hinblick auf eine zukünftige Automatisierung der Kantenerstellung relevant:

1. Korrekterweise sind die Linien möglichst an Richtungswechseln (Knicke) der Höhenlinien und an den Kanten der Expositionspolygone („Wechsel“ der Expositionsklasse) zu digitalisieren. Zudem ist eine Orientierung an der Felsabgrenzung sinnvoll, da diese oftmals markante Geländekanten widerspiegelt.
2. Die Richtung der Kanten (Richtung des Vektors) ist für die Darstellung wesentlich. Dies trifft beispielsweise bei der Darstellung eines weißen Begleitstrichs an der Kante zu. Dieser sollte immer an derselben Seite der Kante auftreten. Im Darstellungssystem kann das nur gewährleistet werden, wenn die Linienvektoren der Kanten jeweils dieselbe Richtung haben. Deshalb ist darauf zu achten, dass Kantenlinien vom höchsten zum niedrigsten Punkt digitalisiert werden.
3. In Hinblick auf eine Generalisierung sind markante Geländekanten zu digitalisieren. Der Generalisierungsgrad ist zudem abhängig von der geplanten Darstellung. Grundsätzlich sollten Kantenlinien nicht zu eng aneinander gelegt werden, weil es dadurch zu irritierenden oder schwer zu interpretierenden Darstellungen kommen kann. Falls markante Geländekanten eng nebeneinander auftreten, ist im Sinne der Generalisierung (Auswählen oder Zusammenfassen) nur eine davon darzustellen.
4. Im Allgemeinen ist es sinnvoll die Kantenvektoren möglichst „durchzuziehen“. Ein Absetzen mit geringen Zwischenräumen kann die Darstellung ebenfalls stören.

Kantenzeichnungen sind also grundsätzlich abhängig von der Art der Darstellung. Felsdarstellungen, die einfache Kantenzeichnungen nutzen (Beispiel: durchgezogene, feine Kantenlinien wie bei Haarstrichmethode) vertragen detailliertere oder weniger generalisierten Datensätze, als komplexe Gerippeliniendarstellungen (Beispiel: Schweizer Felsschraffendarstellung mit Gerippe).

Nach der manuellen Erstellung werden die Kantenvektoren im System automatisch aufbereitet. Die Datensätze der positiven und negativen Kantenlinien werden mit den Hangneigungs- und Expositionsinformationen verschnitten, um entsprechend dargestellt werden zu können.

8.4.2 Kartographische Darstellung

Nach der Datengenerierung werden folgenden Vektordatensätze ins Darstellungssystem überführt:

- Vertikale Linien: Liniendatensätze unterschiedlicher Abständen (beispielsweise 10, 20, 50 Meter)
- Horizontale Linien: Liniendatensätze unterschiedlicher Kombinationen vertikaler und horizontaler Abstände (beispielsweise 10/50, 20/50, 10/100, 20/100 Meter [vertikal/horizontal])
- Geländekanten: Liniendatensätze positiver und negativer Kanten
- Felsabgrenzung: Polygone und Liniendatensatz der Felsabgrenzung
- Höhenlinien: Höhenlinien in gebräuchlichen Äquidistanzen (beispielsweise 20 und 100 Meter)

Die kartographische Darstellung erfolgt über das Vektorzeichenprogramm mapyrus [MAP-15]. Das programmierbare Tool (java-basiert) wird dazu eingesetzt, die Vektordaten der Felszeichnungselemente, nach den beschriebenen Prinzipien darzustellen. In diesem Schritt der Automatisierung erfolgt die kartographische Visualisierung und somit eine Variation der graphischen Variablen.

Die Manipulation betrifft vor allem folgende graphische Variablen:

- Größe (vor allem Strichstärken)
- Helligkeit und Farbe
- Form und Muster (verschiedene Darstellungsarten von Linien, „Linienmuster“)

8.4.2.1 Test-Interface

Für die kartographische Darstellung wurde eine einfache Web-Oberfläche erstellt, die das Testen und Bearbeiten verschiedener Darstellungsweisen ermöglicht (vgl. Abb. 33). Die Felsdarstellungen können als Templates erstellt und verwaltet werden. Die Sicherung erfolgt hierbei in einer Datenbank. Die Anpassung aller Werte wird von Benutzerinnen und Benutzern über dieses Webinterface vorgenommen. Die Werte werden für eine spätere Bearbeitung gesichert und für die Darstellung an das Zeichenprogramm übergeben.

Das Webinterface besteht grundsätzlich aus einer Auflistung aller im System vorhandenen Datensätze sowie aus Eingabefeldern, über die ihre individuelle Darstellungsweise angepasst wird. Dabei stellen die Hangneigungsklassen die Bedingung für die Darstellung dar. Für jedes Element kann die Darstellung, je nach Hangneigungsklasse, aktiviert oder deaktiviert werden. Die Variation der Strichstärke erfolgt nach Expositionsklassen. Zusätzlich kann jedes Element nach Farbe und Muster variiert werden. Die Farbe wird dabei über RGB Hexadezimalwerte eingetragen. Bei den Mustern handelt es sich um

vordefinierte und ausprogrammierte Linienmuster, wie beispielsweise zufällig variierte Sinuskurven oder spezielle Darstellungsarten für Kantenlinien. Zusätzlich können Hintergrundbilder eingesetzt werden. Dies kann genutzt werden, um die Darstellung in Kombination mit Schummerungen zu testen. Des Weiteren ist die Anzeige von Gitternetzen oder die Freistellung der Zähllinien auswählbar.

Durch das Absenden des Formulars wird die Darstellung einerseits in die Datenbank gesichert und andererseits das Vektorzeichenprogramm gestartet. Die Datengrundlage sind dabei die Vektordatensätze der Darstellungselemente. Die Informationen, ob und wie jedes Element darzustellen ist, werden dem Zeichentool vom Webinterface als Variablen übergeben. Bei der Darstellung werden Farben und Strichstärken gesetzt sowie die im System vorhandenen Linienmuster auf die Vektordatensätze angewendet. Die Ausgabe des Darstellungssystems sind Felsdarstellungen in Rasterbildformaten.

The screenshot shows the 'Parametereingabe Felsdarstellung' web interface. It includes a 'Darstellung laden' dropdown menu with templates (10-14), 'Laden' and 'Löschen' buttons, a 'Darstellung' dropdown set to 'default' with an 'überschreiben' checkbox, and a 'Kurzbeschreibung' text area. The 'Karte' section contains a large table for defining map elements. The table is organized into four main rows: 'Horizontalschraffen', 'Vertikalschraffen', 'Felsabgrenzung', and 'Kanten'. Each row has columns for 'Bedingung' (0-9.99, 10-29.99, 30-49.99, 50-69.99, 70-), 'Exposition' (N, NW, W, SW, S, SO, O, NO, NO), 'Strichstärke' (0.07, 0.06, 0.07, 0.09, 0.09, 0.1, 0.18, 0.15, 0.09, 0.09), 'Farbe' (e.g., 383838, 575757, FFFFFFFF, 949494, FFFFFFFF, FFFFFFFF, FFFFFFFF, ABABAE, 616161, 000000, FFFFFFFF), and 'Muster' (e.g., sin_ran1, -, -, -, sin_ran1, -, -, -, sin_ran1, edge_p1, edge_n1). The 'Horizontalschraffen' section has a 'Bedingung' column with 'Ja'/'Nein' dropdowns and a 'Strichstärke' column with numerical values. The 'Vertikalschraffen' section has a 'Bedingung' column with 'Ja'/'Nein' dropdowns and a 'Strichstärke' column with numerical values. The 'Felsabgrenzung' section has a 'Bedingung' column with 'Ja'/'Nein' dropdowns and a 'Strichstärke' column with numerical values. The 'Kanten' section has a 'Bedingung' column with 'Ja'/'Nein' dropdowns and a 'Strichstärke' column with numerical values. Below the table, there is a 'Hintergrund (png)' dropdown menu with options 'veitsch_nord_var1.png' and 'veitsch_nord_var2.png', and checkboxes for 'Gitternetz' and 'Zähllinien'. At the bottom, there are buttons for 'Speichern', 'Mapyrus-Datei schreiben', 'PDF erzeugen', '76 dpi', 'Datei sichern', and 'Reset'.

Abb. 33: Test-Webinterface für Felsdarstellungen

8.4.3 Graphische Überarbeitung

Bei der graphischen Überarbeitung erfolgt die Finalisierung durch Anwendung von Filtern auf die gesamte Darstellung. Für diesen Arbeitsschritt kommt die Graphikbibliothek ImageMagick zum Einsatz. Dabei handelt es sich um Tools zur Rasterbildbearbeitung, die programmierbar und über die Kommandozeilen aufrufbar sind. Somit ist es gut in den Automatisierungsprozess einzubinden. [IMA-15]

Die graphischen Filter werden auf das Rasterbild angewendet um - zusätzlich zu den Linienmustern der kartographischen Darstellung - einen charakteristischen Schraffenstrich zu erzeugen. Im Allgemeinen werden die Filter auf die gesamte Darstellung angewendet. Es besteht aber auch die Möglichkeit sie nur auf Teile von Darstellungen (bestimmte Elemente) anzuwenden und diese dann, in weiteren Schritten mit anderen Elementen oder Darstellungen, zusammenzuführen.

Grundsätzlich handelt es sich bei den Filtern um Pixeloperationen der Streuung, der Verzerrung und der Unschärfe. Vor allem durch die Kombination von diversen Filtern, kann ein typischer „zittriger“ Schraffenstrich erzeugt werden, der allein durch die kartographische Darstellung nicht erreicht wird. Die Abbildung zeigt wie unter Anwendung von Filteroperationen aus einem Rasterbild der kartographischen Darstellung, das ohne besondere Linienmuster erstellt wurde, ein zittriger Schraffenstrich entsteht (vgl. Abb. 34). Diese Schraffenstriche sind stark an den Stil der charakteristischen Schweizer Felsschraffen angelehnt.

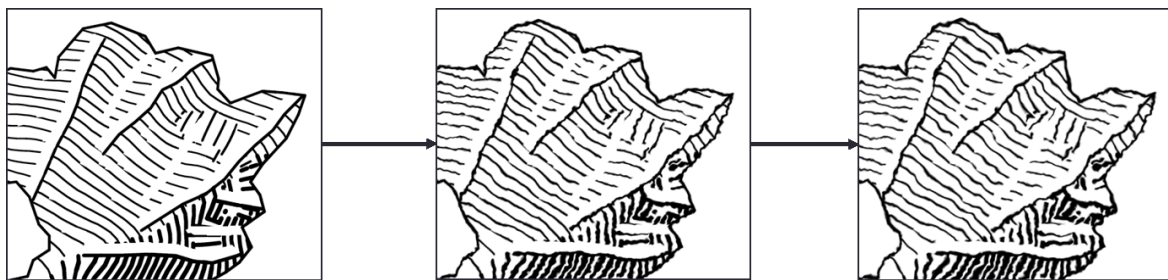


Abb. 34: Filteroperationen für charakteristischen Schraffenstrich

Auch um diverse geologische Eigenheiten des Felsens darzustellen, sind verschiedene Filteroperationen denkbar. Beispielsweise können Filter genutzt werden, um verschiedene Gesteinsarten unterschiedlich zu zeichnen. Diese differenzierte Anwendung bedarf weiterer Analysen und ist in der ersten exemplarischen Automatisierung noch nicht umgesetzt.

Die Anwendung der Filter erfolgt minimal. Es erfolgt nur eine geringe Verschiebung und Änderung der Pixel. Die Strukturen dürfen nur geringfügig versetzt werden, um die Lagegenauigkeit der Darstellung aufrecht zu erhalten. Dies betrifft vor allem Strukturen wie die Kantenzeichnung und die Felsabgrenzung. Bei manchen Darstellungen erweist sich der Schritt der graphischen Überarbeitung generell als nicht sinnvoll. Als Beispiel kann etwa die geometrisch integrierte Darstellung nach Brandstätter angeführt werden. Hier wäre die Überarbeitung mit Filtern nicht zweckmäßig.

Eine weitere Aufgabe der graphischen Überarbeitung ist das Zusammenführen unterschiedlicher Darstellungen. Dabei geht es um die Möglichkeit, verschiedene Darstellungen oder Elemente, die zuvor getrennt erstellt oder überarbeitet wurden, zu kombinieren. Das Zusammenführen von Darstellungen kommt unter anderem zum Einsatz, wenn bestimmte Filter nur auf spezifische Darstellungselemente angewendet werden sollen.

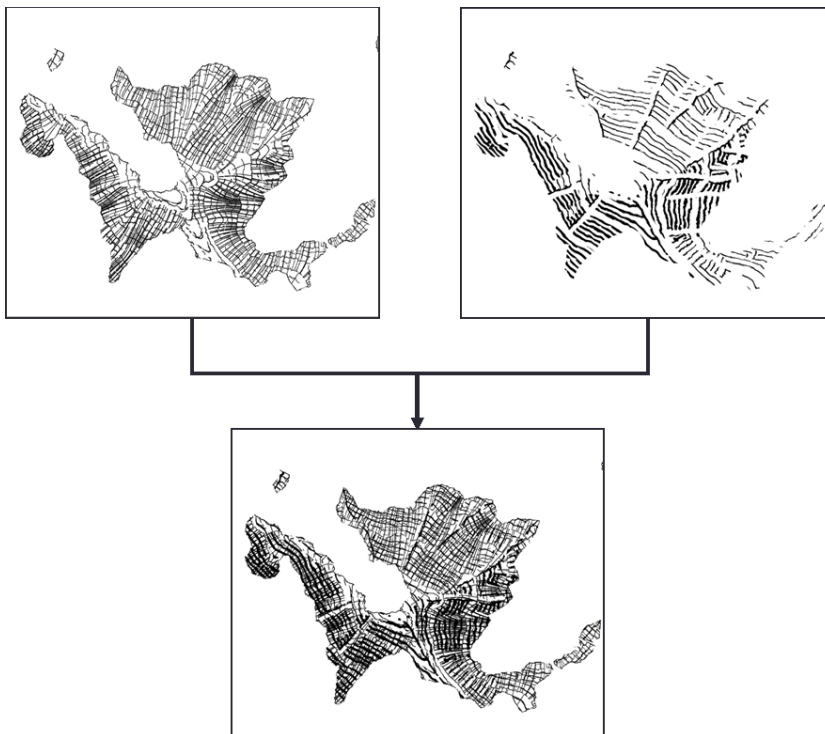


Abb. 35: Kombination von Darstellungen

Die Abbildung zeigt eine Darstellung mit feinen Falllinienschräffuren, die mit einer schattenplastischen Darstellung horizontaler Linienelemente kombiniert wird, um die räumliche Wirkung zu verbessern (vgl. Abb. 35). Dadurch wird der plastische Effekt gesteigert und die Kantenzeichnung kommt besser zur Geltung.

9 Ergebnisse der exemplarischen Umsetzung

Das System erlaubt den Benutzerinnen und Benutzern diverse Darstellungen zu erstellen, zu testen und laufend zu verändern. Innerhalb dieser Darstellungen können die besprochenen Prinzipien und Elemente größtenteils frei angewendet, kombiniert oder angepasst werden. Beispielsweise ist eine Nordwest-Beleuchtung, bei einer schattenplastischen Darstellung, nicht zwingend vorgegeben. Sie wird von Anwenderinnen und Anwendern durch die Abstimmung der Strichstärken erzielt. Das System bietet lediglich die Möglichkeiten, nach den beschriebenen Prinzipien vorzugehen. Die Erstellung einer solchen Darstellung durch die Nutzerin bzw. den Nutzer, kann also ein iterativer Prozess sein, wobei laufend Änderungen vorgenommen werden können.

Im folgenden Kapitel werden Darstellungen gezeigt, die sich stark an bestehenden Felsdarstellungsmethoden orientieren. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, um die Umsetzung der beschriebenen Prinzipien zu verdeutlichen, aber auch um zu zeigen, wo die Möglichkeiten und Beschränkungen des Systems liegen. Darüber hinaus sind auch ganz neuartige Darstellungen denkbar, die aber trotzdem auf die beschriebenen Elemente zurückgreifen.

Zuletzt wird auch die Integration einer automatisierten Felsdarstellung in eine Karte gezeigt. Diese topographische Kartenprobe umfasst dasselbe Testgebiet und verwendet eine schattenplastische Felsdarstellung.

9.1 An manuelle Methoden angelehnte Darstellungen

Als Beispieldarstellungen des weitgehend automatisierten Systems, wurden die beschriebenen manuellen Felsdarstellungsmethoden herangezogen. Die folgenden Felsdarstellungen orientieren sich an der Schweizer Methode, den Haarstrichzeichnungen Ebsters und an der geometrisch integrierten Methode Brandstätters. Anhand der Beispiele können die verwendeten Elemente und angewendeten Prinzipien, nochmals verdeutlicht werden.

9.1.1 Schweizer Methode

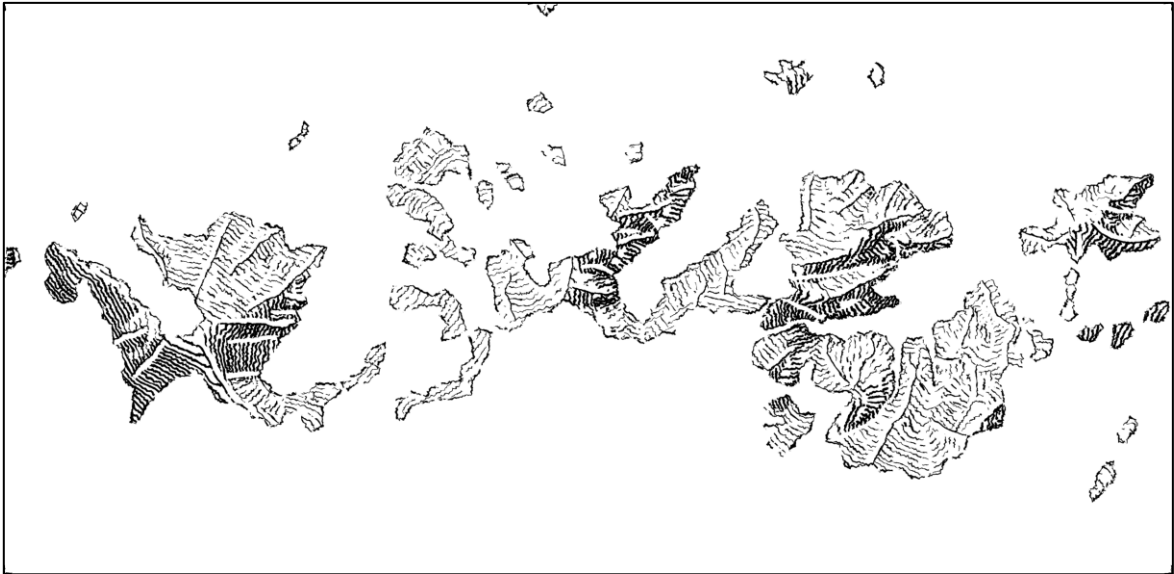


Abb. 36: Automatisierte Schattenschraffendarstellung

Die Darstellung erfolgt nach dem schattenplastischen Prinzip, das die Schweizer Methode der Felsdarstellung prägt (vgl. Abb. 36). Die Komplexe Gerippeliniendarstellung ist durch eine vereinfachte Kantenzeichnung ersetzt. Positive Geländekanten werden mit weißem Begleitstrich gezeichnet, negative Kanten durch einfaches Auslassen (weiße Kantenlinie) dargestellt.

Steiles Felsgelände wird mit vertikalen Schraffen (Schraffen in Fallrichtung) verdeutlicht. Ansonsten kommen horizontale Schraffen unterschiedlicher Charakteristik zum Einsatz. Der schattenplastische Effekt wird hauptsächlich durch die Variation der Strichstärken aber auch der Schraffendichte erzielt. Die Variation erfolgt je nach Expositionsklasse. An den Schattenseiten sind die Abstände der Schraffen geringer und die Strichstärken größer. An den Lichtseiten werden hingegen weniger dichte Schraffen (größere Abstände) gezeichnet. Zudem wird ein zufälliges Absetzen beziehungsweise Auslassen des Striches als Stilmittel (Strichmuster) eingesetzt. Die Felsabgrenzung wird nach demselben Prinzip der Schattenschraffen dargestellt.

In der Darstellung kommt auch ein zittriger Schraffenstrich zur Anwendung. Der Strichcharakter wird durch die Verwendung entsprechender Linienmuster (zufällige aber sehr geringe Variation der Amplitude) und der zusätzlichen graphischen Überarbeitung, durch Anwendung von Filtern, erzeugt. Höhenlinien sind in dieser Darstellung nicht integriert. Eine entsprechende Umsetzung mit durchgezogenen Zähllinien, ist in der Kartenprobe zu sehen.

9.1.2 Haarstrichmethode

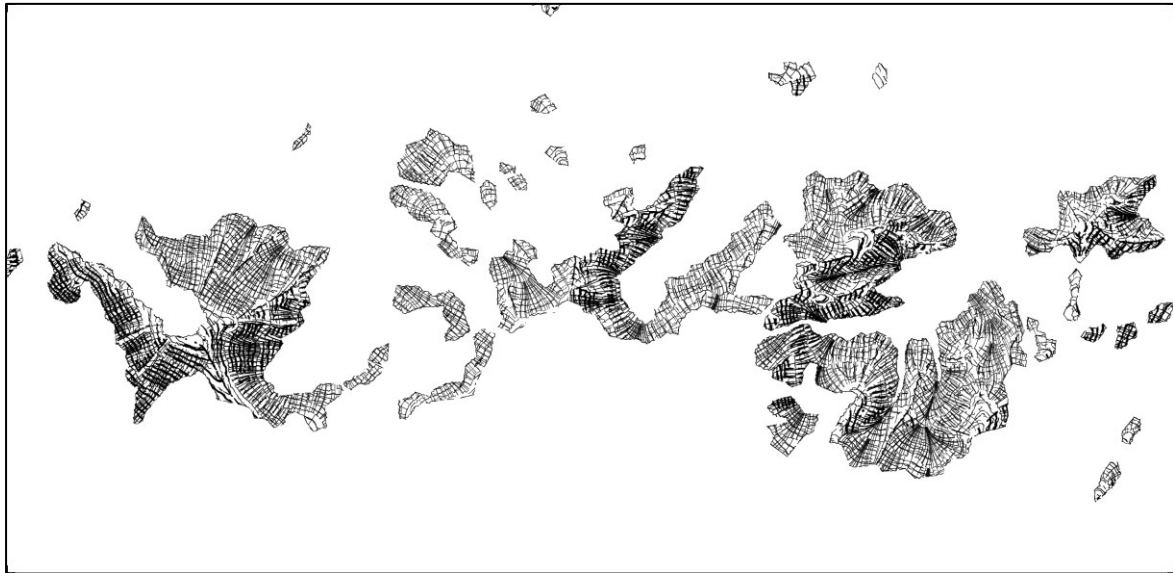


Abb. 37: Automatisierte Haarstrichfelszeichnung

Die Felsdarstellung ist an die Haarstrichmethode Ebsters angelehnt, die in Karten des Österreichischen Alpenvereins zum Einsatz kommt. Es ist eine Darstellung mit vertikalen Schraffen relativ geringer Strichstärken, als primäres und formgebendes Element (vgl. Abb. 37). Durch die Variation der Schraffendichte und der Strichstärken nach Exposition, wird ein leichter schattenplastischer Effekt mit einer angenommenen Beleuchtungsrichtung aus Nordwest, erreicht. Zusätzlich ist die Haarstrichzeichnung mit einer zweiten Darstellung kombiniert. Diese Darstellung nutzt vorwiegend horizontale Linien. Die Kantenzeichnung besteht aus durchgezogenen Linien deren Strichstärken ebenfalls nach dem schattenplastischen Prinzip variiert sind. Äquidistanten Höhenlinien sind nicht integriert.

Durch die Falllinienschraffuren kommt die Form der Felsen grundsätzlich gut zur Geltung. Der leichte schattenplastische Effekt unterstützt den Betrachter bei der Auffassung. Andererseits handelt es sich um eine sehr dichte Darstellung, wodurch sich die Integration in eine Karte als schwierig herausstellen kann. Durch das Liniengewirr wirkt eine solche Darstellung sehr dominant und das Kartenbild wird belastet.

Zudem ist in der Darstellung der schon beschriebene „Gewebeeffekt“ zu beobachten, der teilweise auch in Ebsters Felszeichnungen auftritt. Vor allem in Bereichen, die nicht durch eine Kantenzeichnung geklärt sind, ist der Effekt augenscheinlich.

9.1.3 Geometrisch integrierte Methode nach Brandstätter

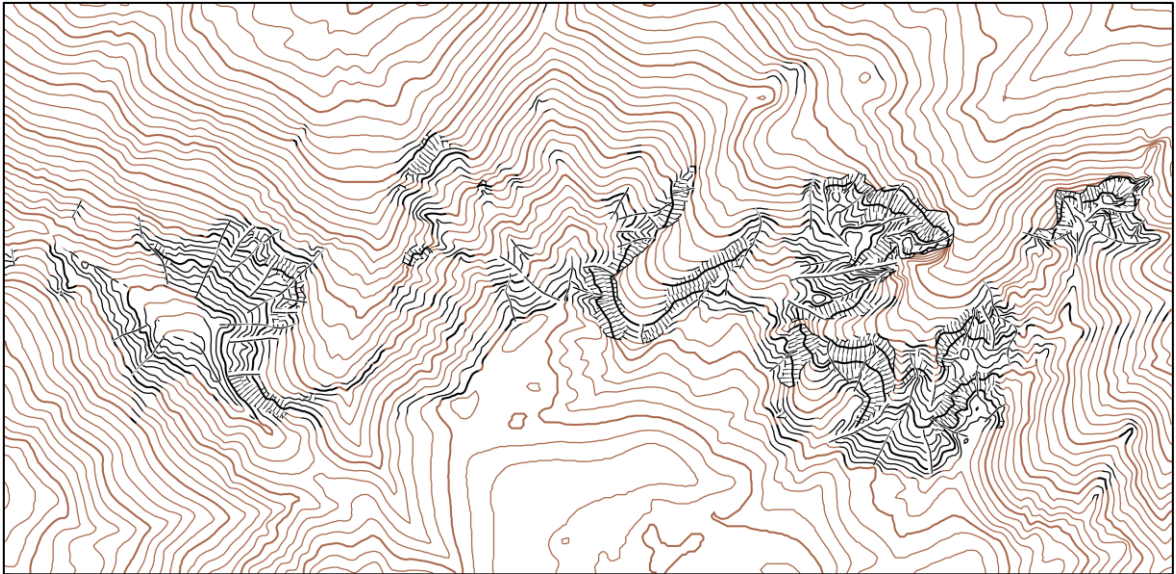


Abb. 38: Automatisierte Darstellung nach Brandstätter

In diesem Beispiel wird das gesamte Höhenlinienbild dargestellt, um den scharungsplastischen Effekt zu verdeutlichen (vgl. Abb. 38). Die Felsdarstellung, die sich an der geometrisch integrierten Methode Brandstätters orientiert, wirkt nur in Kombination mit dem restlichen Höhenlinienbild. Grundsätzlich besteht die Darstellung lediglich aus Höhenlinien der Normaläquidistanz (20 Meter) und den verstärkt eingezeichneten Zähllinien (100 Meter). Die Höhenlinien werden im Fels schwarz gezeichnet. Ansonsten sind sie in braun gehalten, wodurch sonstige Vegetation symbolisiert wird. Die Felsabgrenzung als Linienelement wird nur in steilen Bereichen gezeichnet, um den Übergang zur Felsfläche, als Kante zu verdeutlichen. Die Differenzierung des Felsgeländes ist also hauptsächlich über die Farben der Höhenlinien möglich. Eine Unterscheidung von Schuttbereichen, etwa durch eine graue Darstellung der Höhenlinien, ist nicht berücksichtigt.

Die steilen Felsbereiche werden nach dem Prinzip des Scharungsersatzes, mit Schraffen in der Falllinie, gekennzeichnet (Steilwandkennzeichnung). In diesen Bereichen werden die 20 Meter-Höhenlinien ausgesetzt und nur die Zähllinien durchgezogen.

Grundsätzlich ist in der Abbildung eine Kantenzeichnung nach Brandstätters Darstellungsprinzipien integriert. Positive Geländekanten werden durchgezogen dargestellt, negative Kanten werden mit weißem Begleitstrich gezeichnet. Die Datengrundlage der Kantenzeichnung könnte für diese Darstellungsweise etwas detaillierter, also weniger generalisiert sein. Eine Abhängigkeit der Strichstärke von der

Kantenneigung, nach dem Prinzip „je schärfer die Kante, desto stärker der Strich“, ist derzeit nicht vorgesehen. Hierfür wäre eine weitere Klassifizierung der Kanten notwendig.

Auch eine Gefügezeichnung nach Brandstätter ist nicht integriert. Mit dem vorhandenen System wäre eine solche feine Kantenzeichnung grundsätzlich darstellbar. Das Problem liegt eher in der automatisierten Erstellung. Wie im entsprechenden Kapitel bereits beschrieben, entzieht sich die Gefügezeichnung weitgehend einer Formalisierung. Hierfür wären weiterführende Automatisierungsmethoden (ähnlich Kantendetektion) notwendig.

Die gezeigte Darstellung ist generell etwas grob. Diese Tatsache ist vor allem im direkten Vergleich mit Brandstätters Darstellungen ersichtlich. Mit den späteren Darstellungen des Alpenvereins, die nach Brandstätters Methode erstellt wurden, ist sie aber durchaus vergleichbar. Die steilen Bereiche kommen durch den Scharungsersatz gut zur Geltung und auch die Scharungsplastik wirkt entsprechend. Bei komplexeren Felsformen (komplexes Höhenlinienbild) ist die Darstellung aber teilweise verwirrend und schwer interpretierbar. Durch das Fehlen der Gefügezeichnung, fehlt dem Fels die charakteristische Struktur. Im Allgemeinen ist eine solche Darstellungsweise wenig ausdrucksstark und schwer aufzufassen.

9.2 Allgemeine Probleme der Darstellungen

Einige Problembereiche der gezeigten Darstellungen konnten erkannt und dokumentiert werden. Hier erfolgt eine kurze Zusammenstellung.

Derzeit erfolgt nur bedingt eine charakteristische Darstellung des Felsens. Es werden keine geologischen Gegebenheiten, wie etwa die Gesteinsart, berücksichtigt. Mögliche Lösungsansätze sind die Anwendung unterschiedlicher Filteroperationen und charakteristischer Linienmuster.

Gleichförmige Hänge ohne Kantenzeichnung ergeben in den Darstellungen ein wenig aussagekräftiges Bild. In den meisten gezeigten Darstellungen ergibt sich durch die eingesetzten horizontalen Linien, eine monotone Wirkung. Die Darstellung wirkt wie eine Textur oder wie das einfache Höhenlinienbild, ohne charakteristische Felsstruktur. Eine ähnliche Problematik konnte bei Brandstätters Methode erkannt werden. Hier erfolgt die Lösung durch die Gefügezeichnung. Für den gezeigten automatisierten Ansatz ist eine Lösung ausständig.

Auch die Darstellung flacher Felsbereiche (Plateaus) ist noch zu erproben. Es kann davon ausgegangen werden, dass durch die eingesetzten Elemente auch hier eine angemessene Felsdarstellung schwierig zu realisieren ist. Das Problem ist vergleichbar mit der Darstellung der gleichförmigen Hänge, da in sehr flachen Bereichen ebenfalls kaum ausgeprägte Geländekanten vorhanden sind.

9.3 Integration in Karte

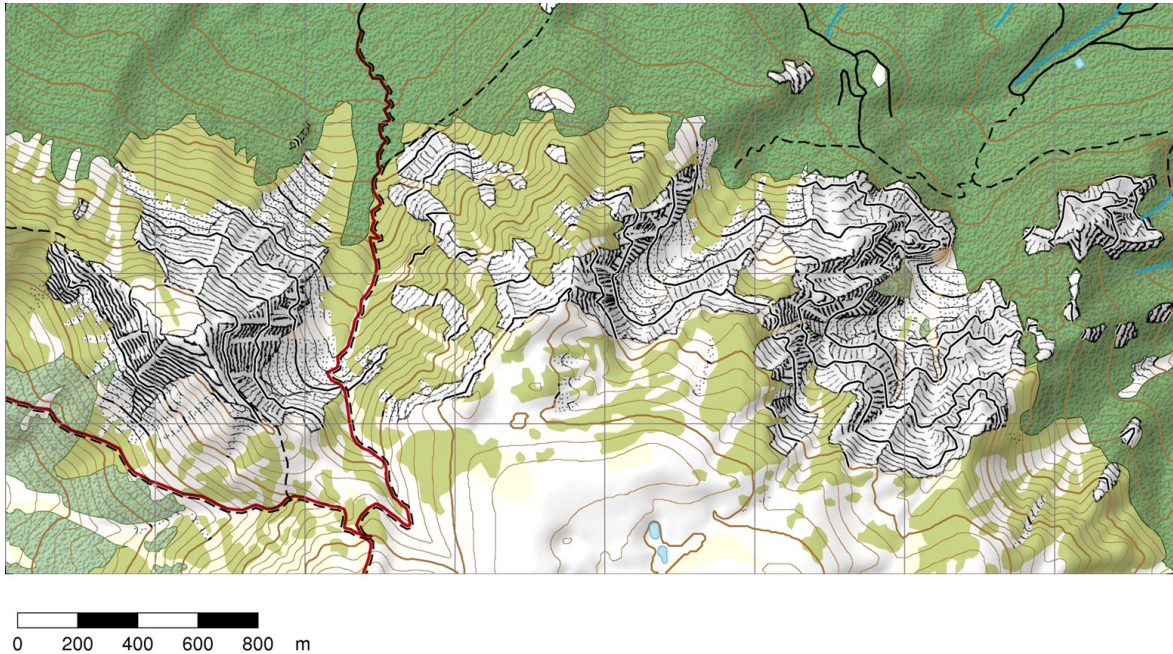


Abb. 39: Kartenprobe des Testgebiets

Bei der Kartenprobe des Testgebietes „Veitsch-Nord“ wurde eine Felsdarstellung nach schattenplastischem Prinzip integriert (vgl. Abb. 39). Unter der üblichen Annahme einer Lichtquelle aus Richtung Nordwest, werden je nach Exposition, die Strichstärken und Schraffendichten variiert. Die Kantenzeichnung beinhaltet positive sowie negative Geländekanten. Positive Kanten werden mit weißem Begleitstrich dargestellt, negative Kanten durch Aussetzen der Schattenschraffen. Die horizontalen Schraffen werden in steilen Bereichen durch Schraffen in der Fallrichtung ersetzt.

In der Karte ist eine Schummerung mit gelbem Sonnenton nach Schweizer Manier ausgeführt. Die Schummerung wird auch im Fels dargestellt und unterstützt den plastischen Effekt der Felszeichnung. Die Geländedarstellung besteht aus Höhenlinien der üblichen Äquidistanz von 20 Metern. Die Zähllinien mit 100 Meter Äquidistanz, werden auch im Fels durchgezogen. Die Farbe der Höhenlinien ist nach Untergrund differenziert. Im Fels und Schutt werden sie schwarz dargestellt, ansonsten mit einem Brauntönen, für die Vegetation. Die Schuttdarstellung ist durch eine Zufallsverteilung einer Punktsignatur gelöst.

Für die unterschiedliche Vegetation kommen verschiedene Flächenfärbungen zum Einsatz. Zusätzlich wurde eine Textur für die Waldvegetation realisiert. Die Farbgebung ist im Allgemeinen an Darstellungen des Österreichischen Alpenvereins angelehnt.

10 Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird eine exemplarische Umsetzung einer weitgehend automatisierten Felsdarstellung und ein System zur Erstellung und Bearbeitung dieser Darstellungen gezeigt.

Die automatisierte Umsetzung gliedert sich in drei aufeinander folgende Schritte. Das sind die Datengenerierung, die kartographische Darstellung und eine graphische Überarbeitung. Ausgangsdatensatz ist dabei ein digitales Rasterhöhenmodell.

Bei der Datengenerierung werden mit Hilfe von GIS-Operationen, Vektordatensätze der Felsdarstellungselemente erzeugt. Dies sind vor allem Liniendatensätze unterschiedlicher Ausprägungen (verschieden Abstände der Linien), die durch eine automatisierte Aufbereitung mit zusätzlichen Daten, wie Hangneigungs- und Expositionsinformationen, versehen werden.

Die Vektordaten werden in ein Darstellungssystem überführt, wo die kartographische Visualisierung der Daten erfolgt. Dies passiert unter Berücksichtigung allgemeiner Felsdarstellungsprinzipien. Diese Prinzipien wurden im Vorfeld durch die Analyse bestehender manueller Felsdarstellungen abgeleitet. Das Darstellungssystem kann über eine Web-Oberfläche bedient werden und bietet die Möglichkeiten diverse Darstellungen zu erstellen und zu bearbeiten. Ausgabe der kartographischen Darstellung sind Rasterbilder in verschiedenen Formaten.

In einem letzten Schritt kann eine graphische Überarbeitung der Darstellungen erfolgen. Unter Einsatz von Filteroperationen, werden charakteristische „zitterige“ Schraffenstriche erzeugt oder die typische Oberflächenrauigkeit von Felsen herausgearbeitet. Zudem ist eine Kombination verschiedener Darstellungen oder das Zusammenführen diverser Elemente, die unterschiedlich bearbeitet oder dargestellt wurden, möglich.

Durch die Realisierung eines weitgehend automatisierten Ansatzes konnte gezeigt werden, dass eine Automatisierung von Felsdarstellungen grundsätzlich realisierbar ist.

Das Ergebnis der praktischen Umsetzung ist ein zum Großteil automatisiertes System zur Erstellung von Felsdarstellungen. Innerhalb dieses Systems wurden verschiedene Darstellungen erprobt und im Rahmen der Arbeit gezeigt. Um die Flexibilität des Systems und die Umsetzung der beschriebenen Prinzipien zu veranschaulichen, orientieren sich die gezeigten Darstellungen stark an den bestehenden und analysierten, manuellen Felsdarstellungsmethoden.

Der vorliegende Ansatz beinhaltet kleinere Einschränkungen in Hinblick auf eine vollständige Automatisierung. Dies betrifft vor allem Prozesse und Arbeitsschritte der Datengenerierung. Manuelle Arbeitsschritte sind weiterhin bei der Erstellung von

Kantenlinien und der Felsabgrenzung notwendig. Derzeit sind diese Schritte durch manuelles Digitalisieren von Linienelementen gelöst. Des Weiteren sind Verbesserungen am Algorithmus zur Erstellung von Falllinien vorzunehmen. Der manuelle Arbeitsaufwand wird als relativ gering eingestuft. Eine vollständige Automatisierung scheint durchaus möglich und sinnvoll.

Als Vorarbeit für den automatisierten Ansatz wurden grundlegende Elemente und Prinzipien traditioneller und manuell erstellter Felsdarstellungen untersucht.

Durch die Analyse dieser bestehenden Felsdarstellungen, konnten verschiedene Felsdarstellungselemente sowie wiederkehrende, allgemeine Prinzipien der Felsdarstellung erkannt werden. Bei den Felsdarstellungselementen handelt es sich größtenteils um linienhafte Elemente. Dazu zählen horizontale und vertikale Linien, Kantenlinien, die Felsabgrenzung sowie Höhenlinien. Diese Elemente wurden gleichsam als Elemente für die automatisierte Darstellung festgelegt.

Unter den analysierten Prinzipien ist zum einen das Prinzip der Schweizer Schattenschraffendarstellung zu finden. Damit ist ein räumlicher (schattenplastischer) Effekt, der durch die Felszeichnung erzeugt wird, gemeint. Der so genannte Scharungersatz (oder die Steilwandkennzeichnung) konnte ebenfalls als wesentliches Prinzip von Felsdarstellungen definiert werden. Das Prinzip regelt den Einsatz von horizontalen und vertikalen Linien in der Darstellung. Im Allgemeinen werden in steilen Bereichen horizontale Linien, durch Linien in der Fallrichtung ersetzt. Zudem wurden durch die Analysen, verschiedene Kantenzeichnungsprinzipien herausgearbeitet.

In weiterer Folge wurden die erkannten Prinzipien für eine digitale Automatisierung formalisiert und allgemeine Regeln der Darstellung festgelegt.

Im automatisierten System erfolgt die Variation der Strichstärke nach Exposition. Hierbei wird die Strichstärke, aber auch die Strichdichte (Abstände von Linien zueinander), unter Annahme eines vereinfachten Lichtmodells, nach Exposition variiert. Dies entspricht dem Prinzip der Schattenschraffendarstellung. Der Einsatz von Darstellungselementen ist generell von der Hangneigung abhängig. Die Festlegung der Hangneigung als Bedingung für die Darstellung von horizontalen und vertikalen Linienelementen, entspricht dem Prinzip des Scharungersatzes. Neben der Anwendung dieser Prinzipien, ist die Variation der Farbe, der Helligkeit und der Linienmuster aller Darstellungselemente, Voraussetzung für die automatisierte Darstellung.

Für die Umsetzung dieser Anforderungen wurden Expositions- und Hangneigungsklassen gebildet und auf die Darstellungselemente angewendet. Zudem wurden diverse Linienmustern zur Schraffen- und Kantendarstellung programmiert.

Abschließend soll ein Ausblick auf folgende Arbeiten gegeben werden, um zu erläutern, wo weiterführender Forschungs- und Untersuchungsbedarf vorhanden ist.

Bei der gezeigten Methode können offensichtliche Mängel bei der Datengenerierung erkannt werden. Zudem sind hier die größten Einschränkungen bezüglich einer vollständigen Automatisierung zu finden. Verbesserungen und weiterführende Arbeiten sind also notwendig.

Zum einen ist die automatisierte Erstellung der Falllinien zu verbessern. Wie im entsprechenden Kapitel beschrieben, funktioniert dieser Teilprozesses nicht ausnahmslos. Eine flächendeckende und korrekte Erstellung dieser Linienelemente ist umzusetzen. Zudem sind die Automatisierungsschritte der Kantenableitung und die Erstellung der Felsabgrenzung zu realisieren. Besonders die Kantenzeichnung bedarf weiterführender Untersuchungen, da sie sich als wesentliches Element der Felsdarstellung, herausgestellt hat. Es ist auch zu analysieren, welche Kantenzeichnung (Grad der Generalisierung), für welche Darstellungsarten geeignet ist. Dies ist im Zuge einer Automatisierung der Kantengenerierung durchzuführen.

Des Weiteren konnten Problembereiche der Darstellung identifiziert werden, die es in Zukunft zu beachten gilt. Hierbei sind Schwierigkeiten bei der Darstellung von flachen Hängen und Hängen ohne Kantenzeichnung zu erwähnen. Zudem ist eine charakteristischere Felszeichnung nach geologischen Gegebenheiten (Gesteinsarten) anzustreben.

Grundsätzlich muss eine Evaluierung der gezeigten und möglichen Darstellungen erfolgen. Auch Tests zu automatisierten Darstellungen verschiedener Maßstäbe, sind von Interesse. Dazu ist auch die Ausweitung auf eine Vielzahl von Testgebieten notwendig.

Die gezeigte Umsetzung ist relativ allgemein. Die Anwendung der beschriebenen Prinzipien ist nur ein Ansatz der Automatisierung. Die Spezialisierung auf eine Darstellungsart und die dadurch gezieltere Weiterentwicklung der Methode, ist denkbar. Dabei muss es sich nicht unbedingt um Kopien oder exakte Reproduktionen bestehender Methoden handeln. Das System bietet jedenfalls die Möglichkeit, auch neuartige Darstellungsweisen zu finden.

11 Literatur

- [ALB-14] ALBERTI, Mauro: Pathlines in a steady flow field. <http://www.malg.eu/pathlines.php>. Mai, 2014
- [ARN-70] ARNBERGER, Erik: Die Kartographie im Alpenverein. Innsbruck, Univ.-Verl. Wagner, 1970
- [ARN-75] ARNBERGER Erik und Ingrid KRETSCHMER: Wesen und Aufgaben der Kartographie – Topographische Karten. Teil 1/Textband, Franz Deuticke, Wien, 1975
- [AUB-98] AUBRECHT, Peter: Corine Landcover Österreich. Vom Satellitenbild zum digitalen Bodenbedeckungsdatensatz. MONOGRAPHIEN Band 93, Wien, 1998
- [BRA-83] BRANDSTÄTTER, Leonhard: Gebirgskartographie. Wien, Franz Deuticke, 1983
- [BRU-98] BRUNNER, Kurt: Kartographische Felsdarstellung unter besonderer Berücksichtigung der Alpenvereinskartographie. In: Hochgebirgskartographie Silvretta 1998, Workshop der Kommission Hochgebirgskartographie. Institut für Geographie der Universität Wien, Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, 11, 1998
- [DAH-08] DAHINDEN, Tobias: Methoden und Beurteilungskriterien für die analytische Felsdarstellung in topografischen Karten. ETH Zürich, 2008
- [DAH-02] DAHINDEN, Tobias: Existing rock representation in topographic maps and their suitability for digital generation. ETH Zürich, 2002
- [DAH-00] DAHINDEN, Tobias: Weiterentwicklung des Programmsystems zur digitalen Felsdarstellung. ETH Zürich, 2000
- [EBS-37] EBSTER, Fritz: Die topographische Geländedarstellung und Felszeichnung der neuesten Alpenvereinskarten. In: Der Bergsteiger. Deutscher und Österreichischer Alpenverein, Wien, 11, S. 702 - 709, 1937
- [FEL-06] FELDMANN Hans-Uli und Novit KREITER: Neuaufbau der schweizerischen Landeskarte: Inhalt und Kartengrafik. In: Kartographische Nachrichten, Fachzeitschrift für Geoinformation und Visualisierung. Deutsche Gesellschaft für Kartographie e.V., Bonn, 2006
- [GAR-98] GARTNER, Georg: Die Alpenvereinskartographie - oder Gedanken über den Begriff "Qualität" in der Kartographie. In: Hochgebirgskartographie Silvretta 1998, Workshop der Kommission Hochgebirgskartographie. Institut für Geographie der Universität Wien, Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, 11, 1998
- [GDA-15] GDAL - Geospatial Data Abstraction Library. <http://www.gdal.org> . März, 2015

-
- [GEI-13] GEISTHÖVEL, Roman und Lorenz HURNI: Toward Automatic Swiss Style Rock Depiction. Proceedings of the 26th International Cartographic Conference. Dresden, 2013
- [GIL-98] GILGEN, Jürg: Felsdarstellungen in den Landeskarten der Schweiz. In: Hochgebirgskartographie Silvretta 1998, Workshop der Kommission Hochgebirgskartographie. Institut für Geographie der Universität Wien, Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, 11, 1998
- [GIL-10] GILGEN, Jürg und Bernhard JENNY: Digital rock and scree drawing in vector and raster mode. In: Geographia Technica, Special Issue, S. 24 - 31, 2010
- [GON-08] GONDOL Loïc, Arnaud Le Bris und François Lecordix: Cartography of high mountain areas – testing of a new digital cliff drawing method. Proceedings of the 6th ICA Mountain Cartography Workshop, Lenk, S. 71–80, 2008
- [HUR-01a] HURNI, Lorenz, Tobias DAHINDEN und Ernst HUTZLER: Digital Cliff Drawing for Topographic Maps: Traditional Representations by Means of New Technologies. In: Cartographica, Special Issue: ICA Commission on Mountain Cartography. S. 55 - 65, 2001
- [HUR-01b] HURNI, Lorenz (et al.): Interactive Analytical Shading and Cliff Drawing: Advances in Digital Relief Presentation for Topographic Mountain Maps. Proceedings of the 20th International Cartographic Conference. Beijing, 2001
- [HUR-95] HURNI, Lorenz: Modellhafte Arbeitsabläufe zur digitalen Erstellung von topographischen und geologischen Karten und dreidimensionalen Visualisierungen. Institut für Kartographie, ETH Zürich, 1995
- [HUR-89] HURNI, Lorenz: Verschiedene Felsdarstellungsarten für topographische Karten, 1:25,000. ETH Zurich, 1989
- [HUR-98] HURNI Lorenz und Andreas NEUMANN: Computergestützte Erstellung topographischer Hochgebirgskarten – ausgewählte Probleme, diskutiert am Beispiel einer Karte des Bieltales (Silvretta). In: Hochgebirgskartographie Silvretta 1998, Workshop der Kommission Hochgebirgskartographie. Institut für Geographie der Universität Wien, Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, 11, 1998
- [HUR-11] HURTUT, Thomas und François LECORDIX: Cartography of Mountain Rocky Areas, a Statistical Modeling and Drawing of Element Arrangements. Proceedings of the 25th International Cartographic Conference. Paris, 2011
- [IMA-15] ImageMagick: Convert, Edit, Or Compose Bitmap Images: <http://imagemagick.org> . März, 2015
- [IMH-65] IMHOF, Eduard: Kartographische Geländedarstellung. Berlin, de Gruyter, 1965
- [JEN-14] JENNY, Bernhard (et al.): Design principles for Swiss-style rock drawing. In: The Cartographic Journal, Vol. 51 No. 4, S.360-371, 2014
-

- [JEN-11] JENNY, Bernhard (et al.): Rock Drawing for Topographic Maps. Proceedings of the 25th International Cartographic Conference. Paris, 2011
- [KLA-09] KLAUSER, Armin: Automatisierte Ableitung einer topographischen Bodenbedeckungskarte im subalpinen Bereich. Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien, 2009
- [KRI-98] KRIZ, Karel (Ed.): Hochgebirgskartographie Silvretta 1998, Workshop der Kommission Hochgebirgskartographie. Institut für Geographie der Universität Wien, Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, 11, 1998
- [KRI-11] KRIZ, Karel: Topographische und Hochgebirgskartographie. In: 50 Jahre Österreichische Kartographische Kommission. Institut für Geographie der Universität Wien, Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, 20, 2011
- [LYS-13] LYSÁK, Jakub und Michal TRAURIG: Digital Rock Drawing on Czech Topographic Maps: Present and Future Development. Proceedings of the 26th International Cartographic Conference. Dresden, 2013
- [MAP-15] MAPYRUS: <http://mapyrus.sourceforge.net/> . März, 2015
- [PAT-14] PATTERSON, Tom: Terrain Texture Shader, Software for Enhancing Shaded Relief on Maps. http://www.shadedrelief.com/texture_shading/ . Mai, 2014
- [QGI-15] QGIS - Ein freies Open-Source Geographisches Informationssystem: <http://www.qgis.org/de/site/> . März, 2015
- [SAM-14] SAMSONOV, Timofey: Morphometric Mapping of Topography by Flowline Hachures. In: The Cartographic Journal, Vol. 51 No. 1, S.63-74, 2014
- [SPE-15] Spektrum.de: Fels - Lexikon der Geowissenschaften. <http://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/fels/4683> . März, 2015
- [STA-14] STATISTIK SCHWEIZ: Bodennutzung und Bodenbedeckung - Arealstatistik 1979/85, 1992/97 und 2004/09. <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/02/03/blank/data/01.html> . Juli, 2014
- [SWI-14a] swisstopo (Bundesamt für Landestopografie) – Dufourkart: http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/maps/hist/dufour_digital.html . Dezember, 2014
- [SWI-14b] swisstopo (Bundesamt für Landestopografie) – Siegfriedkarte: <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/maps/hist/siegfried.html> . Dezember, 2014

Lebenslauf

Ing. Matthias Grünwald, BSc

Geburtsdatum: 23.09.1980

E-Mail: matthias.gruenwald@univie.ac.at



Ausbildung:

seit 03/2012: Universität-Wien, A-1010 Wien

Masterstudium Kartographie und Geoinformation

09/2008 – 02/2012: Universität-Wien, A-1010 Wien

Bachelorstudium Geographie

09/2001 – 09/2003: HTBLuVA Wien 20 (TGM), A-1200 Wien

Kolleg Wirtschaftsingenieurwesen - Informatik

09/1991 – 06/1999: BRG 10 (Bundesrealgymnasium) Ettenreichgasse, A-1100 Wien

Arbeitserfahrung und Praktika:

04/2013 – fortl.: Universität-Wien, A-1010 Wien

Projektangestellter Kartographie und Geoinformation unter der Leitung von Ass.-Prof. Mag. Dr. Karel Kriz

Auszug Projekte:

- LAWIS (Informationssystem Lawinenwarndienste)
- OEROK-Atlas
- Automatisierte Felsdarstellungen

2009 – 2013: Universität-Wien, A-1010 Wien

Tutor für Kartographie und Geoinformation

Lehrveranstaltungen:

- Schulkartographie
- Grundlagen der kartographischen Gestaltung
- Thematische Kartographie
- Angewandte Geoinformation

12/2003 – 07/2008: KUBUS.NET – Kuba Internet Services

Administration, Programmierung

Ich versichere:

- dass ich die Masterarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
- dass alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Publikationen entnommen sind, als solche kenntlich gemacht sind.
- dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/ einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.
- dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Datum

Unterschrift