

Interaktive Gefahrenhinweiskarte zur Hangstabilität auf der Vulkaninsel Nisyros (Griechenland)

**Entwicklung und Evaluierung
einer SVG-basierten Webapplikation**

Diplomarbeit

Geographisches Institut der Universität Zürich
von Isabella Flüeler

Fakultätsvertreter

Prof. Dr. Robert Weibel, Universität Zürich

Betreuung

Andreas Neumann, IKA ETH Zürich

Dr. Radu Gogu, IKA ETH Zürich

Dr. Christian Häberling, IKA ETH Zürich

Zürich, September 2005

Vorwort

Diese Diplomarbeit ist die Abschlussarbeit meines Geographiestudiums an der Universität Zürich. Die Vielseitigkeit hatte mich ursprünglich zu diesem Studium bewogen. Die Diplomarbeit ermöglichte mir, meine Interessen auf ideale Weise zu vereinen. Während diesem lehrreichen Jahr durfte ich mich ausserdem der Webkartographie widmen, welche die Geographie ausgezeichnet ergänzt.

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen Personen bedanken, die diese Arbeit ermöglicht und unterstützt haben. Zum Gelingen haben jedoch weit mehr Personen beigetragen, als diejenige, die ich hier erwähne.

Ein besonderer Dank geht an Prof. Dr. Robert Weibel vom geographischen Institut der Universität Zürich und Prof. Dr. Lorenz Hurni vom Institut für Kartographie an der ETH Zürich, die mir die Möglichkeit gaben, diese Diplomarbeit durchzuführen.

Ganz herzlichen Dank an meine Betreuer: Andreas Neumann für die kompetente technische Betreuung, Dr. Christian Häberling für die sorgfältige Korrektur und Dr. Radu Gogu für die inhaltlichen Ratschläge.

Vielen Dank auch an Prof. Dr. Volker Dietrich für die fachkompetente Beratung bezüglich GEOWARN und der Situation auf Nisyros.

Der grösste Dank gilt meinen Eltern, die mir dieses Studium ermöglicht haben.

In der vorliegenden Arbeit werden Personen in ihrer Tätigkeit oder Funktion immer in der männlichen Form genannt. Hier möchte ich darauf hinweisen, dass damit weibliche Personen mitgemeint sind.

Zusammenfassung

Die vorliegende Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung eines Kommunikationsmittels, mit dessen Hilfe der betroffenen Bevölkerung oder anderen Interessierten ohne spezifischem Fachwissen über die Naturgefahren in der Südägäis das Thema Hangstabilität auf der Vulkaninsel Nisyros erklärt werden kann.

Das Endprodukt dieser Diplomarbeit ermöglicht dem Benutzer, in der Umgebung einer interaktiven, multimedialen Webapplikation für die Insel Nisyros eine Gefahrenhinweiskarte zum Thema Hangstabilität zu erstellen. Da kein Fachwissen vorausgesetzt wird, werden die Grundlagen zu den Themen Vulkanismus auf Nisyros, Massenbewegungen, Hangstabilität und Gefahrenhinweiskarten in Form von Multimediaelementen wie Text und Bild zur Verfügung gestellt.

Das Kommunikationsmittel wird als Webapplikation realisiert, die nach dem Client-Server-Prinzip funktioniert. Auf der Clientseite steht eine in SVG und ECMAScript geschriebene graphische Benutzerschnittstelle. Sie kann in jedem Webbrowser dargestellt werden, der vom Adobe SVG Viewer unterstützt wird. Auf der Serverseite stehen ein Webserver und eine räumliche Datenbank. Durch die Anfrage des Clients an die Datenbank und an einen OGC Web Map Service werden Kartendaten in der Benutzerschnittstelle angezeigt. Zusatzinformationen zu den Themen Vulkanismus auf Nisyros, Hangstabilität und Risiko werden im XML-Format gespeichert und können direkt vom Client gelesen und dargestellt werden.

Bei der Realisierung wird nach dem benutzerzentrierten Entwicklungsansatz vorgegangen. Die Grundlage für die Umsetzung der Webapplikation bildet deshalb eine Anforderungsspezifikation, die in Zusammenarbeit mit Fachpersonen aus dem Bereich Kartographie erarbeitet wurde. Sie beinhaltet Interaktionen und Randbedingungen des Prototyps, die nach ihrer Priorität klassiert sind. Dies hilft bei der Konzentration das Wesentliche in der Umsetzung. Nach der Umsetzung wird die Webapplikation von potenziellen Benutzern beurteilt. Somit können allfällige Schwachstellen oder Erweiterungsmöglichkeiten erkannt werden.

Die Resultate der Beurteilung sind sehr positiv. Der Prototyp bietet eine gebrauchstaugliche Benutzerschnittstelle. Die Kartengestaltung ist ansprechend und sinnvolle Interaktionen sind implementiert worden. Ausserdem ist der Prototyp für Laien verwendbar.

Inhalt

1	Einleitung	3
1.1	Das Frühwarnsystem GEOWARN als Rahmen der Arbeit.....	3
1.2	Problemstellung	3
1.3	Zielsetzung	4
1.4	Aufbau	4
2	Sicherheitswissenschaft im Bereich Naturgefahren	7
2.1	Zentrale Begriffe	7
2.2	Massenbewegungen und Hangstabilität	8
2.2.1	Ursachen von Massenbewegungen	8
2.2.2	Typen von Massenbewegungen	9
2.2.2.1	Rutschprozesse	9
2.2.2.2	Sturzprozesse	10
2.2.2.3	Fliessprozesse	10
2.2.2.4	Andere Prozesse	10
2.3	Wahrnehmung von Naturgefahren	12
2.4	Umgang mit Naturgefahren	13
2.4.1	Risikoanalyse	14
2.4.2	Risikobewertung	14
2.4.3	Risikomanagement.....	15
2.5	Risikomanagement in der Schweiz	15
3	Naturgefahren in der Kartographie	17
3.1	Multimedia- und Webkartographie	17
3.1.1	Multimediakartographie	17
3.1.2	Webkartographie	18
3.1.2.1	Einfluss des WWW auf die Kartographie	18
3.1.2.2	Typen von Webkarten	19
3.1.2.3	Stand der Technik in der Webkartographie	19
3.2	Kartographische Visualisierung von Naturgefahren	20
3.2.1	Gefahrenkarten.....	20
3.2.2	Aktueller Forschungsstand und Beispiele von Gefahrenkarten	20
3.2.2.1	Beispiel 1: Gefahrenkarte in multimedialer Benutzungsumgebung	20
3.2.2.2	Beispiel 2: Gefahrenkarte in der Benutzungsumgebung WWW	22
3.2.3	Kartographische Visualisierung für sicherheitswissenschaftliche Konzepte	22
3.2.3.1	Schweizer Gefahren- und Gefahrenhinweiskarten.....	23
3.2.3.2	GEOWARN-Frühwarnsystem für Vulkane	24
4	Vulkaninsel Nisyros	27
4.1	Nisyros im vulkanischen Inselbogen der Südägäis	27
4.2	Geologische Entstehung	28
4.3	Aktuelle geodynamische Aktivität	29
4.3.1	Hydrothermale Explosionen	29
4.3.2	Fumarolen und Thermalquellen	29

4.3.3	Seismische Aktivität.....	29
4.4	Reaktivierung vulkanischer Aktivität.....	31
4.4.1	Massenbewegungen und Hangstabilität auf Nisyros	31
4.4.2	Mögliche Massenbewegungen auf Nisyros	33
4.5	Beurteilung der Reaktivierung vulkanischer Aktivität auf Nisyros	34
4.5.1	Datengrundlage des GEOWARN-Frühwarnsystems	35
5	Software-Entwicklung	39
5.1	Grundlegendes zur Software-Entwicklung	39
5.2	Benutzerzentrierte Entwicklung von kartographischen Systemen	40
5.2.1	Usability von kartographischen Systemen	40
5.2.2	Benutzerzentrierte Entwicklung für kartographische Systeme.....	41
5.2.2.1	Analyse und Spezifikation von Anforderungen	41
5.2.2.2	Entwicklung von Prototypen.....	42
5.2.2.3	Evaluierung mit Benutzern.....	42
6	Analyse und Spezifikation von Anforderung.....	47
6.1	Stakeholder-Analyse	47
6.2	Zielanalyse	47
6.3	Anforderungsgewinnung mit Interviews	48
6.3.1	Funktionale Anforderungen	48
6.3.1.1	Erstellungsablauf einer Gefahrenhinweiskarte	48
6.3.1.2	Funktionalität.....	49
6.3.2	Farbe als nicht-funktionale Anforderung.....	50
7	Konzept	53
7.1	Inhalt und Funktionalität.....	53
7.2	Layout	55
7.3	Systemarchitektur der Webapplikation	56
7.3.1	Verwendete Technologien.....	56
7.3.2	XML: hierarchische Speicherstruktur für heterogene Daten	57
7.3.3	SVG: 2D-Vektorgraphik.....	57
7.3.4	ECMAScript: Clientseitige Programmiersprache	58
7.3.5	PostgreSQL und PostGIS: Geographische Datenbank	58
7.3.6	PHP: Serverseitige Programmiersprache	59
7.3.7	Higrid: Extraktion von Geländemodelldaten	59
7.3.8	MapServer: OGC Web Map Service	59
7.3.9	Systemarchitektur	60
8	Umsetzung.....	63
8.1	Daten aufbereiten	63
8.1.1	Vektordaten.....	63
8.1.2	Rasterdaten	63
8.1.2.1	Hangneigung	65
8.1.2.2	Geotechnische Eigenschaften.....	65
8.1.2.3	Hangstabilität.....	65
8.1.2.4	Schadenpotenzial	66
8.1.2.5	Konfliktzonen.....	66
8.2	Daten bereitstellen	67

8.3	Benutzerschnittstelle mit SVG erstellen	68
8.4	Implementierung der Interaktionen	70
8.4.1	Karte	70
8.4.1.1	Dynamisches Laden von Vektordaten	70
8.4.1.2	Massstabsabhängige Symbolisierung für Vektordaten	73
8.4.1.3	Textplatzierung	75
8.4.1.4	Dynamisches Laden von Rasterdaten	75
8.4.1.5	Farbliche Darstellung der Themen in der Gefahrenhinweiskarte	77
8.4.2	Räumliche Navigation	78
8.4.3	Ebenenkontrolle	79
8.4.4	Attributanzeige	79
8.4.4.1	Attributanzeige für Kartenobjekte	79
8.4.4.2	Anzeige von DHM-Attributen	79
8.4.5	Legende	80
8.4.5.1	Bidirektionaler Bezug zwischen Karte und Legende	81
8.4.5.2	Verschiebbare Legenden	81
8.4.6	Höhenprofil	82
8.4.7	Hilfsfunktionen	82
8.4.8	Zusatzinformationen	83
8.4.9	Gefahrenhinweiskarte für die Hangstabilität auf Nisyros	85
9	Evaluierung	87
9.1	Umsetzung der Anforderungsspezifikation	87
9.1.1	Funktionale Anforderungen	87
9.1.2	Farbe als nicht-funktionale Anforderung	88
9.2	Methodik der Benutzerbefragung	89
9.3	Diskussion der Resultate	91
9.3.1	Profil der Befragten	91
9.3.2	Berechnete Werte	92
9.3.3	Usability	92
9.3.4	Kartengestaltung	95
9.3.5	Interaktivität	98
9.3.6	Medienkombination	100
10	Schlussfolgerungen und Ausblick	103
10.1	Schlussfolgerungen	103
10.1.1	Notwendige Funktionalität und Randbedingungen	103
10.1.2	Benutzerfreundliche Umsetzung	104
10.1.3	Ansprechende Kartengestaltung	104
10.1.4	Sinnvolle Interaktivität	105
10.1.5	Erweiterungsmöglichkeiten	105
10.1.6	Zusammenfassung	106
10.2	Ausblick	106
11	Referenzen	109
12	Anhang	115

Verzeichnisse

Abbildungen

Abb. 2.1: Rotationsrutschung [USGS, 2004].	11
Abb. 2.2: Translationsrutschung [USGS, 2004].	11
Abb. 2.3: Steinschlag [USGS, 2004].	11
Abb. 2.4: Sturzprozess (kippen) [USGS, 2004].	11
Abb. 2.5: Hangmure [USGS, 2004].	11
Abb. 2.6: Hangkriechen [USGS, 2004].	11
Abb. 2.7: Beziehung zwischen Gefahr, Schadenpotenzial, Risiko und Schaden [KIENHOLZ, 2005].	13
Abb. 2.8: Teilbereiche der Sicherheitswissenschaft und ihre gegenseitige Beeinflussung [HOLLENSTEIN, 1996].	14
Abb. 2.9: Risikomanagement-Zyklus [KIENHOLZ, 2005, veränd.].	16
Abb. 3.1: Gefahrenhinweiskarte für Steinschlag im Kanton Bern in der Benutzungsumgebung ADS 2 [ADS, 2004].	21
Abb. 3.2: Seismische Gefahrenkarte auf dem WWW [USGS HAZARD MAPS URL, 2005].	22
Abb. 3.3: Schweizer Naturgefahrenerkennung und Massnahmenplanung [BRP ET AL., 1997].	23
Abb. 3.4: Beispiel einer Gefahrenkarte für Lawinen. Rot bedeutet erhebliche Gefährdung, blau mittlere, gelb geringe [RYTER, 2001].	24
Abb. 3.5: Volcano Alert Levels [GEOWARN SYNTHESE, 2003].	25
Abb. 3.6: Benutzerschnittstelle des GEOWARN-Frühwarnsystems [GEOWARN URL, 2005].	26
Abb. 4.1: Nisyros im Inselbogen der Südägäis und Phasen vulkanischer Aktivität [GEOWARN SCHLUSSBERICHT 11, 2003, veränd.].	28
Abb. 4.2: Kraterfeld der Nisyros-Caldera (Teil 1) [DIETRICH, 2005b].	30
Abb. 4.3: Kraterfeld der Nisyros-Caldera (Teil 2) [DIETRICH, 2005b].	30
Abb. 4.4: Brodelndes Schlammloch [GEOWARN SCHLUSSBERICHT 11, 2003].	30
Abb. 4.5: Typische Fumarolenöffnung [GEOWARN SCHLUSSBERICHT 11, 2003].	30
Abb. 4.6: Schematische Darstellung des hydrothermalen Systems [FREIMARK, 2002].	30
Abb. 4.7: GEOWARN-Hangstabilitätskarte von Nisyros [GEOWARN SCHLUSSBERICHT 13, 2003].	33
Abb. 4.8: Wand eines hydrothermalen Kraters in der Caldera [DIETRICH, 2005b].	34
Abb. 4.9: Hauptverwerfungssystem in Mandraki [GEOWARN SCHLUSSBERICHT 11, 2003].	34
Abb. 4.10: Kraterrand der Caldera [DIETRICH, 2005b].	34
Abb. 4.11: Steile Caldera-Innenwände [DIETRICH, 2005b].	34
Abb. 4.12: Hänge bei Pali mit Anzeichen von Rutschungen [DIETRICH, 2005b].	34
Abb. 4.13: Steinbruch östlich von Pali [DIETRICH, 2005b].	34
Abb. 5.1: Benutzerzentrierte Entwicklung [HERMANN & PLEISSNER, 2003].	43
Abb. 7.1: Layout der Benutzerschnittstelle.	56
Abb. 7.2: Systemarchitektur des Prototypen.	60
Abb. 8.1: Ablauf der Datenaufbereitung.	65
Abb. 8.2: Legenden für die drei Hangneigungsklassierungen.	67
Abb. 8.3: Legenden der Konfliktzonen für die drei Hangneigungsklassierungen.	67

Abb. 8.4: Benutzerschnittstelle mit SVG.....	70
Abb. 8.5: Reihenfolge der Textplatzierung.....	75
Abb. 8.6: Kartenausschnitt Hangneigung.....	78
Abb. 8.7: Kartenausschnitt geotechnische Eigenschaften.....	78
Abb. 8.8: Kartenausschnitt Schadenpotenzial.....	78
Abb. 8.9: Kartenausschnitt Hangstabilität.....	78
Abb. 8.10: Kartenausschnitt Konfliktzonen.....	78
Abb. 8.11: Reihenfolge der Gitterpunkte in der 3x3-Umgebung.....	
[ZEVENBERGEN UND THORNE, 1987].....	80
Abb. 8.12: Benutzerschnittstelle mit Höhenprofil.....	83
Abb. 8.13: Überblick über die einzelnen Schritte des Erstellungsablauf.....	86
Abb. 9.1: Durchschnittliche Beurteilungswerte aller Fragen zu den Usability-Kriterien.....	95
Abb. 9.2: Durchschnittliche Beurteilungswerte aller Fragen zur Kartengestaltung.....	96
Abb. 9.3: Durchschnitt aller Antworten zu den Fragen der Kartengestaltung.....	97
Abb. 9.4: Durchschnittliche Beurteilungswerte aller Teilkriterien zur Interaktivität.....	99
Abb. 9.5: Durchschnittliche Beurteilungswerte aller Teilkriterium zur Interaktivität.....	100
Abb. 9.6: Durchschnitt aller Antworten zu den Fragen der Interaktivität (Teil 1).....	101
Abb. 9.7: Durchschnitt aller Antworten zu den Fragen der Interaktivität (Teil 2).....	102
Abb. 10.1: Zusammenfassende Beurteilung der Kriterien.....	104

Tabellen

Tab. 3.1: Zwecke und Umsetzung von Gefahrenkarten [CHESNEAU, 2004].....	21
Tab. 4.1: Datengrundlage des GEOWARN-Frühwarnsystems [GOGU ET AL., 2005].....	37
Tab. 5.1: Ergonomische Designprinzipien der ISO-Norm 9241/10.....	
[HERMANN & PLEISSNER, 2003].....	41
Tab. 6.1: Priorität von Ablaufvarianten zur Erstellung der Gefahrenhinweiskarte.....	49
Tab. 6.2: Prioritätszuweisung gemäss MoSCoW-Einteilung.....	49
Tab. 6.3: Definitive Prioritätszuweisung auf Grund der durchschnittlichen Priorität.....	50
Tab. 6.4: Priorität der funktionalen Anforderungen.....	50
Tab. 6.5: Prioritätszuweisung nach Anzahl Nennungen.....	51
Tab. 6.6: Priorität der farblichen Ausprägungen für die Gefahrenhinweiskarte.....	51
Tab. 7.1: Überblick über die Zusatzinformationsthemen und ihre Unterkapitel.....	54
Tab. 8.1: Überblick über die verwendeten Vektordaten.....	64
Tab. 8.2: Überblick über die verwendeten Rasterdaten.....	64
Tab. 8.3: Hangneigungsklassierungen für die Gefahrenhinweiskarte.....	66
Tab. 8.4: Geotechnische Klassierung der Geologie für die Gefahrenhinweiskarte.....	66
Tab. 8.5: Relevante Gebiete für das Schadenpotenzial.....	66
Tab. 8.6: Überblick über die implementierten Funktionen.....	73
Tab. 9.1: Umsetzung der funktionalen Anforderungen.....	88
Tab. 9.2: Umsetzung der Randbedingung Farbe in der Gefahrenhinweiskarte.....	89
Tab. 9.3: Erfahrungen der Befragten.....	92
Tab. 9.4: Beispiel zur Berechnung der Beurteilungswerte.....	92

Abkürzungen

ADS	Atlas der Schweiz
ASV	Adobe SVG Viewer
BFS	Bundesamt für Statistik
BRP	Bundesamt für Raumplanung
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
BWG	Bundesamt für Wasser und Geologie
CD-ROM	Compact Disc Read-Only Memory
CGI	Common Gateway Interface
CSS	Cascading Stylesheets
DHM	Digitales Höhenmodell
DOM	Document Object Model
DVD	Digital Versatile Disc
ECMA	European Computer Manufacturers Association
EPSG	European Petroleum Survey Group
ES	ECMAScript
ESRI	Environmental Systems Research Institute
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
FTP	File Transfer Protocol
GEOWARN	Geo-spatial Warning System Nisyros Volcano (Greece)
GIF	CompuServe Graphics Interchange Format
GIS	Geographisches Informationssystem
GPS	Global Positioning System
HSV	Farbmodell Hue Saturation Value (Farbton, Sättigung, Helligkeit)
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IKA	Institut für Kartographie, ETH Zürich
Internet	Interconnected Networks
IP	Internet Protocol
JPEG	Joint Photographic Experts Group
JS	JavaScript
MPEG	Moving Picture Experts Group
OGC	Open GIS Consortium
PDF	Portable Document Format
PHP	Hypertext Preprocessor
PNG	Portable Network Graphics
RGB	Rot-Grün-Blau-Farbmodell

Abkürzungen

SHP	ESRI Shapefile
SQL	Structured Query Language
SRID	Spatial Reference Identification
sRGB	Standard RGB-Farbmodell (Rot-Grün-Blau)
SVG	Scalable Vector Graphics
TCP	Transmission Control Protocol
TIFF	Tagged Image File Format
URL	Uniform Resource Locator
USGS	United States Geological Survey
VRML	Virtual Reality Modeling Language
WMS	Web Map Service
WWW	World Wide Web
W3C	World Wide Web Consortium
XHTML	Extensible Hypertext Markup Language
XML	Extensible Markup Language

Teil I: Theoretische Grundlagen

1 Einleitung

1.1 Das Frühwarnsystem GEOWARN als Rahmen der Arbeit

Die Insel Nisyros ist ein potenziell aktiver Vulkan am östlichen Ende des vulkanischen Inselbogens der Ägäis. Für die Insel selbst und das umliegende vulkanische Feld zwischen Kos und Tilos wurden mehrere mögliche Naturgefahren identifiziert [GOGU ET AL., 2005]:

- Hydrothermale Gas- und Dampferuptionen im Kraterfeld innerhalb der Nisyros-Caldera
- seismische Aktivität auf Grund regionaler, tektonischer Bewegungen
- seismische Aktivität magmatisch tektonischen Ursprungs im Zusammenhang mit Unruhen in der Erdkruste
- vulkanische Eruption
- Erdbeben und Tsunamis ausgelöst durch Erdbeben, magmatische und vulkanische Aktivität

Neben den komplexen vulkanischen Gefahren verzeichnet die Insel zunehmenden Tourismus. Täglich lockt der Nisyros-Vulkan mit seinen dampfenden hydrothermalen Kratern Hunderte von Besucher an [GEOWARN SYNTHESE, 2003].

Im EU-Projekt GEOWARN wurde ein Frühwarnsystem geschaffen, welches ermöglicht, solche potenziell aktiven Vulkane wie Nisyros zu überwachen. Damit können verschiedene Datensätze aus der Geologie, Seismik, Geodäsie, Geochemie und Fernerkundung über eine graphische Benutzerschnittstelle räumlich und zeitlich miteinander in Beziehung gesetzt werden. Dies erleichtert die Beurteilung von unterschiedlichen vulkanischen und seismischen Gefahrenphänomenen, Entscheidungsfindungsprozessen sowie Risikostudien. Potenzielle Benutzer dieses Frühwarnsystems sind Behörden, die sich mit der Gefahrenbeurteilung befassen müssen, internationale vulkanologische und seismologische Kommissionen und Organisationen sowie private Unternehmen. [GEOWARN URL, 2005]

1.2 Problemstellung

Moderne sicherheitswissenschaftliche Konzepte beinhalten neben der *Risikoanalyse* auch *Risikobewertung* und *Risikomanagement*. Risikoanalysen untersuchen mit wissenschaftlichen Methoden das Ausmass und die Wahrscheinlichkeit von möglichen Schäden. In der Risikobewertung wird die Bedeutung wahrgenommener Risiken nach Werten und Wertpräferenzen beurteilt. Es wird bestimmt, was passieren darf. Das Risikomanagement verbindet die Resultate der Analyse mit den Vorgaben der Bewertung und bestimmt den Handlungsbedarf, Zielsetzungen, Strategien und Massnahmen. Es ist eine administrative, technische und politische Aufgabe, welche Behörden, Experten und die betroffene Bevölkerung einbezieht. [HOLLENSTEIN, 1996]

In einem sicherheitswissenschaftlichen Gesamtkontext betrachtet deckt das GEOWARN-Frühwarnsystem zum einen die Risikoanalyse und Teile der Risikobewertung ab. Zum anderen

wird es im Risikomanagement als Kommunikationsmittel zwischen Experten und Behörden eingesetzt. Die GEOWARN-Datengrundlage ist sehr umfassend und könnte anders aufbereitet auch für die Kommunikation mit der betroffenen Bevölkerung verwendet werden.

Forschung im Bereich der Risikowahrnehmung hat gezeigt, dass die Rahmenbedingungen bei der Wahrnehmung eines Risikos wesentlich zu dessen subjektiver Höhe beitragen [RENN & ZWICK, 1997]. Im Fall von Nisyros könnte beispielsweise mit GEOWARN als vertrauenswürdige Informationsquelle die Akzeptanz gegenüber Zielsetzungen, Strategien oder Massnahmen des Risikomanagements erhöht werden.

1.3 Zielsetzung

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, ein Kommunikationsmittel zu entwickeln, mit dessen Hilfe ein Teil der Erkenntnisse aus dem GEOWARN-Projekt an die betroffene Bevölkerung oder andere Interessierte ohne spezifisches Fachwissen über die Naturgefahren in der Südägäis weitergegeben werden könnte.

Als Grundlage stehen die umfangreichen Datensätze aus dem GEOWARN-Projekt zur Verfügung. Da nur ein Teil der Erkenntnisse beispielhaft vermittelt werden soll, werden die Thematik und das Untersuchungsgebiet eingeschränkt. Als Thema bietet sich die Hangstabilität auf der Insel Nisyros an, die im Rahmen von GEOWARN bereits untersucht und visualisiert wurde.

Das Internet hat sich im Rahmen seiner rasant ansteigenden Beliebtheit zu einem wesentlichen Medium aktueller und kartographisch aufbereiteter Information entwickelt [PETERSON, 2003]. Das Endprodukt der Diplomarbeit soll daher ein Prototyp einer interaktiven, multimedialen Webapplikation sein, die es den Benutzern ermöglicht, für die Insel Nisyros eine Gefahrenhinweiskarte zum Thema *Hangstabilität* zu erstellen. Zusätzlich soll die Modellierung von Schadenpotenzial und Konflikträumen angeboten werden. Da kein Fachwissen vorausgesetzt werden darf, sollen die Grundlagen rund um die Themen *Vulkanismus* auf Nisyros, *Massenbewegungen*, *Hangstabilität* und *Gefahrenhinweiskarten* in Form von Multimediaelementen wie Text und Bild zur Verfügung stehen.

Das Vorgehen bei der Realisierung der Webapplikation soll einem Entwicklungsprozess entsprechen, wie er in der Software-Entwicklung üblich ist. Dies verlangt unter anderem die Analyse und Spezifikation von Anforderungen sowie die Evaluierung mit einem Benutzertest. Bei der Bewertung sollen neben den Kriterien der Gebrauchstauglichkeit nach ISO-Norm 9241/10 die Kartengestaltung und Interaktivität massgebend sein.

1.4 Aufbau

Die Diplomarbeit ist in zwei Hauptteile gegliedert: in die theoretischen Grundlagen (Teil I) und die Entwicklung und Evaluierung des Prototyps einer Webapplikation (Teil II).

Teil I der Arbeit beinhaltet die theoretischen Grundlagen zu den Themen Sicherheitswissenschaft und Kartographie im Bereich Naturgefahren sowie Allgemeines zur Software-Entwicklung. Zu Beginn werden in Kapitel 2 zentrale Begriffe der Sicherheitswissenschaft erläutert, danach Massenbewegungen als Naturgefahr beschrieben sowie deren Wahrnehmung und Umgang behandelt. Im folgenden Kapitel 3 wird auf die kartographische

Visualisierung von Risiko und die Bedeutung von Gefahrenkarten im Risikomanagement eingegangen. Anschliessend wird in Kapitel 4 die aktuelle geodynamische Situation der Vulkaninsel Nisyros und die daraus resultierenden Naturgefahren erklärt, wobei auch ein Überblick über die Datengrundlage des GEOWARN-Projekts gegeben wird. Zum Schluss des theoretischen Teils werden in Kapitel 5 die Grundlagen zur Software-Entwicklung in Bezug auf kartographische Systeme vermittelt.

Im Teil II geht es um die Entwicklung und Evaluierung der Webapplikation. Die Kapitel behandeln der Reihe nach die einzelnen Schritte, wie sie in der Software-Entwicklung üblich sind. Dies beginnt mit der Analyse und Spezifikation der Anforderungen an die Applikation (Kapitel 6). Dann folgen die Ausarbeitung eines Lösungskonzepts (Kapitel 7) und dessen Umsetzung (Kapitel 8). Anschliessend wird der Prototyp in einem Benutzertest auf Benutzerfreundlichkeit, kartographische Darstellungsqualität und Interaktivität bewertet und diskutiert (Kapitel 9). Abgeschlossen wird die Arbeit durch globale Schlussfolgerungen und einen Ausblick auf mögliche Themen zukünftiger Forschung.

Ein Anhang rundet die Diplomarbeit ab. Er beinhaltet Quellcodes und Unterlagen zum Benutzertest. Alle relevanten digitalen Dokumente der Diplomarbeit sind zudem auf der beiliegenden DVD gespeichert.

2 Sicherheitswissenschaft im Bereich Naturgefahren

In diesem Kapitel werden zentrale Begriffe für die Sicherheitswissenschaft definiert. Massenbewegungen als Naturgefahren sind das Hauptthema dieses Kapitels. Es werden verschiedene Arten von Naturgefahren und ihre Ursachen beschrieben. Anschliessend wird erläutert, wie Naturgefahren und Risiken generell von Menschen wahrgenommen werden. Zum Schluss wird der Umgang mit Naturgefahren thematisiert. Dabei wird speziell auf die Situation in der Schweiz eingegangen.

2.1 Zentrale Begriffe

Über die Definition der gebräuchlichsten Begriffe in der Sicherheitswissenschaft herrscht Uneinigkeit. Je nach Zusammenhang und Autor werden sie unterschiedlich verwendet. Deshalb werden an dieser Stelle wichtige Begriffe definiert, wie sie in der vorliegenden Arbeit auch gebraucht werden. Die Definitionen stimmen im Wesentlichen mit denjenigen des BUWAL-Arbeitspapiers aus dem Jahr 1998 überein [BUWAL, 1998]. Darin werden Begriffe zu den Themen *Geomorphologie, Naturgefahren, Forstwesen, Sicherheit* und *Risiko* erklärt.

Gefahr: Zustand, Umstand oder Vorgang, aus dem ein Schaden entstehen kann oder die Möglichkeit des Eintritts eines Schaden verursachenden gefährlichen Prozesses.

Gefährlicher Prozess: Vorgang, der auf Grund seiner Art, seines Ausmasses usw. dann zu Schäden führen kann, wenn ihm verletzbare Objekte ausgesetzt sind.

Naturgefahr: Aus einem gefährlichen Prozess in der Natur objektiv drohendes Unheil. Umfasst sämtliche Vorgänge und Einflüsse der Natur, die für den Menschen und/oder für Sachwerte schädlich sein können.

Risiko: Möglichkeit, dass aus einem Zustand, Umstand oder Vorgang ein Schaden entstehen kann.

Risikoakzeptanz: Persönliche oder kollektive Bereitschaft, das subjektiv erkannte Risiko eines Zustandes oder Vorganges zu tolerieren.

Risikoanalyse: Systematisches Verfahren zur Charakterisierung und – wenn möglich – Quantifizierung der Eintretenswahrscheinlichkeit und des Schadenpotenzials.

Risikobewertung: Urteil über die Akzeptierbarkeit der aus der Risikoanalyse gewonnenen Erkenntnisse mit Hilfe individueller oder kollektiver Kriterien. Beantwortung der Frage "Was darf passieren?"

Risikomanagement: Umgang mit erkannten Gefahren und Risiken auf Grund der Ergebnisse von Risikoanalyse und Risikobewertung.

Risikowahrnehmung: Wahrnehmung von Ausmass und Eintretenswahrscheinlichkeit eines Schadens auf Grund von Informationen (eigene Beobachtung, Erfahrung, Medien) und anderen Faktoren (z.B. Meinung, Glauben).

Schaden: Negativ bewertete Folge eines Ereignisses oder Vorganges.

Schadenpotenzial: Gesamtheit der möglichen Schäden durch einen gefährlichen Prozess, Grösse des möglichen Schadens oder die Summe der gefährdeten oder von Schaden bedrohten Werte im betrachteten Gebiet.

Widerstandsfähigkeit: Eigenschaft eines Objekts, Beanspruchungen ohne Schaden aufnehmen zu können.

Verletzlichkeit: Eigenschaft eines Objekts, Beanspruchungen mit Schaden aufzunehmen (Komplement von Widerstandsfähigkeit).

2.2 Massenbewegungen und Hangstabilität

Die Bewegungen von Wasser-, Schnee-, Eis-, Erd- und Felsmassen im Bereich der Erdoberfläche werden als gravitative Prozesse zusammengefasst [BUWAL, 1998]. Massenbewegungen sind "*bruchhafte oder bruchlose, unter der Wirkung der Schwerkraft hangabwärts gerichtete Verlagerungen von Fest- (Fels) und/oder Lockergesteinen (inkl. Bodenmaterial und Wasser)*" [BUWAL ET AL., 2001, S. 7]. Sie werden hauptsächlich von folgenden Faktoren gesteuert: Steilheit und Stabilität der Hänge, Beschaffenheit und Eigenschaft des Hangmaterials und Wassergehalt des Hangmaterials [PRESS & SIEVER, 1995].

Die Hangstabilität bezeichnet die Böschungsstandsicherheit und ist ein Mass für die Einhaltung des natürlichen Böschungswinkels. Dies ist der maximale Neigungswinkel beim Aufschütten von lockerem Material [BUCKSCH, 1997]. Die Stabilität nimmt ab, wenn Hänge steiler werden als der natürliche Böschungswinkel. Hänge mit verfestigten Materialien werden instabil, wenn sie übersteilt oder unterschritten werden. Wasser kann im Hangmaterial die innere Reibung und den Widerstand gegen Fließen herabsetzen oder eine Schmierwirkung auf Schwächezonen erzeugen [PRESS & SIEVER, 1995]. Die Stabilität eines Hanges ist also eine Eigenschaft, die das Verhältnis zwischen den rückhaltenden und treibenden Kräften eines Hanges beschreibt und die Bewegungsform bestimmt.

2.2.1 Ursachen von Massenbewegungen

Zu den Rahmenbedingungen, die Massenbewegungen begünstigen, gehört steiles oder stark geneigtes Gelände und Materialablagerungen auf rutschgefährdeten, wasser- oder tonreichen Sedimenten [HAEBERLI ET AL., 2000]. Kluftsysteme oder Schichtfugen unterstützen die Verwitterung und Wasserbewegung im Gestein. Ein hohes Wasserbindevermögen des Lockergesteins fördert die plastische Verformung. Es ist von der Porosität und vom Tongehalt abhängig.

Im Zusammenhang mit gravitativen Naturgefahren spricht man von der Grunddisposition und der variablen Disposition eines Hanges. Die Grunddisposition ist "*die grundsätzliche über längere Zeit mehr oder weniger konstant bleibende Anlage zu gefährlichen Prozessen*" [BUWAL, 1998, S. 11]. Im Fall von Massenbewegungen machen Geologie, Relief und Exposition die Grunddisposition aus. Denn die geophysikalischen Eigenschaften eines Gesteins haben Auswirkungen auf das Verhalten während Erosion und Verwitterung. Die variable Disposition bezeichnet "*die in einem bestimmten Umfang schwankende oder sich entwickelnde Bereitschaft zu gefährlichen Prozessen*" [BUWAL, 1998, S. 11]. Die meteorologische Situation, der Vegetationszustand oder die Veränderungen im Wasserhaushalt eines Rutschkörpers gehören zur variablen Disposition [BUWAL, 1998].

Das Gleichgewicht zwischen den rückhaltenden und den treibenden Kräften eines Hanges ist Veränderungen unterworfen. Es kann durch physikalische und/oder chemische Prozesse

beeinflusst werden. Langfristig wirksame Verwitterungsprozesse oder Schwankungen des Grundwasserspiegels bestimmen die Stabilität eines Hanges kontinuierlich. Hänge können durch die Erosion eines Fließgewässers oder eines Erdbebens kurzzeitig destabilisiert werden. Wird der Schwellenwert eines relevanten Parameters erreicht oder überschritten, so wird ein Massenbewegungsereignis ausgelöst. Dies kann zum Beispiel durch Frost- und Auftauzyklen oder durch sporadisch auftretende, intensive Niederschläge verursacht werden. Anthropogene Ursachen von Massenbewegungen umfassen zum Beispiel Bauten und Aufschüttungen, die einen Hang überbelasten, unsachgemässer Abbau von Rohstoffen, ungeeignete Landnutzung oder Entwaldung. [BRP ET AL., 2001]

2.2.2 Typen von Massenbewegungen

Massenbewegungsereignisse können als Fall, Sturz, Sackung, Setzung, Gleiten auftreten [HAEBERLI ET AL., 2000]. Die Erscheinungsformen von Massenbewegungen können nach verschiedenen Kriterien klassiert werden, zum Beispiel nach Bewegungsmechanismus, Materialzusammensetzung, Geschwindigkeit der Prozesse oder Auslösemechanismen.

Das Multilingual Landslide Glossary unterscheidet zwischen drei Grundtypen [BRP ET AL., 2001]:

- Als Rutschprozesse wird die "*hangabwärts gerichtete Bewegung von Fest- und/oder Lockergestein entlang von Gleitflächen oder entlang von verhältnismässig dünnen Zonen intensiver Scherverformung*" bezeichnet [BUWAL ET AL., 2001, S. 8].
- Bei Sturzprozessen handelt es sich um das "*Ablösen von Fest- und/oder Lockergestein in einem steilen Hang entlang einer Fläche, auf welcher nur geringe oder keine Scherbewegungen stattfinden. Das Material stürzt grösstenteils frei fallend, springend und/oder rollend ab*" [BUWAL ET AL., 2001, S. 8].
- Fließprozesse beinhalten die "*räumliche, kontinuierliche Bewegung, bei der Scherflächen nur kurzzeitig ausgebildet, dicht angeordnet und gewöhnlich nicht erhalten sind. Die Geschwindigkeitsverteilung der bewegten Masse gleicht der einer viskosen Masse*" [BUWAL ET AL., 2001, S. 8].

2.2.2.1 Rutschprozesse

Bei Rutschungen gleiten Hangteile aus Fest-, Locker- oder Bodenmaterial hangabwärts. Sie sind das Resultat von Scherbrüchen und treten an mässig geneigten bis steilen Böschungen und Hängen auf. Wasser kann diesen Prozess fördern, indem es Porenwasserdrücke und Quelldrücke, die vom Quellen von Tonmineralien herrühren, verursacht. [BRP ET AL., 2001]

Die Geschwindigkeiten betragen einige Millimeter bis Zentimeter oder gar Dezimeter pro Jahr. Rutschungen, die sich mehrere Dezimeter pro Tag hangabwärts verschieben, treten selten auf. Es können zusätzlich Differentialbewegungen auftreten, die zur Verkipfung von Bauten oder Rissbildung führen. Gehen sie in Fließrutschungen über, erlangen sie grössere Reichweiten. In Wechselwirkung mit Fließgewässern können grosse Geschiebmassen mobilisiert werden. Dies kann zu Murgängen oder zum Rückstau von Fließgewässern und somit Überschwemmungen führen. [BRP ET AL., 2001]

Rutschungen werden in *Rotationsrutschungen* und *Translationsrutschungen* unterteilt (vgl. Abb. 2.1 und 2.2). Rotationsrutschungen kommen hauptsächlich in homogenen, tonigen und siltigen Lockergesteinen vor. Charakteristisch sind eine kreisförmige Gleitfläche und ein

beschränktes Volumen. Translationsrutschungen sind vor allem in Gebieten mit Flysch, kalkigem Mergelschiefer oder metamorphen Schiefen anzutreffen. Da besteht die Möglichkeit, dass sich Bruchflächen bilden. Darauf können ganze Schichten oder Schichtpakete abgleiten. Die flächenmässige Ausdehnung von Translationsrutschungen bewegt sich im Bereich von einigen Quadratmetern bis mehreren Quadratkilometern. [BRP ET AL., 2001]

2.2.2.2 Sturzprozesse

Bei diesem schnellen Massenbewegungsprozess bricht Material längs von Schicht-, Schieferungs-, Kluft- oder Bruchflächen aus einem Gebirgsverband aus (vgl. Abb. 2.3 und 2.4). Es legt den grössten Teil des Weges in der Luft zurück. Sturzprozesse werden in *Ausbruchsgebiet*, *Transitstrecke*, und *Ablagerungsgebiet* unterteilt. Man unterscheidet drei Kategorien [BRP ET AL., 2001]: Block- und Steinschlag, Felssturz oder Bergsturz.

Bei Block- und Steinschlag springen oder rollen isolierte Blöcke ($\varnothing > 50$ cm) und Steine ($\varnothing < 50$ cm) mit Geschwindigkeiten zwischen 5 bis 30 m/s hangabwärts. Die Ursache liegt meistens im Zerfall einer Felswand, der durch Geologie, Exposition und Verwitterung bestimmt wird. [BRP ET AL., 2001]

Bei einem Felssturz stürzt ein mehr oder weniger stark fragmentiertes Gesteinspaket mit einer Geschwindigkeit von 10 bis 40 m/s ab. Die meisten Ereignisse weisen ein Volumen zwischen 100 und 100'000 m³ auf. Das absturzgefährdete Gesteinsvolumen kann mit Untersuchungen zur räumlichen Anordnung der Trennflächen bestimmt werden. [BRP ET AL., 2001]

Bergstürze verändern die Landschaft tiefgreifend. Sie vermögen zum Beispiel Bäche und Flüsse zu stauen und Überflutungen zu verursachen. Bergstürze sind stürzende Gesteinsmassen von einem Volumen mit über 1 Million Kubikmeter mit hohen Sturzgeschwindigkeiten über 40 m/s und sehr grossen Transportdistanzen. Der Ausbruchmechanismus ist nicht definiert. Der Bewegungsmechanismus ist stark von der Topographie und den Interaktionen und der Fragmentierung innerhalb der Sturzmasse geprägt. [BRP ET AL., 2001]

2.2.2.3 Fließprozesse

Hangmuren, auch *Fliessrutschungen* oder *Murgänge* genannt, sind ein Gemisch aus Wasser und Lockergestein an der Oberfläche (vgl. Abb. 2.5). Sie treten in Volumen bis 20'000 m³ und an steilen Hängen mit eher gering durchlässigen Quartärbildungen auf, wie zum Beispiel tonigen Moränen. Charakteristisch für Hangmuren ist, dass sie auf Grund des grossen Wasseranteils hohe Prozessgeschwindigkeiten zwischen 1 und 10 m/s erreichen und sehr viel Material transportieren können. Durch intensive Regenfälle werden sie begünstigt. [BRP ET AL., 2001]

2.2.2.4 Andere Prozesse

Absenkungs- und Einsturzphänomene treten auf, wo ein löslicher Untergrund wie Gips oder Rauwacke ausgelaugt wird oder unterirdische Hohlräume existieren, beispielsweise in Karstgebieten. Eine typische Erscheinungsform ist die *Doline*. *Hangkriechen* bezeichnet die über lange Zeit anhaltende, langsame Verformung im Lockergestein oder Fels (vgl. Abb. 2.6). Das Material wird bruchlos und kontinuierlich verformt oder kriecht diskontinuierlich mit Gleitvorgängen auf zahlreichen kleinen Trennflächen. *Solifluktion* bezeichnet das Kriechen von

oberflächennahen Bodenschichten. Verursacht wird es durch deren wiederholtes Auftauen und Gefrieren. Für *Sackungen* sind gravitative Bewegungen in Festgesteinen längs von Trennflächen typisch. Die vertikale Bewegungskomponente überwiegt. Der Übergang zu einer Rutschung ist fließend. [BRP ET AL., 2001]

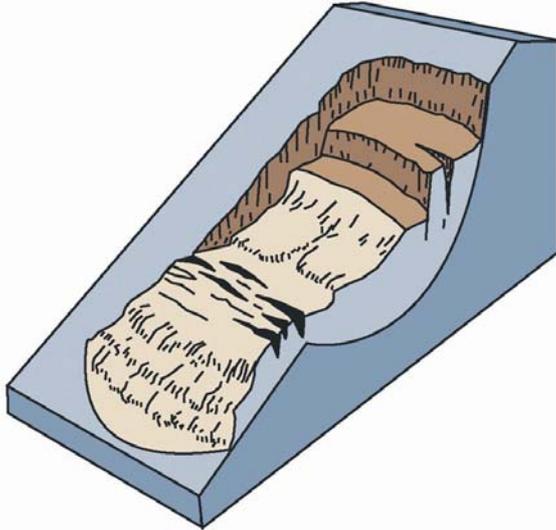


Abb. 2.1: Rotationsrutschung [USGS, 2004].

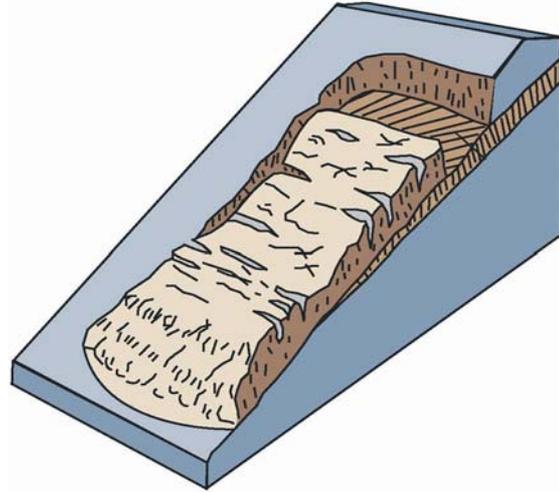


Abb. 2.2: Translationsrutschung [USGS, 2004].

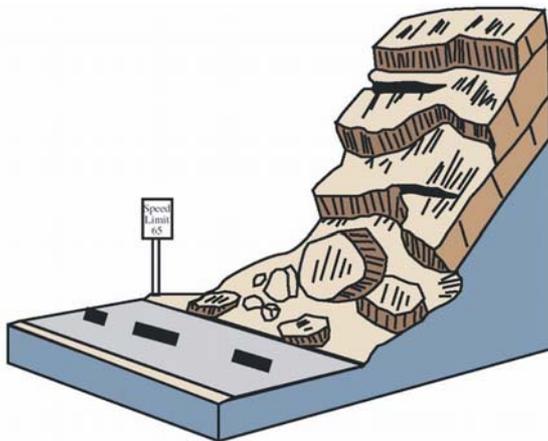


Abb. 2.3: Steinschlag [USGS, 2004].

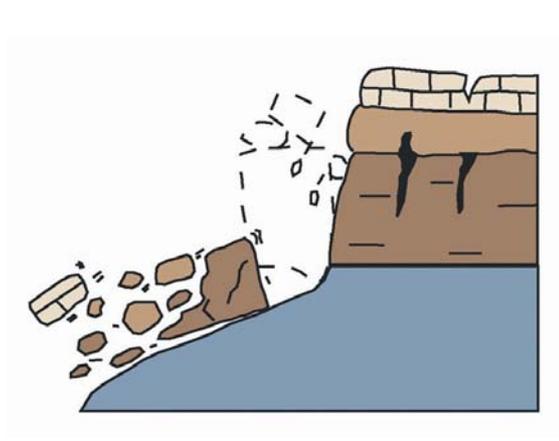


Abb. 2.4: Sturzprozess (kippen) [USGS, 2004].

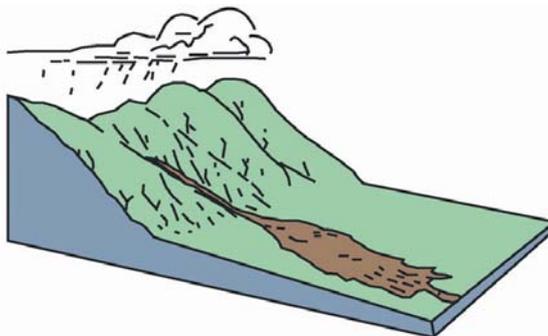


Abb. 2.5: Hangmure [USGS, 2004].

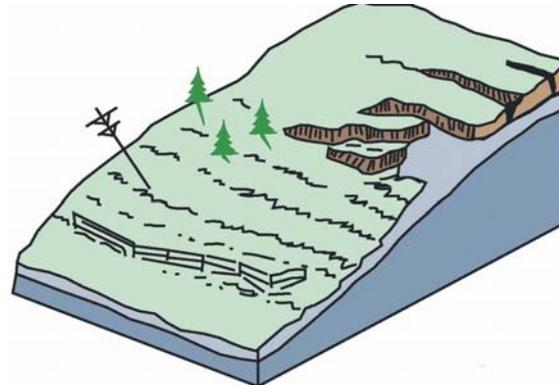


Abb. 2.6: Hangkriechen [USGS, 2004].

2.3 Wahrnehmung von Naturgefahren

Ingenieur- und Naturwissenschaften verstehen Risiko als Kombination von Wahrscheinlichkeit und Schadenausmass. Psychologische und soziale Disziplinen sehen Risiko nicht als objektive Grösse, sondern als subjektive Erwartung, die sämtliche für Individuen, soziale Gruppen und Institutionen unerwünschte Handlungsfolgen berücksichtigt [KRÖGER, 2003].

Menschen begreifen ihre Umwelt durch Vorstellungen und Assoziationen. Risiken stufen sie nach ihrer subjektiven Wahrnehmung ein. Dieser mentale Prozess basiert auf Informationsvermittlung über die Gefahrenquelle, den psychischen Verarbeitungsmechanismen von Unsicherheit und früheren Erfahrungen mit Gefahren. [NDK RISIKO UND SICHERHEIT, 2004]

Technische und natürliche Risiken werden wahrgenommen als "*komplexes, mehrdimensionales Phänomen, bei dem subjektive Verlusterwartungen (geschweige denn statistisch gemessene Verlusterwartungen) nur eine untergeordnete Rolle spielen, während der Kontext der riskanten Situation massgeblich die Höhe des wahrgenommenen Risikos beeinflusst*" [RENN & ZWICK, 1997, S. 90]. Das wesentliche Kriterium der Wahrnehmung von Risiken ist also nicht die Über- oder Unterschätzung von Verlusterwartungen, sondern die Kontextabhängigkeit der Risikobewertung. Folgende Begleitumstände, so genannte qualitative Faktoren, beeinflussen die Risikowahrnehmung [KRÖGER, 2003]:

- Gewöhnung der Risikoquelle
- Freiwilligkeit der Risikoübernahme
- Persönliche Kontrollmöglichkeit des Risikogrades
- Katastrophenfähigkeit einer Risikoquelle
- Sicherheit fataler Folgen bei Gefahreintritt
- Unerwünschte Folgen für kommende Generationen
- Sinnliche Wahrnehmbarkeit von Gefahren
- Eindruck einer gerechten Verteilung von Nutzen und Risiko
- Eindruck der Reversibilität der Risikofolgen
- Kongruenz zwischen Nutzniesser und Risikoträger
- Vertrauen in die öffentliche Kontrolle und Beherrschung von Risiken
- Erfahrung (kollektiv wie individuell) mit Technik und Natur
- Vertrauenswürdigkeit der Informationsquellen
- Eindeutigkeit der Informationen über Gefahren

Diese unterschiedlichen Begleitumstände widerspiegeln sich in mehreren Vorstellungsmustern, welche von Menschen zur Wahrnehmung und Bewertung von Risiken benutzt werden [NDK RISIKO UND SICHERHEIT, 2004]. Diese von der Forschung identifizierten Wahrnehmungsmuster sind keine irrationalen Vorstellungen, sondern in der Evolution gewachsene und bewährte Konzepte [KRÖGER, 2003]:

- Risiko als unmittelbare Bedrohung
- Risiko als Schicksalsschlag
- Risiko als Herausforderung der eigenen Kräfte
- Risiko als Glücksspiel
- Risiko als Frühindikator für Gefahren

Naturgefahren werden als Schicksalsschläge wahrgenommen. Sie gelten als Launen der Natur oder Gottes Wille. Bei diesem Vorstellungsmuster kann der Mensch keine Besserung der Situation herbeiführen. Als Ausweg bleiben nur Flucht oder Verdrängung. Dieses Vorstellungsmuster wurde mit zunehmender, menschlicher Beeinflussung von natürlichen Katastrophen mit Elementen der unmittelbaren Bedrohung durchmischt. Drei Faktoren machen dabei das Ausmass des wahrgenommenen Risikos aus: die Zufälligkeit des Ereignisses, das erwartete maximale Schadensausmass und die Zeitspanne der Schadensabwehr. Wie bei Störfällen von technischen Systemen wird nach einem eingetretenen Schadenereignis die Verantwortung diskutiert. [NDK RISIKO UND SICHERHEIT, 2004]

2.4 Umgang mit Naturgefahren

Risiko besteht, wo ein potenzieller gefährlicher Prozess mit potenziell exponierten Personen und Objekten in Konflikt steht [PETRASCHKE & KIENHOLZ, 2003]. Schaden entsteht, wo sich ein gefährlicher Prozess tatsächlich abspielt und sich im Prozessraum Schadenpotenzial befindet (vgl. Abb. 2.7) [KIENHOLZ, 2005].

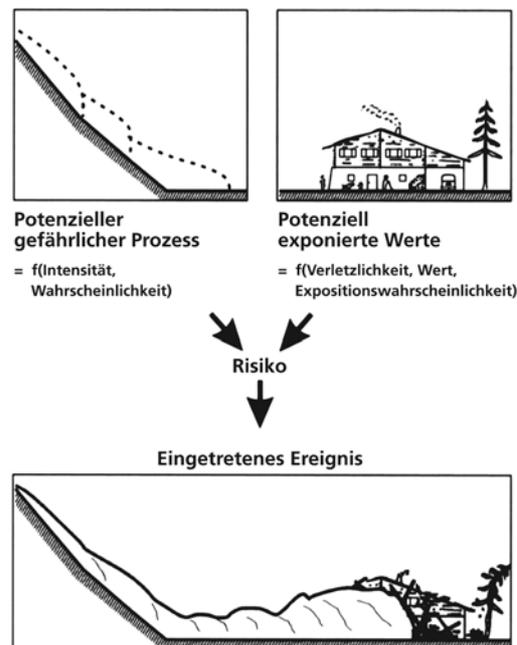


Abb. 2.7: Beziehung zwischen Gefahr, Schadenpotenzial, Risiko und Schaden [KIENHOLZ, 2005].

Die Ziele der modernen Sicherheitswissenschaft sind, Risiken aufzuzeigen, deren gesellschaftliche Bedeutung zu erklären und Massnahmen zur Erhöhung der Sicherheit zu optimieren. Um dies zu erreichen, ist es notwendig, Sicherheitsbemühungen zu koordinieren. Das setzt voraus, dass die Teilbereiche der Sicherheitswissenschaft, Risikoanalyse, Risikobewertung und Risikomanagement, in ein Gesamtkonzept integriert werden (vgl. Abb. 2.8). [HOLLENSTEIN, 1996]

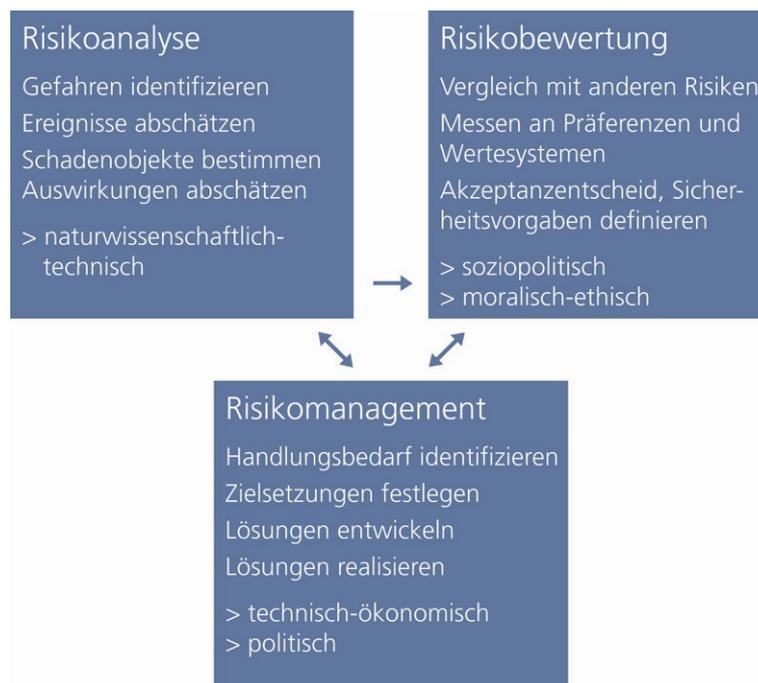


Abb. 2.8: Teilbereiche der Sicherheitswissenschaft und ihre gegenseitige Beeinflussung [HOLLENSTEIN, 1996].

2.4.1 Risikoanalyse

"Die Risikoanalyse liefert Informationen über das Ausmass und die Wahrscheinlichkeit der zu erwartenden Schäden. Sie beantwortet die Frage 'Was kann passieren?'" [HOLLENSTEIN, 1996, S. 21].

Bei Risikoanalysen werden Systeme und ihr Verhalten mit mathematisch-naturwissenschaftlichen Methoden auf Ursachen und Wirkungen hin untersucht. Dies erlaubt das Einbringen von subjektiven Einschätzungen, zum Beispiel für einen Parameterwert, nicht aber von subjektiven Wertungen, zum Beispiel über die Zulässigkeit eines Zustandes. Risikoanalysen können demnach losgelöst von der Risikobewertung und vom -management durchgeführt werden. Das Resultat sind Informationen über Wahrscheinlichkeit oder Häufigkeit und Ausmass oder Intensität. Damit lässt sich die Bedeutung einzelner Risiken unabhängig von Einzelereignissen beschreiben. [HOLLENSTEIN, 1996]

Die Risikoanalyse ist in der Sicherheitswissenschaft unumstritten. Ihre spezifischen Methoden sind sehr differenziert und am weitesten fortgeschritten. Lange Zeit wurden in diesem Bereich die grössten Anstrengungen zur Methodenentwicklung unternommen. In den letzten Jahren haben aber Risikobewertung und -management an Bedeutung gewonnen. [HOLLENSTEIN, 1996]

2.4.2 Risikobewertung

"Die Risikobewertung beurteilt die Bedeutung wahrgenommener Risiken anhand von Werten und Wertpräferenzen. Sie beantwortet die Frage 'Was darf passieren?'" [HOLLENSTEIN, 1996, S. 21].

Die Risikobewertung befasst sich mit dem akzeptierbaren Mass von Schäden und leitet daraus Sicherheitsziele ab. Risiken werden auf Grund von Informationen wahrgenommen. Qualitative

Faktoren wie Art, Umfang, Darstellung, Qualität und Inhalt der Informationen beeinflussen die Wahrnehmung. Die Sicherheitswissenschaft hat die Möglichkeit mittels Kommunikation Einfluss auf die Risikobewertung zu nehmen. Dafür muss abgeklärt werden, wie das Risiko eines Zustandes oder Vorganges wahrgenommen und bewertet wird. Folgende grundlegenden Fragen gilt es zu beantworten [HOLLENSTEIN, 1996]: Ist eine Abschätzung über die Akzeptierbarkeit von Risiken überhaupt möglich? Wie stark und mit welchen Mitteln kann die Risikobewertung beeinflusst werden?

2.4.3 Risikomanagement

"Das Risikomanagement ist das Bindeglied zwischen den Resultaten der Analyse und den Vorgaben der Bewertung. Es bestimmt die Zielsetzungen, den Handlungsbedarf, die Strategien und Massnahmen" [HOLLENSTEIN, 1996, S. 24].

Im Risikomanagement werden die bestehenden und akzeptierten Risiken miteinander verglichen. Ziel ist es, die bestehenden Risiken auf ein akzeptiertes Mass zu bringen. Um dies zu erreichen, können entweder bestehende Risiken reduziert oder deren Akzeptanz erhöht werden. Der zweite Ansatz ist schwierig zu planen, da er auf einer Veränderung des Wertesystems, und somit auf individuellen und sozialen Präferenzen, beruht. Deshalb wird meistens der erste wissenschaftlich-technisch Ansatz bevorzugt. Dieser beinhaltet das Bestimmen von Gebieten, in denen das Risiko so gross ist, dass Handlungsbedarf besteht. Strategien und Massnahmen werden ausgearbeitet, mit denen die Zielsetzungen erreicht werden können. Es wird abgeklärt, welche Ressourcen für deren Realisierung notwendig sind. Risikomanagement ist eine administrative, technische und politische Aufgabe, welche erst seit einigen Jahren in sicherheitswissenschaftliche Gesamtkonzepte integriert wird. [HOLLENSTEIN, 1996]

2.5 Risikomanagement in der Schweiz

In der Schweiz gibt es eine lange Tradition, Siedlungen und Verkehrswege in den dicht besiedelten Alpenregionen mit geeigneten Massnahmen zu schützen. In den meisten Fällen waren diese Sicherheitsmassnahmen zum Schutz gegen Naturgefahren zwar erfolgreich, aber im Bezug auf das Risikomanagement nicht systematisch. [PETRASCHKE & KIENHOLZ, 2003]

Nach dem Lawinenwinter und den Hochwasserereignissen von 1999 wurde die Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT) beauftragt, eine Strategie zu erarbeiten, welche den Schutz vor Naturgefahren für die ganze Bevölkerung der Schweiz gewährleistet. Mit dem integralen Risikomanagement wurde ein gesamtschweizerisch vergleichbarer Sicherheitsstandard zum Schutz des Menschen und seiner natürlichen Lebensgrundlage sowie von Sachwerten geschaffen [PLANAT, 2004].

Das grundlegende Konzept für das neue integrale Risikomanagement der Schweiz ist der Risiko-Management-Zyklus (vgl. Abb. 2.9). Beurteilung, Vorbeugung, Bewältigung und Regeneration werden in einen zyklischen Ablauf gebracht. Im Idealfall wird vor der Katastrophe mit der Beurteilung in Form von Risikoanalyse und -bewertung begonnen [KIENHOLZ, 2005]. Zuerst werden alle gefährlichen Prozesse und die gefährdeten Werte mittels objektiver wissenschaftlicher und technischer Methoden ermittelt. Das identifizierte Risiko wird analysiert, damit das zu akzeptierende Risiko definiert und die Schutzziele bestimmt werden

können. Letztere sind politische Prozesse, die nicht nur die Entscheidungsträger einbeziehen, sondern auch die Öffentlichkeit. Voraussetzung dafür ist eine gut vorbereitete und verständlich formulierte Dokumentation der Resultate aus der Risikoanalyse [PETRASCHKEK & KIENHOLZ, 2003]. Darauf folgt die Vorbeugung mit präventiven Massnahmen und den Vorbereitungen für die Ereignisbewältigung [KIENHOLZ, 2005]. Bei der Bewältigung des Ereignisses stehen der Einsatz und die Instandstellung im Mittelpunkt. Danach wird in der Regeneration mit dem Wiederaufbau begonnen [PETRASCHKEK & KIENHOLZ, 2003]. Nach einem Ereignis wird das Schutzkonzept überprüft und neu beurteilt. Der Risiko-Management-Zyklus beginnt wieder von vorne.

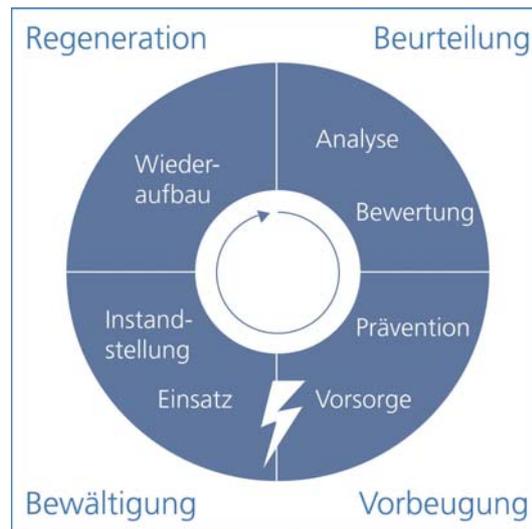


Abb. 2.9: Risikomanagement-Zyklus [KIENHOLZ, 2005, veränd.].

3 Naturgefahren in der Kartographie

Dieses Kapitel behandelt die kartographische Darstellung von Naturgefahren. Zuerst folgen allgemeine Überlegungen zur Multimedia- und Webkartographie. Darin werden unter anderem Bedingungen erörtert, welche die Benutzungsumgebung des World Wide Web (WWW) an die Kartographie stellt. Anschliessend geht es um die kartographische Visualisierung von Naturgefahren. Dabei werden verschiedene Typen von Gefahrenkarten und ihre kartographische Umsetzung erklärt. Danach wird auf den aktuellen Forschungsstand eingegangen. Zum Schluss werden zwei Beispiele kartographischer Visualisierungen von Naturgefahren in sicherheitswissenschaftlichen Konzepten erklärt.

3.1 Multimedia- und Webkartographie

Jahrhunderte lang waren kartographische Erzeugnisse sowohl Medium als auch Speicher-zeitlicher Information. Im heutigen Informationszeitalter haben die Inhalte und Verfahren der Kartographie einen markanten Wandel erfahren. Geographische Informationssysteme (GIS) haben seit ihrer konzeptuellen Entwicklungsphase in den 1960er und 1970er Jahren die Kartographie revolutioniert [HAKE ET AL., 2002]. Denn mit Hilfe dieser digitalen Systeme kann nicht nur die Inventarisierung und Analyse von geographischen Daten sehr effizient und umfassend erfolgen. Sie stellen diese Daten auch für die kartographische Visualisierung in geeigneter Form bereit. Gegenwärtig kann die Kartographie bezeichnet werden als *"ein Fachgebiet, das sich befasst mit dem Sammeln, Verarbeiten, Speichern und Auswerten Raumbezogener Informationen sowie in besonderer Weise mit deren Veranschaulichung durch kartographische Darstellungen"* [HAKE ET AL., 2002, S. 3].

3.1.1 Multimediakartographie

Der Computer hat im Rahmen dieser Entwicklung nicht nur die Herstellung von kartographischen Erzeugnissen vereinfacht. Er ist selbst zum Trägermedium geworden [HAKE ET AL., 2002]. Die Multimediakartographie, die aus den Entwicklungen der digitalen Kartographie und von GIS hervorgegangen ist, hat die kartographische Visualisierung am Computerbildschirm nachhaltig beeinflusst. Sie ist aus dem Bedürfnis entstanden, geographische Daten auf intuitive Art und Weise zu vermitteln [CARTWRIGHT ET AL., 2002].

"Digital Multimedia is considered to be any combination of two or more media, represented in a digital form, sufficiently well integrated to be presented via a single interface, or manipulated by a single computer program" [CHAPMAN & CHAPMAN, 2000, S.12].

Digitale Multimedia bezeichnet die Kombination von zwei oder mehr Medien in digitaler Form, die in einer einzigen Benutzerschnittstelle integriert sind oder über ein einziges Computerprogramm gesteuert werden können. In der Multimediakartographie wird der Inhalt einer oder mehrerer Karten durch verschiedene Medien visualisiert.

Die Kombination verschiedener Medien in der Kartographie erlaubt die Nutzung des multisensorischen Eindrucks und der integrierenden Fähigkeit des Menschen [SIEBER, 2005]. Die Multimediakartographie will auf diese Weise den Zugang zu und die Präsentation von

geographischen Daten Personen ohne spezifischem Fachwissen ermöglichen [CARTWRIGHT ET AL., 2002]. Dies setzt voraus, dass Daten nicht nur aus verschiedenen Medien integriert, sondern auch kartographisch aufbereitet werden. Damit kartographische Information kognitiv erfasst werden kann, muss das Wesentliche betont und zusätzliche Mittel wie z. B. eine Legende eingesetzt werden [SIEBER, 2005]. Die interaktive Steuerung einzelner Komponenten gehört bei einer Multimedia-Anwendung ebenfalls dazu.

Interaktivität bezeichnet den Dialog zwischen Benutzer und Computer [BILL & ZEHNER, 2001]. Dadurch kann eine kartographische Multimedia-Anwendung unterschiedlichen Bedürfnissen angepasst werden [SIEBER, 2005]. Zu den Standardfunktionalitäten solcher Systeme gehören beispielsweise das Vergrössern, Verkleinern und Verschieben des Kartenausschnitts. In der Multimediakartographie ist es wichtig, dass der Zugriff auf die Informationen nicht nach einem vorgegebenen Schema abläuft, sondern vom Benutzer frei gewählt werden kann [CARTWRIGHT ET AL., 2002].

3.1.2 Webkartographie

Das Internet hat sich im Rahmen seiner rasant ansteigenden Bedeutung zu einem der wichtigsten Medien zu aktueller und auch kartographisch aufbereiteter Information entwickelt [PETERSON, 2003]. Es ist ein "*weltweites, dezentrales Computernetz zur Bereitstellung von Informationen und Dienstleistungen sowie Übermittlung von Nachrichten*" [BILL & ZEHNER, 2001, S. 141]. Die Verständigung zwischen den Rechnern basiert auf dem Kommunikationsprotokoll TCP/IP. Das Internet bietet Dienste wie E-Mail, FTP und World Wide Web an [BILL & ZEHNER, 2001].

Das *World Wide Web*, hier auch *WWW* oder *Web* genannt, ist eine "*Anwendung im Internet, die mittels Hyperlinks den einfachen Zugriff auf unter Umständen multimediale Informationen entfernter Datenbanken ermöglicht, ohne an eine bestimmte genormte Dateistruktur gebunden zu sein*" [BILL & ZEHNER, 2001, S.265]. Betrachtet und genutzt werden die Daten nach dem Client-Server-Prinzip. Mit einem Webbrowser, einer beim Client installierten Software, können einzelne Seiten auf Webservern durch Angabe einer Internetadresse angesprochen werden. Diese wird auch Uniform Resource Locator (URL) genannt und enthält das zu verwendende Protokoll (z.B. HTTP oder FTP) sowie die Dateistruktur der gesuchten Ressource. [BILL & ZEHNER, 2001]

3.1.2.1 Einfluss des WWW auf die Kartographie

Dank der Internettechnologie können also auch kartographische Darstellungen übermittelt und am Bildschirm angezeigt werden. Bei solchen Darstellungen spricht man von so genannten *Webkarten*. Es handelt sich dabei um Bildschirmkarten, die auf einem Webserver gespeichert sind. Bei Bedarf werden sie mit Daten aus einer Datenbank erzeugt. Über eine Internetadresse können sie vom Client angefordert werden. Sie sind entweder selbstständige Webseiten oder Bestandteil davon. [BOLLMANN & KOCH, 2001]

Karten werden im Allgemeinen von vier Faktoren beeinflusst [KRAAK & BROWN, 2001]: Benutzer, Anbieter, Benutzungsumgebung und Karteninhalt. Bei der Herstellung eines Kartenprodukts müssen Erfahrungen der Benutzer im Umgang mit Karten berücksichtigt werden. Sie variieren beispielsweise nach Alter und Bildung. Kommerziellen und staatlichen Kartenanbietern stehen bei der Herstellung unterschiedliche Ressourcen zur Verfügung. Auch

dies beeinflusst die endgültige Form. Im Weiteren stellen Trägermedium und Thema bestimmte Bedingungen.

Webkarten besitzen die Eigenschaften der Multimediakartographie. Die Nutzung der Karten erfolgt aber über die Benutzungsumgebung des WWW. Dies schafft ganz spezifische Bedingungen [KRAAK & BROWN, 2001]. Aufmerksamkeit und Geduld der Webbenutzer sind begrenzt. Die Übertragungsgeschwindigkeit von Daten im WWW verlangt, dass Dateien möglichst klein bleiben. Geringe Informations- und Bilddichte sind ebenfalls von Vorteil. Zusätzliche Informationen können interaktiv zugänglich gemacht werden [KRAAK & BROWN, 2001]. Je nach Browser kann sich das Layout von Webkarten verändern. Deshalb muss die Browserkompatibilität berücksichtigt werden. Im Weiteren bieten Webkarten die Möglichkeit, auf Datenbanken online zuzugreifen [SIEBER, 2005].

3.1.2.2 Typen von Webkarten

Webkarten sind nach [KRAAK & BROWN, 2001] entweder statisch oder dynamisch. Diese beiden Kategorien können weiter unterteilt werden in interaktive oder View-only-Karten.

Die *statische View-only-Karte* ist auf dem WWW am meisten verbreitet. Meist handelt es sich dabei um Karten, welche von einem Atlas oder einer Papierkarte gescannt und als Bitmap ins WWW gestellt wurden. Sie sind allerdings nicht speziell für das WWW gestaltet und weisen deshalb sehr hohe Bilddichten auf. *Statische interaktive Karten*, so genannte "Clickable Maps", enthalten Schnittstellen zu weiteren Daten, z. B. in Form von Karten, Bildern oder Webseiten. Die Interaktivität beruht meist auf Vergrößern, Verkleinern, Verschieben oder Anpassen des Karteninhalts. Manche Karten erlauben die freie Wahl von Symbolisierung und Einfärbung. GIF-Animationen repräsentieren *dynamischen View-only-Karten* auf dem WWW. Kartentypen, welche in Mediaplays abgespielt werden, sind etwas interaktiver. *Interaktive, dynamische Karten* werden mit Java, JavaScript oder in virtuellen Umgebungen mit VRML (Virtual Reality Modeling Language) und QuicktimeVR erstellt. Die Webseite [HARROWER URL, 2005] zeigt Beispiele von interaktive, dynamischen Karten, welche nicht nur Animationen, sondern auch Wertanzeigen sowie ein- und ausschaltbare Kartenebenen bieten.

3.1.2.3 Stand der Technik in der Webkartographie

Grundsätzlich ist es möglich, raumbezogene Daten (Geodaten) für die Benutzungsumgebung WWW kartographisch ansprechend zu visualisieren. Bei der Betrachtung von Webkarten fällt aber auf, dass es nur vereinzelt überzeugende Beispiele gibt, welche die Vorteile des WWW nutzen [RÄBER & JENNY, 2003]. Die Mehrheit der Karten ist rasterbasiert und bezüglich Kartengraphik mangelhaft umgesetzt, zum Beispiel bei der Symbolisierung und Generalisierung. Sie bieten im Allgemeinen vor allem serverseitige und nur wenig clientseitige Funktionalitäten.

Oft ist die Programmierung ästhetischer und funktioneller Benutzerschnittstellen zeitaufwändig. Nicht selten weisen aktuelle Webbrowser Einschränkungen auf. Sie verlangen beispielsweise Zusatzprogramme, so genannte Plug-Ins, die der Benutzer auf seinem Computer zuerst installieren muss. In diesem Zusammenhang ist auch die geringe Verbreitung von bestehenden Standards erwähnenswert [NEUMANN & WINTER, 2003a].

3.2 Kartographische Visualisierung von Naturgefahren

Naturgefahren haben das Potenzial Personen zu verletzen, ihr Eigentum zu beschädigen und ihre Aktivitäten zu beeinträchtigen. Diese Naturgefahren werden üblicherweise auf Gefahrenkarten visualisiert. Die Gefahrenkarte ist ein Instrument, um in einem Gebiet Risiken zu identifizieren und zu kontrollieren. Sie ist ein Dokument, das die Situation in einem bestimmten Gebiet bezüglich eines Risikos darstellt.

3.2.1 Gefahrenkarten

[CHESNEAU, 2004] hat zweihundert Gefahrenkarten aus geographischen Zeitschriften und aus dem WWW untersucht. Sie ist dabei zum Schluss gekommen, dass sich Gefahrenkarten durch grosse Heterogenität auszeichnen. Um die kartographische Umsetzung zu durchleuchten, schlägt [CHESNEAU, 2004] deshalb vor, Gefahrenkarten nach ihren drei Hauptzwecken *Informieren*, *Agieren* und *Kontrollieren* zu klassieren. Karten des *Informierens* dienen einem allgemeinen Überblick oder der Prävention. Beim *Agieren* sind Gefahrenkarten Arbeitsinstrumente bei Verhandlungen und Entscheidungen oder beim Krisenmanagement. Karten der *Kontrolle* unterstützen die Umsetzung von Vorschriften. Zum Beispiel beim Bestimmen von Gebieten, in denen nicht gebaut werden darf [CHESNEAU, 2004]. Tab. 3.1 gibt einen Überblick über den Zweck und die kartographische Umsetzung der verschiedenen Kategorien von Gefahrenkarten.

3.2.2 Aktueller Forschungsstand und Beispiele von Gefahrenkarten

Gefahrenkarten liegen meistens in gedruckter Form vor. Interaktive oder gar multimediale Benutzungsumgebungen sind selten [CHESNEAU, 2004]. Bei der Betrachtung von Gefahrenkarten auf dem WWW fällt auf, dass es sich dabei ähnlich verhält wie allgemein bei Webkarten. Meist sind sie rasterbasiert und bezüglich Kartengraphik mangelhaft umgesetzt. Im Allgemeinen bieten sie wenig Interaktivität. [CHESNEAU, 2004] Animationen und Interaktivität einzubauen. Bei den folgenden zwei Beispielen wurde dies bereits umgesetzt.

3.2.2.1 Beispiel 1: Gefahrenkarte in multimedialer Benutzungsumgebung

Im interaktiven Atlas der Schweiz 2.0 (ADS) ist die Gefahrenhinweiskarte für Steinschlag im Kanton Bern eingebettet (Abb. 3.1). Der ADS ist ein Gemeinschaftswerk des Instituts für Kartographie der ETH Zürich (IKA), des Bundesamtes für Statistik (BFS) und des Bundesamtes für Landestopographie (swisstopo). Die erste Version ist im Jahr 2000 auf CD-ROM erschienen und hat neue Standards im Bereich der interaktiven Nationalatlanten gesetzt. In der zweiten Version von 2004 stehen in einem 2D- und 3D-Teil Karten zu den Themen *Natur und Umwelt*, *Gesellschaft*, *Wirtschaft*, *Staat und Politik* sowie *Schweiz und Europa* zur Verfügung. Sie werden durch Zusatzinformationen in Form von Text, Bild und Ton ergänzt. [ADS, 2004]

Der ADS bietet Interaktivität bei der Navigation, der Visualisierung und im Bereich der Analyse. Als Informations- und Bildungsmedium richtet er sich an ein breites Publikum, insbesondere Schulen. Als Forschungsinstrument ist er für die Wirtschaft sowie für staatliche und private Institutionen und Firmen interessant. [ADS, 2004] Die Gefahrenhinweiskarte zu Gefahren- und Konfliktzonen im Zusammenhang mit Steinschlag im Kanton Bern wurde ausschliesslich

computergestützt und ohne Überprüfung im Feld generiert (vgl. Abschnitt 3.2.3). Sie hat deshalb nicht den Anspruch einer exakten Abbildung der Prozessräume, sondern bietet vielmehr einen groben Überblick über mögliche Gefahren- und Konfliktzonen. [ADS, 2004]

Zweck der Karte	Kartographische Umsetzung
Informieren: Allgemeine Information	öffentlich kleiner Massstab (Welt oder Land abgebildet) kein Hintergrund Ausdehnung des Phänomens, administrative Einheiten
Informieren: Information für die Prävention	Sensibilisierung von Bürgern und Politikern kleiner bis mittlerer Massstab Hintergrund allenfalls vorhanden Ausdehnung des Phänomens, administrative Einheiten, Schadenpotenzial
Agieren: Verhandlungs- und Entscheidungshilfe	betroffene Bevölkerung kleiner bis grosser Massstab bei amtlichen Karten Hintergrund vorhanden Ausdehnung des Phänomens, Koordinatennetz, Gewässernetz, Schadenpotenzial
Agieren: Krisenbewältigung	Beteiligte im Krisenfall kleiner bis mittlerer Massstab staatliche Karten mit Hintergrund Ausdehnung des Phänomens, Koordinatennetz, Schadenpotenzial
Kontrollieren: Reglementierung	Bürger und Politiker sehr grosser Massstab Hintergrund möglich Ausdehnung des Phänomens

Tab. 3.1: Zwecke und Umsetzung von Gefahrenkarten [CHESNEAU, 2004].

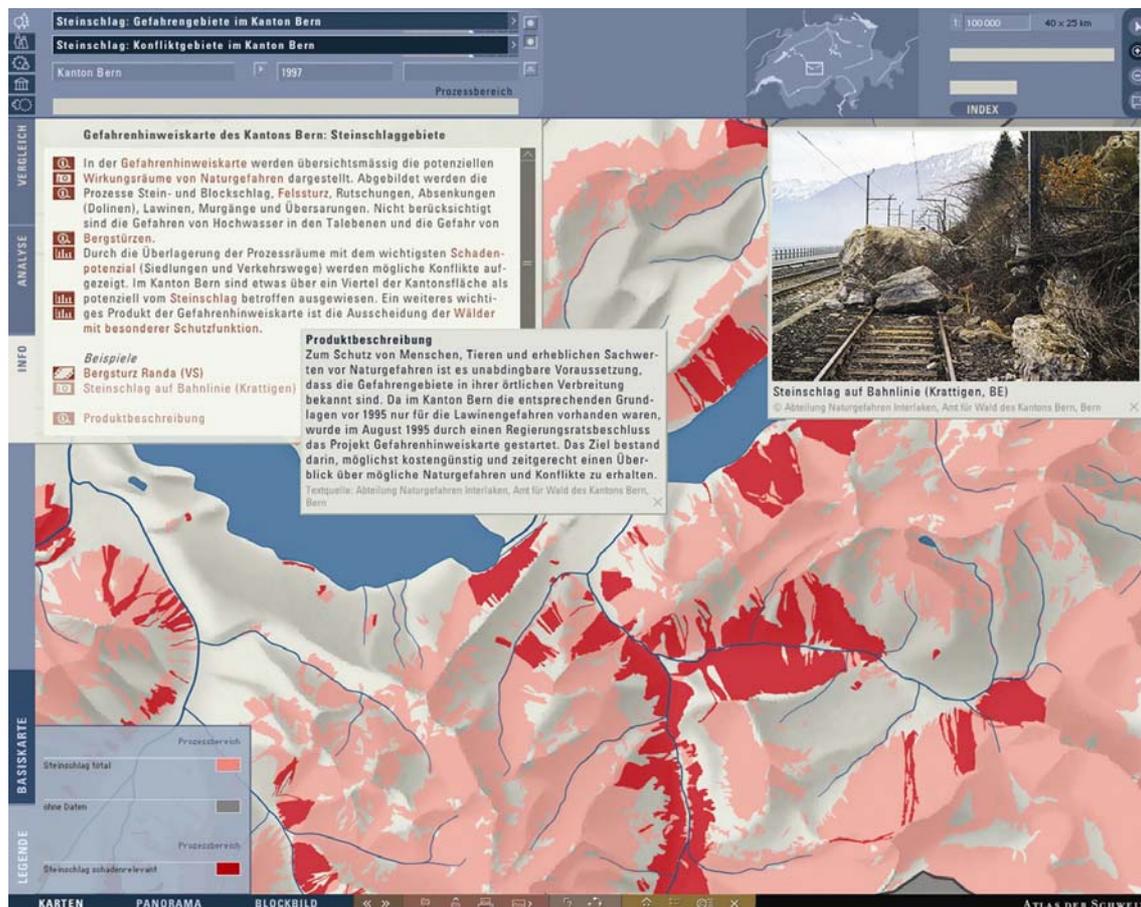


Abb. 3.1: Gefahrenhinweiskarte für Steinschlag im Kanton Bern in der Benutzungsumgebung ADS 2 [ADS, 2004].

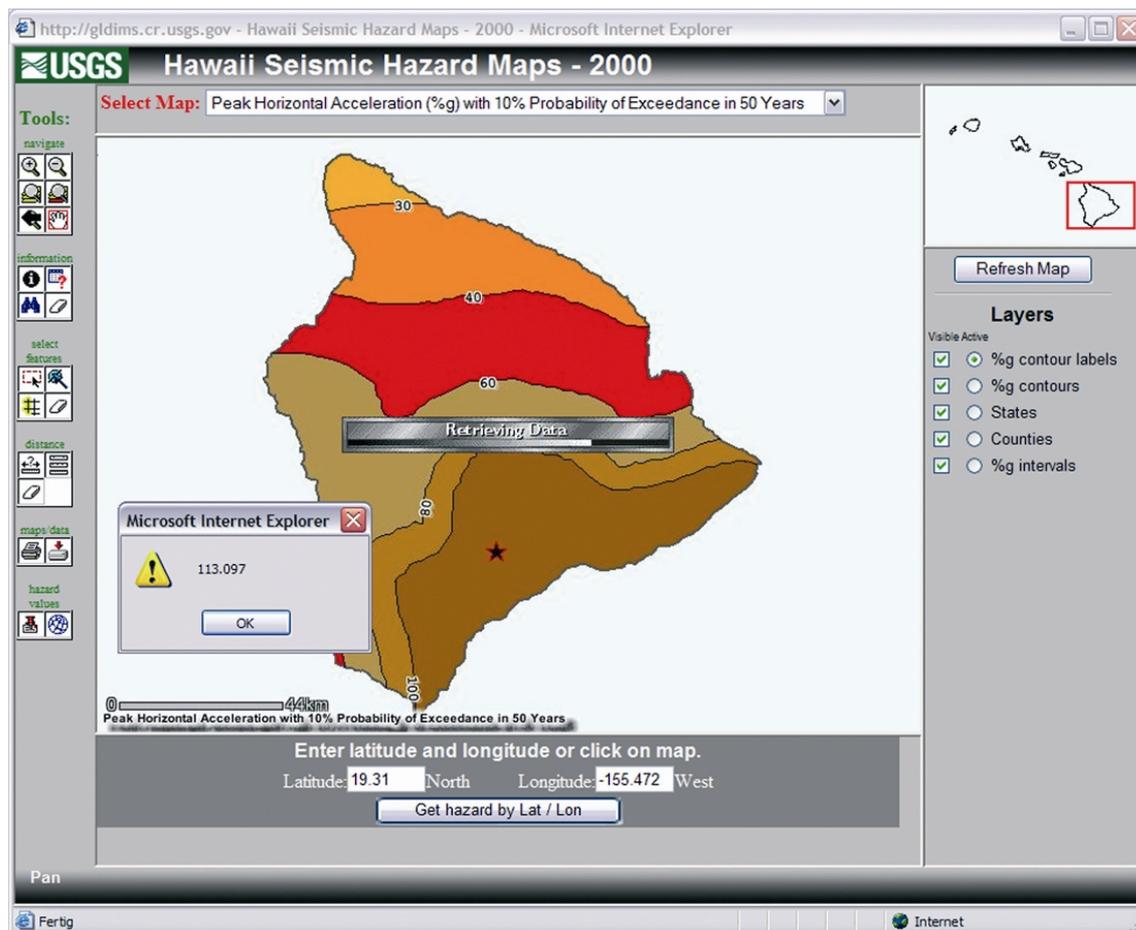


Abb. 3.2: Seismische Gefahrenkarte auf dem WWW [USGS HAZARD MAPS URL, 2005].

3.2.2.2 Beispiel 2: Gefahrenkarte in der Benutzungsumgebung WWW

Ein prominenter Anbieter von interaktiven Gefahrenkarten auf dem WWW ist der United States Geological Survey (USGS). Auf einer speziellen Homepage für Gefahrenkarten werden mehrere Applikationen zur Erdbebenwahrscheinlichkeit in den USA angeboten [USGS HAZARD MAPS URL, 2005]. Sie übertreffen durchschnittliche Gefahrenkarten auf dem Web bezüglich Interaktivität bei Weitem (Abb. 3.2). Die dargestellten Themen sind jedoch ohne Fachwissen schwer zu interpretieren. Es sind keine Legenden vorhanden und die zentralen Begriffe werden nicht direkt in der Applikation erklärt. Das Verbesserungspotential von den interaktiven Gefahrenkarten des USGS liegt demnach nicht in der Funktionalität, sondern in der Kartengestaltung und Gebrauchstauglichkeit (vgl. Abschnitt 5.2).

3.2.3 Kartographische Visualisierung für sicherheitswissenschaftliche Konzepte

Es ist im Interesse der betroffenen Bevölkerung, dass Informationen über bestehende Risiken kommuniziert werden. Dies ist zum Beispiel in der Schweiz im Waldgesetz von 1993 gesetzlich verankert [PLANAT, 2004]. Darin werden die Kantone beauftragt, Menschen und Sachwerte vor Naturgefahren zu schützen. Gefahrenkarten werden als Kommunikationsmedien zwischen den beteiligten Parteien eingesetzt. Amtliche Gefahrenkarten gewährleisten einem Staat Vergleichbarkeit zwischen betroffenen Gebieten und verschiedenen Naturgefahren. Bei

Vulkanausbrüchen erfordert die Risikoanalyse und -bewertung viel Aufwand. Um sinnvolle Resultate zu erzielen, müssen sehr viele Daten erhoben und ausgewertet werden. In diesem Fall bietet sich internationale Zusammenarbeit an. Alle Beteiligten profitieren von einem solchen Erfahrungsaustausch.

Im Folgenden werden zwei Beispiele von Gefahrenkarten in sicherheitswissenschaftlichen Konzepten erklärt. Einerseits sind das die amtlichen Gefahrenkarten der Schweiz, andererseits das GEOWARN-Frühwarnsystem für Vulkane.

3.2.3.1 Schweizer Gefahren- und Gefahrenhinweiskarten

Gefahrenerkennung, Gefahrenbeurteilung und Massnahmenplanung sind im integralen Risikomanagement der Schweiz als stufenweises Vorgehen integriert (siehe Kapitel 2) [BRP ET AL., 1997]:

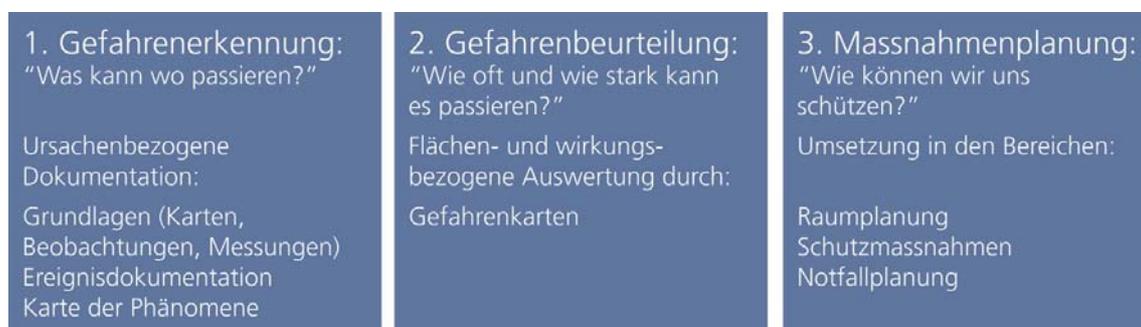


Abb. 3.3: Schweizer Naturgefahrenerfassung und Massnahmenplanung [BRP ET AL., 1997].

Bei der *Gefahrenerkennung* wird abgeklärt, warum ein Gebiet als gefährdet eingestuft werden muss. Dies geschieht auf Grund von Beobachtungen, Ereignisdokumentationen oder einer Karte der Phänomene. Die *Gefahrenbeurteilung*, bzw. die Beurteilung der Wahrscheinlichkeit und des Ausmasses eines Ereignisses, basiert auf gewichteten und gewerteten Beobachtungen. Falls nötig, wird sie durch Modellrechnungen und weiteren Untersuchungen ergänzt. Die Gefahrenkarte dient der Ermittlung von Schadenpotenzialen und als Instrument der Raumplanung. *Massnahmenplanung* ist notwendig, wenn eine Gefahr in Konflikt mit einer geplanten Nutzung steht. Massnahmen werden zur Verringerung des Schadens, der Gefahr oder zur Begrenzung des Restrisikos ergriffen. Passive Massnahmen wie die Raumplanung beeinflussen den Ablauf des Ereignisses nicht. Aktive Massnahmen haben einen punktuellen (z. B. Steinschlagnetze) oder flächendeckenden Einfluss (z. B. Schutzwaldpflege). Zu den Notfallmassnahmen zählen Frühwarnsysteme, Evakuierung und Katastrophenhilfe.

Gefahrenkarten werden in diesem Vorgehen erstellt und verwendet (Abb. 3.4) [BRP ET AL., 1997]. Sie sind das Resultat wissenschaftlicher Arbeit auf den ersten beiden Stufen. Auf der dritten Stufe unterstützen sie Entscheidungsfindungsprozesse von verschiedenen beteiligten Parteien [PETRASCHKEK & KIENHOLZ, 2003]. Diese Parteien können in zwei Hauptgruppen unterteilt werden. Die erste Gruppe benötigt generelle Informationen über grosse Gebiete. Die Politik, die regionale Raumplanung und Rückversicherungen sind an einem Überblick über die möglichen Naturgefahren interessiert. Die zweite Gruppe von beteiligten Parteien braucht detaillierte Informationen über ein beschränktes Gebiet und umfasst Schutzbehörden, Planung auf Gemeindeebene, Notfallorganisationen, Versicherungen sowie betroffene Menschen und

Unternehmen [PETRASCHKEK & KIENHOLZ, 2003]. Für diese Bedürfnisse werden zwei verschiedene Typen von Gefahrenkarten erstellt [PETRASCHKEK & KIENHOLZ, 2003]:

Gefahrenkarten i. e. S. sind detaillierte Karten zur Planung vor Ort (Massstab 1:5'000 bis 1:10'000). Da verschiedene Naturgefahren in der Schweiz existieren, werden drei verschiedene Gefahrenkarten erstellt: Gefahrenkarten für Lawinen, Gefahrenkarten für Überschwemmungen und Gefahrenkarten für Massenbewegungen. Diese Karten zeigen Gefahrenstufen oder die bauliche Eignung. Dies ist unentbehrlich für die Raumplanung und dient als Indikator, wo zusätzliche Informationen gesammelt werden sollen, falls weitere Vorsichtsmassnahmen getroffen werden müssen.

Gefahrenhinweiskarten sind Übersichts- und Indexkarten in einem kleinen Massstab (1:25'000 bis 1:100'000). Sie zeigen den Typ und die potenzielle Ausdehnung einer Naturgefahr. Meistens sind Details wie Gefahrenstufen darauf nicht eingezeichnet. Mehrere sich überschneidende Naturgefahren würden die Karte unleserlich machen. Bei Abdeckung grosser Gebiete, also bei Karten mit kleinem Massstab, ist die Genauigkeit der Gebietsabgrenzung oder Gefahrenausdehnung jedoch gering.

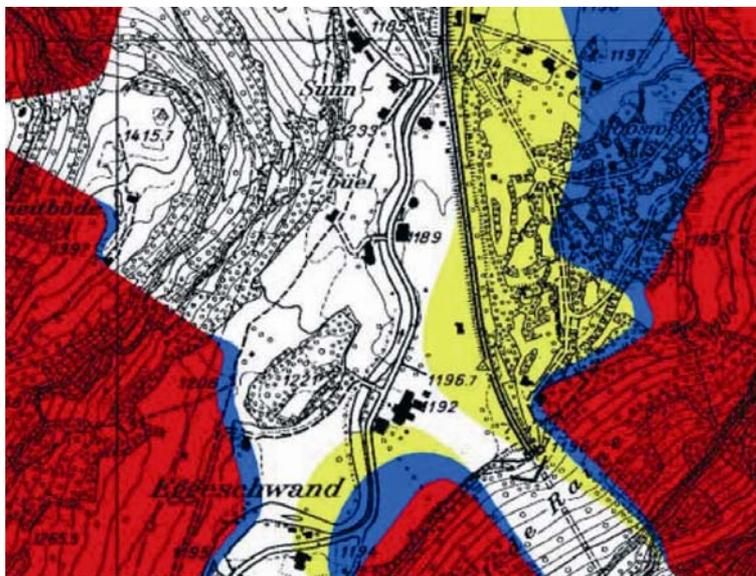


Abb. 3.4: Beispiel einer Gefahrenkarte für Lawinen. Rot bedeutet erhebliche Gefährdung, blau mittlere, gelb geringe [RYTER, 2001].

3.2.3.2 GEOWARN-Frühwarnsystem für Vulkane

GEOWARN war ein EU-Projekt des IST-Programms (Information Society Technology) mit der Laufzeit von Januar 2000 bis Juni 2003. In diesem Rahmen wurde ein Frühwarnsystem für das potenziell aktive vulkanische Feld in der griechischen Ägäis zwischen den Inseln Kos und Tilos entwickelt. Im Kontext der internationalen *Volcano Alert Levels* betrachtet, verbindet es die Stufen Grün und Gelb (vgl. Abb. 3.5). Dies beinhaltet Gefahrenabschätzung und das Informieren der Bevölkerung. Ausserdem wird ein Frühwarn-Plan erstellt. Mit der Identifizierung und Überwachung von Ereignisvorläufern soll magmatische Aktivität in der Kruste, die zu einer Vulkaneruption führen könnte, möglichst früh erkannt werden. Dadurch kann vor drohenden Eruptionen gewarnt werden. [GEOWARN URL, 2005]

Das GEOWARN-Frühwarnsystem ist ein modulares, webbasiertes und datenbankgestütztes Informationssystem. Über eine graphische Benutzerschnittstelle können Datensätze aus der

Geologie, Seismik, Geodäsie, Geochemie und Fernerkundung räumlich und zeitlich miteinander in Beziehung gesetzt werden [GOGU ET AL., 2005].

Im Fall einer Reaktivierung könnte das GEOWARN-Frühwarnsystem um eine Echtzeit-Überwachung erweitert werden. Dies würde sowohl lang- als auch kurzfristige Vorhersagen über einen Vulkanausbruch möglich machen. Bei den *Volcano Alert Levels* entspräche dies den Stufenübergängen Gelb zu Orange und Orange zu Rot. [GEOWARN URL, 2005]

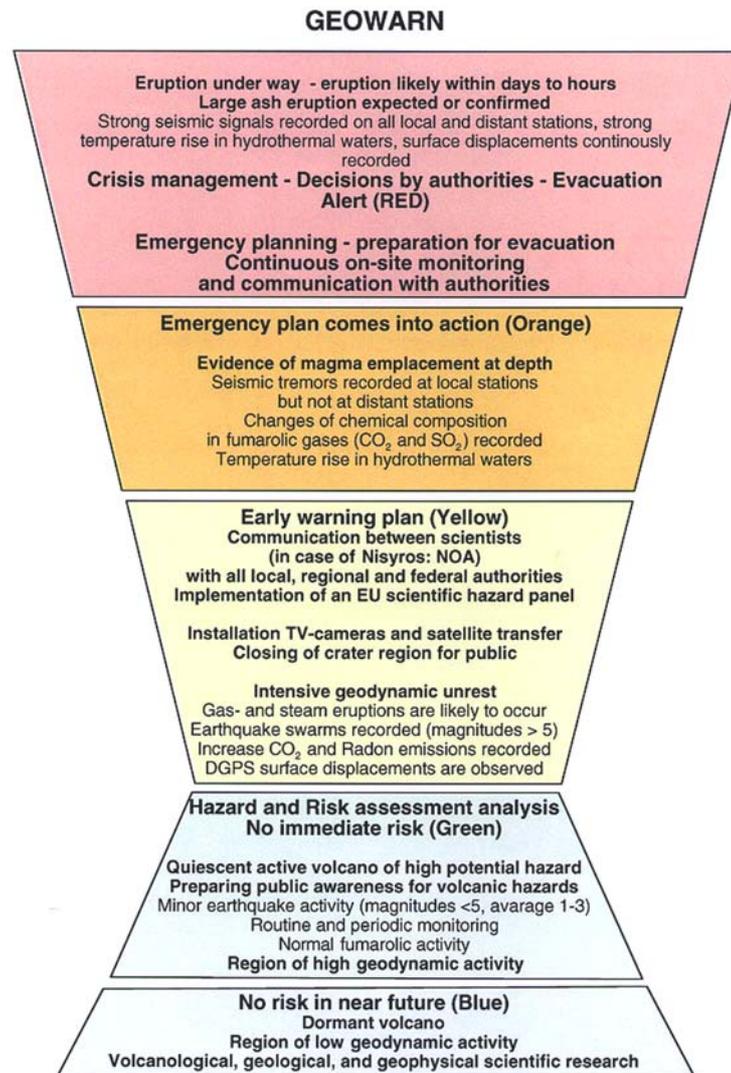


Abb. 3.5: Volcano Alert Levels [GEOWARN SYNTHESI, 2003].

Eine spezielle GEOWARN-Software soll dem Benutzer des Systems die Beurteilung von vulkanischen und seismischen Gefahrenphänomenen, Entscheidungsfindungsprozesse, Risikostudien und Notfallplanung erleichtern. Die GEOWARN-Software bietet interaktive Werkzeuge zur Navigation und Analyse an, also Werkzeuge zur Suche, Messung und Abfrage des Karteninhalts, Rasteranalyse, Fumarolenanalyse, Profilerzeugung und Tomographie. [GEOWARN URL, 2005]

Potenzielle Benutzer dieses Frühwarnsystems sind Behörden, die sich mit der Gefahrenbeurteilung befassen müssen, internationale vulkanologische und seismologische Kommissionen und Organisationen sowie private Unternehmen [GEOWARN URL, 2005]. Das System umfasst

ausserdem Anschauungsmaterial, das der betroffenen Bevölkerung zugänglich ist. Es wurde zuerst für das vulkanische Feld in der südlichen Ägäis entwickelt. Später wurde es auch an die Situation der phlegäischen Felder mit dem Vulkan Vesuv in Italien angepasst. Während sich in der Region um Kos und Nisyros jährlich etwa 1 Million Menschen aufhalten, besiedeln mehr als 3 Million Menschen die Umgebung von Neapel. Informations- und Frühwarnsysteme sind hier also von grosser Bedeutung in Bezug auf soziale und ökonomische Aspekte, Tourismus, Landnutzung, Raumplanung, Umweltschutz und Notfallmassnahmen. [GEOWARN SCHLUSSBERICHT 15, 2005]

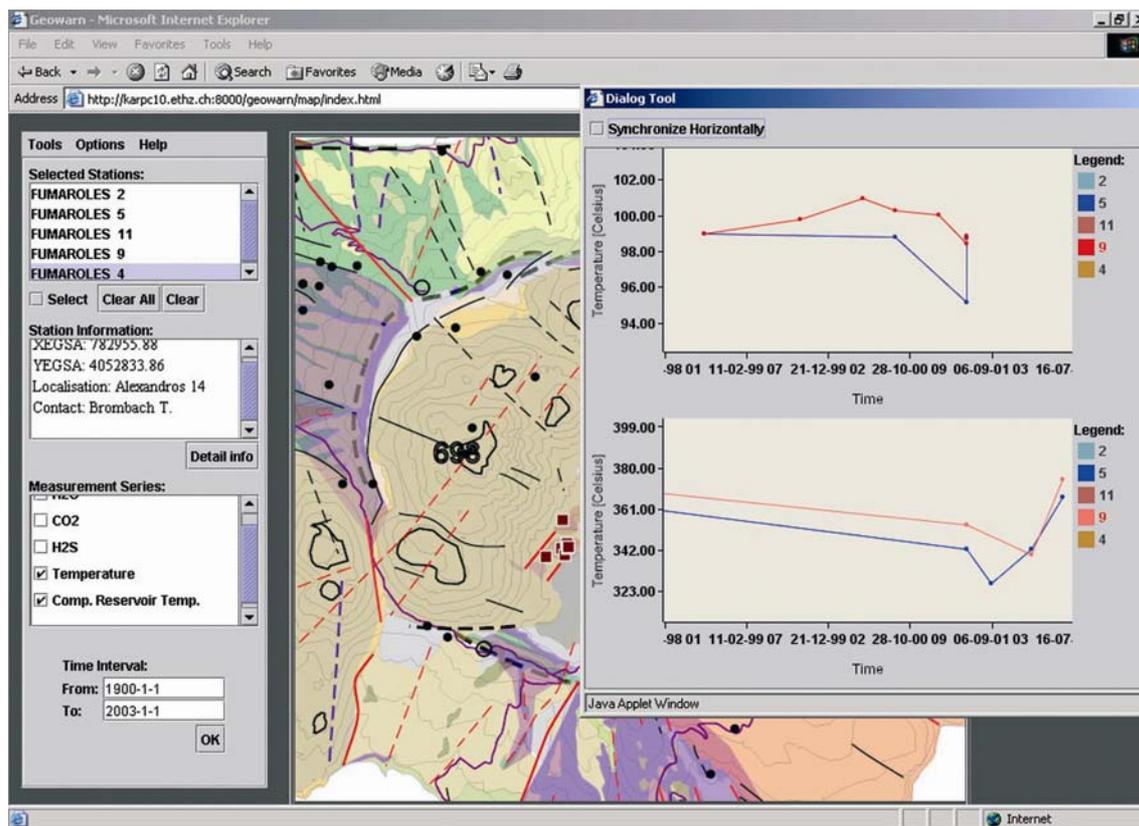


Abb. 3.6: Benutzerschnittstelle des GEOWARN-Frühwarnsystems [GEOWARN URL, 2005].

4 Vulkaninsel Nisyros

Die griechische Vulkaninsel Nisyros ist das Gebiet, welches in der Webapplikation dieser Diplomarbeit dargestellt wird. Ihre Situation bezüglich Naturgefahren ist das Thema dieses Kapitels. Ihre tektonische Lage und die geologische Entstehungsgeschichte bilden den allgemeinen Rahmen. Die Abschnitte über die aktuelle geodynamische Aktivität und die Reaktivierung der vulkanischen Aktivität erklären, welche Naturgefahren auf Nisyros möglich sind. Das Phänomen Massenbewegung wird genauer erläutert, da es im Zentrum der Webapplikation ist. Zum Schluss geht es um das Erkennen und Beurteilen einer allfälligen Reaktivierung von vulkanischer Aktivität. Dieser Abschnitt beinhaltet einen Überblick über die Datengrundlage des GEOWARN-Frühwarnsystems.

4.1 Nisyros im vulkanischen Inselbogen der Südägäis

Die griechische Insel Nisyros gehört zur dodekanischen Inselgruppe in der südöstlichen Ägäis vor der türkischen Südwestküste. Sie ist ungefähr 42 km² gross, hat einen kreisförmigen Grundriss mit einem Basisdurchmesser von ungefähr 8 km und erreicht eine maximale Höhe von 698 m [GEOWARN SYNTHese, 2003]. Sie ist von vier kleinen Nachbarinseln umgeben. Yali ist die grösste von ihnen, gefolgt von Pyrgousa, Pahia und Strongyli [VOUGIOUKALAKIS, 1998].

Nisyros ist ein Stratovulkan, der in seiner Form einem Kegelstumpf gleicht. Im Inselzentrum befindet sich eine Caldera mit einem Durchmesser von etwa 4 km [VOUGIOUKALAKIS, 1998]. In der Caldera erheben sich vulkanische Dome. Ausserdem enthält sie ein Feld von mehreren hydrothermalen Explosionskratern und Fumarolen. Pyroklastisches Gestein und Laven sind der Hauptbestandteil des geologischen Aufbaus [GEOWARN SYNTHese, 2003].

Nisyros befindet sich am östlichen Ende des südägäischen Inselbogens. Diese Region ist stark von Vulkanismus geprägt. Grund für die geodynamische Aktivität sind konvergente Plattenbewegungen. Die afrikanische Platte schiebt sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 4 cm im Jahr in nordöstlicher Richtung unter die ägäische Platte. Dies zeigt Abb. 4.1. Diese Subduktion produziert im Erdmantel Magma, welches dann in höhere Regionen der Erdkruste aufsteigt. In Magmakammern sammelt es sich und – falls eine Verwerfung die darüber liegende Kruste durchdringen kann – findet den Weg an die Oberfläche. In der südlichen Ägäis begann die Subduktion vor etwa 15 Millionen Jahren südlich der heutigen Insel Kreta [VOUGIOUKALAKIS, 1998]. Sie hat in der spröden Kruste Horst- und Grabenstrukturen geschaffen [GEOWARN SCHLUSSBERICHT 11, 2003]. Einer dieser Horste erstreckt sich westwärts von der im Osten von Nisyros gelegenen Halbinsel Datça aus und bildet vermutlich das Fundament der Insel Nisyros [HIGGINS & HIGGINS, 1996].

Im vulkanischen Feld zwischen Kos, Yali, Nisyros und Tilos verlaufen zwei Hauptverwerfungssysteme. Das nördlichere bildet den südlichen Rand des Kos-Horsts und das südlichere den nördlichen Rand des Tilos-Horsts. Dazwischen liegt der Graben von Nisyros und seinen Nachbarinseln. Er ist geprägt von mehreren Nebenbrüchen, die eine interne Horststruktur bilden. [GEOWARN SCHLUSSBERICHT 10, 2003]

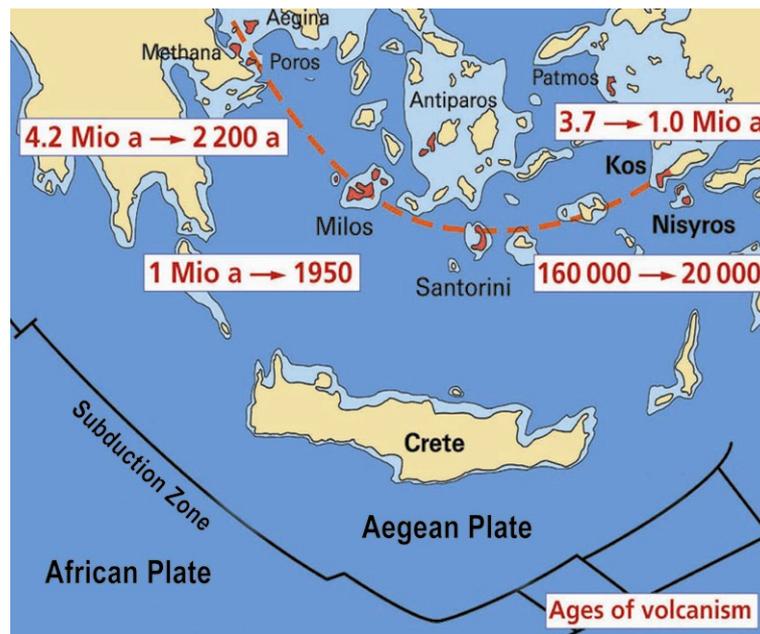


Abb. 4.1: Nisyros im Inselbogen der Südägäis und Phasen vulkanischer Aktivität [GEOWARN Schlussbericht 11, 2003, veränd.].

4.2 Geologische Entstehung

Vor ungefähr 160'000 Jahren ging die grösste Eruption des östlichen Mittelmeerraums von einem prähistorischen, vulkanischen Feld in der Region um Yali aus. Sie zerstörte die ganze dodekanische Inselgruppe [GEOWARN SYNTHese, 2003]. Nisyros war damals ein Unterwasservulkan und Teil dieses vulkanischen Feldes [VOUGIOUKALAKIS, 1998]. Bis vor ungefähr 100'000 Jahren flossen basaltische und andesitische Laven entlang der Schwächezonen des Kos-Horst-Graben-Systems zwischen Kondelousa und der türkischen Küste aus. Sie schichteten sich zum vulkanischen Fundament von Nisyros auf. Die untersten Schichten des Nisyros-Vulkankegels bilden heute submarine Kissenlaven, die allmählich in subaerische Laven und pyroklastisches Gestein übergehen [GEOWARN SYNTHese, 2003].

In den folgenden 50'000 Jahren wuchs ein 500 bis 700 m hoher Stratovulkan mit der typischen Wechsellagerung von basaltischen, andesitischen, dazitischen und rhyodazitischen Laven, pyroklastischen Ablagerungen und Tuffen. Heute findet man diese Formationen an den nordwestlichen, südlichen und nordöstlichen Hängen der Insel. [GEOWARN SYNTHese, 2003]

Eine plinianische Eruption, die stratosphärische Höhen erreichte, formte vor ungefähr 30'000 bis 20'000 Jahren die heutige Caldera. Dabei wurde die ganze Insel von pyroklastischen Strömen überrollt und von Bimsablagerungen bedeckt. Über die Südosthänge ergossen sich rhyolitische Laven. Auf einer geringen Tiefe von einigen Kilometern sammelte sich unter der Insel eine grosse Menge Magma an. Dies führte zur Entstehung eines hydrothermalen Systems. Später kollabierte der Vulkan und hinterliess eine Caldera, die mehrere Hundert Meter tief war. Ihr Durchmesser betrug 4 bis 5 km. Nach einer Ruhephase folgte vor 20'000 bis 15'000 Jahren eine zweite plinianische Eruption. Dabei wurde an den Nordhängen der Insel eine weitere Schicht Bimsstein abgelagert. [GEOWARN SYNTHese, 2003]

Durch Ausfluss zähflüssiger Laven entlang des von Südosten nach Nordwesten verlaufenden Verwerfungssystems im zentralen und südöstlichen Teil der Insel entstanden die vulkanischen

Dome. Sie nehmen heute zwei Drittel der Calderafläche ein. Der 698 m hohe Prophet-Ilias-Dom ist die höchste Erhebung der Insel. [GEOWARN SYNTHese, 2003]

4.3 Aktuelle geodynamische Aktivität

Auch wenn die letzte vulkanische Aktivität auf Nisyros etwa 25'000 Jahre zurückliegt, ist der Nisyros-Vulkan nach wie vor potenziell aktiv [GEOWARN SYNTHese, 2003]. Die aktuelle geodynamische Aktivität der Insel wird zu einem grossen Teil durch ein hydrothermales System in deren Untergrund verursacht: Thermalquellen an der Küste und hydrothermale Explosionen sowie Fumarolen im Kraterfeld. Ausserdem werden auf Nisyros seismische Unruhen registriert.

4.3.1 Hydrothermale Explosionen

In der Nisyros-Caldera haben Explosionen des hydrothermalen Systems mehrere Krater geformt (Abb. 4.2 und 4.3), den jüngsten erst 1883. Solche Dampf- und Gasexplosionen werden durch ein oberflächennahes, hydrothermales System in einer Caldera oder in deren unmittelbaren Nähe verursacht. Sie treten auf, wenn frisches, heisses Magma einer tiefer gelegenen Magmakammer einer seichteren Kammer zugeführt wird. Dort setzt das Magma in Folge eines geringeren lithostatischen Drucks Gase frei und gibt sie an das umgebende hydrothermale System weiter [GEOWARN SYNTHese, 2003].

4.3.2 Fumarolen und Thermalquellen

Auf Nisyros kommen zwei verschiedene Arten von fumarolischer Aktivität vor [GEOWARN SYNTHese, 2003]: einerseits Fumarolen, andererseits brodelnden Schlammlöcher in den hydrothermalen Explosionskratern Stephanos und Polyvotis. *Fumarolen* sind Risse in den Kraterwänden und entlang von Verwerfungszonen. Aus ihnen entweichen CO₂-, H₂- und CH₄-haltige Gase. Eine typische Fumarolenöffnung wie auf Abb. 4.4 ist etwa 10 cm gross und mit frischen Schwefelkristallen bedeckt. Die *Schlammlöcher* weisen pH-Werte zwischen 1,5 und 3 und Temperaturen nahe bei 100° C auf. Sie sind bis 1 m breit und von saisonalem Niederschlag und Luftfeuchtigkeit abhängig. Siehe Abb. 4.5.

Alle zwölf *Thermalquellen* befinden sich auf Meereshöhe entlang der Küste von Nisyros. Das austretende Wasser ist entweder magmatischen, meteorischen oder marinen Ursprungs und zwischen 30 bis 60 °C heiss. Die verschiedenen chemischen Zusammensetzungen und Temperaturen der Fumarolen und Thermalquellen lassen darauf schliessen, dass das hydrothermale System von Nisyros von zwei verschiedenen Aquiferen in unterschiedlichen Tiefen genährt wird, oberflächennah und in grösserer Tiefe [GEOWARN SYNTHese, 2003]. In Abb. 4.6 ist das hydrothermale System von Nisyros schematisch dargestellt.

4.3.3 Seismische Aktivität

Historische Aufzeichnungen aus den Jahren 1830, 1871 bis 1873, 1887, 1953, 1961, 1968 bis 1971 und 1995 bis 1998 zeigen, dass Erdbeben auf Nisyros ein bekanntes Phänomen sind. Sie treten gehäuft über mehrere Tage oder über zwei bis drei Jahre auf. Der Ursprung dieser

Erdbeben liegt möglicherweise in regionalen, tektonischen Prozessen, im Aufstieg von Magma, in Entgasungsphänomenen von tief gelegenem Magma in der Kruste oder in Dampfexplosionen im hydrothermalen System [GEOWARN SCHLUSSBERICHT 11, 2003].



Abb. 4.2: Kraterfeld der Nisyros-Caldera (Teil 1) [DIETRICH, 2005b].



Abb. 4.3: Kraterfeld der Nisyros-Caldera (Teil 2) [DIETRICH, 2005b].



Abb. 4.4: Brodelndes Schlammloch [GEOWARN SCHLUSSBERICHT 11, 2003].



Abb. 4.5: Typische Fumarolenöffnung [GEOWARN SCHLUSSBERICHT 11, 2003].

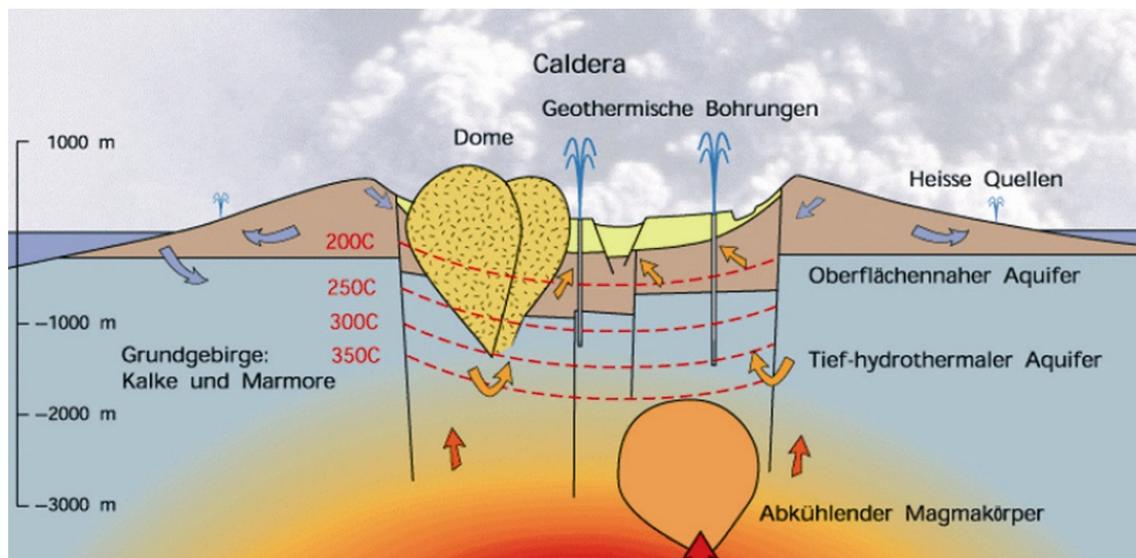


Abb. 4.6: Schematische Darstellung des hydrothermalen Systems [FREIMARK, 2002].

Die jüngste seismische Aktivität auf Nisyros wurde in den Jahren 1996 und 1997 verzeichnet. Im Juni 1996 wurden durch Erdbeben der Stärken 4 bis 5 auf der Richterskala in Mandraki, dem Hauptort von Nisyros, etwa 30 Häuser zerstört. Im Juli 1997 wurde erneut hohe seismische Aktivität registriert, diesmal nicht nur auf Nisyros, sondern im ganzen vulkanischen

Feld zwischen Kos und Tilos. Die Erdbeben mit einer Magnitude von bis zu 5.5 auf der Richterskala und 150 km tiefen Hypozentren wurden zudem begleitet von intensiver Fumarolenaktivität im Kraterfeld von Nisyros [GEOWARN SYNTHese, 2003].

4.4 Reaktivierung vulkanischer Aktivität

Auf Grund der seismischen Krise von 1996 und 1997 wurden während dem GEOWARN-Projekt die Krustendeformation und der Aufstieg von Magma in der Kruste untersucht. Diese haben ergeben, dass zur Zeit keine Reaktivierung der vulkanischen Aktivität zu erwarten ist. Sie kann aber auch nicht vollständig ausgeschlossen werden. [LAGIOS ET AL., 2001]

Im Fall einer Reaktivierung der vulkanischen Aktivität drohen der Insel Nisyros mehrere Naturgefahren. Im Zusammenhang mit Nisyros und dem restlichen vulkanischen Feld unterscheidet man zwischen primären und sekundären Naturgefahren. Zu den primären zählen Erdbeben, Vulkaneruptionen und hydrothermale Explosionen. Erdbeben und Vulkaneruptionen können Massenbewegungen und Tsunamis auslösen. Diese werden als sekundäre Naturgefahren bezeichnet [GEOWARN SCHLUSSBERICHT 13, 2003]. Im Einzelnen sind das folgende Phänomene [GOGU ET AL., 2005]:

- Hydrothermale Gas- und Dampferuptionen im Kraterfeld von Nisyros
- Seismische Aktivität auf Grund regionaler, tektonischer Bewegungen
- Seismische Aktivität magmatisch-tektonischen Ursprungs im Zusammenhang mit Unruhen in der Erdkruste.
- Vulkanische Eruption
- Erdbeben und Tsunamis ausgelöst durch Erdbeben, magmatische und vulkanische Aktivität

Naturkatastrophen im Zusammenhang mit vulkanischer Aktivität können folgende sozialen und ökonomischen Konsequenzen haben [GEOWARN SCHLUSSBERICHT 15, 2003]:

- Verlust von Menschenleben
- Schäden an Siedlungen und Infrastruktur
- Zerstörung von natürlichen Rohstoffen und der Umwelt
- Verlust von Wohnraum, vorübergehende und/oder permanente Migration
- Beeinträchtigung der industriellen und/oder landwirtschaftlichen Produktion
- Beeinträchtigung des Handels, Beeinflussung von Börsen
- Panik, soziale Zerrissenheit, z. B. Verlust von, Sicherheit und Kontrolle

4.4.1 Massenbewegungen und Hangstabilität auf Nisyros

Um Massenbewegungen auf Nisyros und ihre Prozessräume zu identifizieren wurde für das GEOWARN-Frühwarnsystem eine Hangstabilitätskarte erstellt [GEOWARN SCHLUSSBERICHT 13, 2003]. Die Datengrundlage und die geomorphologischen Bedingungen auf Nisyros waren ausschlaggebend für ein qualitatives Verfahren. [GOGU, 2005] hat dieses Verfahren beschrieben: Es wird zuerst festgelegt, welche geologischen, vulkanischen und morphologischen Bedingungen welchem Stabilitätsgrad entsprechen. Danach wird – meist in einem Überlagerungsverfahren – das Untersuchungsgebiet gemäss den ausschlaggebenden Kriterien

analysiert und aufgeteilt. Bei der GEOWARN-Hangstabilitätskarte wurden folgende Daten verwendet:

- Geologie
- Vulkanische Strukturen
- Tektonische Merkmale

Die Analyse der Hangstabilität auf Nisyros wurde in einer Auflösung von 10 m durchgeführt. Dafür waren vor allem zwei Parameter entscheidend: die Hangneigung und die Geologie.

Parameterkarte der Hangneigung: Mit Hilfe des Softwarepakets ArcGIS der Firma ESRI wurde die Hangneigung von einem DHM abgeleitet. Die implementierte Funktion berechnet die maximale Veränderungsrate eines Zellenwertes zu den Werten seiner acht Nachbarzellen. Das Resultat wurde dann auf Grund von Erfahrungen bezüglich der geomorphologischen Situation in vier Klassen unterteilt: 0 bis 15°, 15 bis 30°, 30 bis 50° und über 50°.

Parameterkarte der Geologie: Die geologischen Formationen wurden zwei geotechnischen Klassen zugeteilt: weichem, pyroklastischem oder hartem Gestein wie Laven und Dome. Die resultierenden Vektordaten wurden gerastert. Regionen mit Geröll, Schutthalden oder Steinschlag wurden ebenfalls aus den geologischen Formationen extrahiert, aber separat gerastert.

Karte der Parameterkombination: In diesem Schritt wurden die Parameterkarten der Hangneigung und der geotechnischen Klassen überlagert. Die resultierenden acht Klassen wurden in vier Kategorien aufgeteilt:

- Pyroklastisches Gestein mit tiefem Gefahrenpotenzial und tiefer Stabilität
- Pyroklastisches Gestein mit hohem Gefahrenpotenzial und sehr tiefer Stabilität
- Laven und Dome mit tiefem Gefahrenpotenzial
- Laven und Dome mit tiefem Gefahrenpotenzial und Instabilität

Dieses Resultat wurde zum Schluss nochmals mit den Regionen mit Geröll, Schutthalden oder Steinschlag überlagert, wo die Hangstabilität unabhängig von der Hangneigung niedrig ist. Für die endgültige Hangstabilitätskarte wurde das Resultat aus der Analyse mit vulkanischen und tektonischen Merkmalen ergänzt: hydrothermale Krater, vulkanische Dome, morphologische Diskontinuitäten und Verwerfungen. Mit Hilfe dieser Hangstabilitätskarte (Abb. 4.7) wurden vier Hauptgefahrenelemente identifiziert [GEOWARN SCHLUSSBERICHT 13, 2003]:

- Im Norden, Nordosten und Süden der Insel befinden sich drei kritische Zonen, in denen vorwiegend weiches pyroklastisches Gestein vorkommt. Erdbeben könnten dort Steinschlag oder Erdrutsche auslösen. Ausserdem bieten morphologische Depressionen ideale Bahnen für Aschenströme. Im Norden befinden sich der Hauptort Mandraki und die Dörfer Pali und Emporio. Das Land im Nordosten und Süden wird vor allem landwirtschaftlich genutzt.
- Starke Erdbeben könnten an den steilen Kraterinnenwänden Steinschlag auslösen.
- In der Caldera befindet sich ein Kraterfeld. Die letzte hydrothermale Explosion fand erst 1883 statt.
- Im nordöstlichen Teil von Nisyros und speziell im älteren Stadtteil von Mandraki gibt es einen Gesteinsblock, der ursprünglich aus der Erdkruste stammt. Er befindet sich genau zwischen den zwei Hauptverwerfungssystemen und wurde während der seismischen Krise von 1996 und 1997 stark beschädigt. Siehe Abb. 4.9.

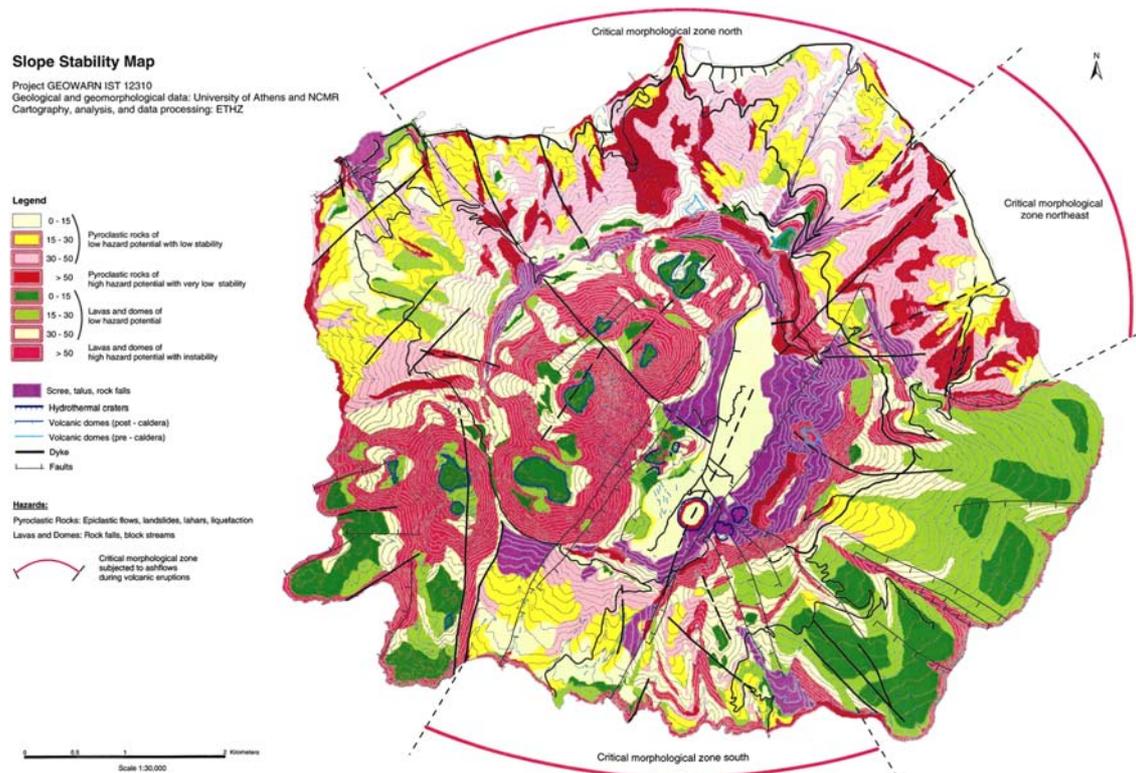


Abb. 4.7: GEOWARN-Hangstabilitätskarte von Nisyros [GEOWARN SCHLUSSBERICHT 13, 2003].

4.4.2 Mögliche Massenbewegungen auf Nisyros

Im folgenden Abschnitt werden einige Beispiele für mögliche Massenbewegungen auf Nisyros aufgezeigt. Diese Informationen stammen einerseits aus [GEOWARN SCHLUSSBERICHT 13, 2003], andererseits aus einem mündlichen Interview mit einem Mitglied des GEOWARN-Konsortiums: Prof. V. Dietrich vom Institut für Mineralogie und Petrographie der ETH Zürich.

Die hydrothermalen Explosionskrater in der Caldera weisen steile Wände auf, an denen bei seismischer Aktivität Steinschlag und Rutschungen auftreten können (siehe dazu Abb. 4.8) [DIETRICH, 2005a]. Sie sind eine Touristenattraktion. Besucher halten sich nicht nur in unmittelbarer Nähe der Krater auf, sondern steigen auch in sie hinein.

Entlang der beiden Hauptverwerfungssysteme, die quer durch die ganze Insel verlaufen und sich im Zentrum kreuzen, könnte ebenfalls Steinschlag ausgelöst werden [GEOWARN SCHLUSSBERICHT 13, 2003]. Dies ist in der Altstadt von Mandraki der Fall. (Abb. 4.9).

Abb. 4.10 und 4.11 zeigen, dass sich die inneren Wände und Felsen des Kraterandes durch grosse Steilheit auszeichnen. Ein Erdbeben vermag Gesteinsmaterial zu lösen und Steinschlag zu verursachen [GEOWARN SCHLUSSBERICHT 13, 2003].

An mehreren Stellen auf der Insel Nisyros selbst zeigen sich Anzeichen von Rutschungen, so zum Beispiel östlich von Pali (Abb. 4.12). Unterhalb der betroffenen Hänge befinden sich Häuser [DIETRICH, 2005a].

In der Nähe von Pali im Norden von Nisyros befinden sich ehemalige Steinbrüche, in denen Bimsstein abgebaut wurde (Abb. 4.13). Dieser Abbau könnte die darüber liegenden Hänge destabilisiert haben. Bekräftigt wird diese Vermutung durch Anzeichen von Rutschungen im oberen Teil des Hanges [DIETRICH, 2005a].



Abb. 4.8: Wand eines hydrothermalen Kraters in der Caldera [DIETRICH, 2005b].



Abb. 4.9: Hauptverwerfungssystem in Mandraki [GEOWARN SCHLUSSBERICHT 11, 2003].



Abb. 4.10: Kraterrand der Caldera [DIETRICH, 2005b].



Abb. 4.11: Steile Caldera-Innenwände [DIETRICH, 2005b].



Abb. 4.12: Hänge bei Pali mit Anzeichen von Rutschungen [DIETRICH, 2005b].



Abb. 4.13: Steinbruch östlich von Pali [DIETRICH, 2005b].

4.5 Beurteilung der Reaktivierung vulkanischer Aktivität auf Nisyros

Der erste Schritt beim Erkennen und Beurteilen einer Reaktivierung vulkanischer Aktivität auf Nisyros ist das Identifizieren und Beobachten von Vorläufern. Signifikante Änderungen verschiedener Parameter deuten auf ein bevorstehendes Ereignis hin. Lang- und kurzfristige Prognosen über eine Vulkaneruption erfordern Echtzeit-Überwachung [GEOWARN SYNTHESE, 2003].

Generell kann in ruhigen, vulkanischen Regionen wie dem vulkanischen Feld zwischen Kos und Tilos die Reaktivierung vulkanischer Aktivität an einer Zunahme von Erdbeben erkannt werden. Es folgen ein Temperaturanstieg sowie Änderungen in der chemischen und isotopischen Zusammensetzung von Gasen und Wässern in Fumarolen und Thermalquellen. In den meisten Fällen werden Wochen und Monate vor dem Beginn der vulkanischen Aktivität grosse, tektonische Erdbeben registriert. Diese Phänomene wurden vor nicht allzu langer Zeit bei zahlreichen schlafenden Vulkanen in ähnlichen geotektonischen Umgebungen beobachtet: Santorini vor 3640 Jahren, Vesuv 79 n. Chr., Columbos nordöstlich von Santorini 1650, Krakatau 1883, Mount St. Helens 1980 und Pinatubo 1990 [GEOWARN SCHLUSSBERICHT 13, 2003].

4.5.1 Datengrundlage des GEOWARN-Frühwarnsystems

Das GEOWARN-Frühwarnsystem (vgl. Abschnitt 3.2) ermöglicht es, die Vorläufer vulkanischer Aktivität auf Grund vieler verschiedener Parameter zu erkennen. Dazu sind geographische, geologische, geophysikalische und geochemische Daten des ganzen vulkanischen Feldes und dessen Untergrundes notwendig. Tab. 4.1 zeigt einen Überblick über die umfassende Datengrundlage des GEOWARN-Projekts. Im Fall einer Reaktivierung wäre es möglich, die Echtzeit-Überwachung in das Frühwarnsystem zu implementieren [GEOWARN SYNTHESE, 2003].

Die lokalen und regionalen digitale Höhenmodelle (DHM) liegen im Rasterformat in verschiedenen Auflösungen vor. Grundlage für das DHM der Inseln Kos, Yali, und Tilos waren topographische Karten des Hellenic Military Topographic Service im Masstab 1:50'000. Für Nisyros wurde aus der gleichen Karte ein DHM mit einer Auflösung von 2 m abgeleitet. Das DHM der Bathymetrie wurde vom griechischen National Center of Marine Research im Jahr 2000 aufgenommen [GOGU ET AL., 2005].

Topographische Daten beinhalten Konturen, Strassen, Gebäude, Höhenkoten und Namen, die als geometrische Vektordaten mit Attributtabelle gespeichert sind. Auf diese Weise liegen auch die Landnutzungsdaten vor. Es handelt sich dabei um Polygone, die mit den Landnutzungsmerkmalen mittels Attributtabelle verknüpft sind [GOGU ET AL., 2005].

Die geologischen Karten und vulkanischen Strukturen sind als Polygone und Linien im Vektorformat und mit Attributtabelle modelliert. Dazu gehören lithologische Einheiten und tektonische Erscheinungen wie Kraterränder, Verwerfungen sowie Spalten und Risse mit allfälliger fumarolischer oder effusiver Tätigkeit [GOGU ET AL., 2005].

Lithologische Einheiten des vulkanischen Feldes von Kos–Yali–Nisyros–Tilos in der tektonischen Datengruppe enthalten. Die Neotektonik fasst geomorphologische Merkmale wie Erdbeben, Steinschlag oder Hangmuren sowie tektonische Merkmale wie aktive Verwerfungen und Spalten zusammen. Beide Datengruppen liegen als Vektordaten mit Attributtabelle vor [GOGU ET AL., 2005].

Zum seismischen Datensatz gehören die Messstationen der Seismikexperimente in den Jahren 2000 bis 2002. Sie sind verbunden mit den dabei erfassten Erdbeben-Hypozentren mit einer Magnitude unter 4. Ausserdem sind historische Hypozentren von Erdbeben stärker als Magnitude 3 zwischen 1911 bis 2003 aufgeführt. Die Seismikstationen sind Punkte im Vektorformat, die mit Attributtabelle verbunden sind [GOGU ET AL., 2005].

Das Geschwindigkeitsmodell der seismischen Sondierung ist in verschiedenen Querprofilbildern dargestellt. Die Bilder sind mit den korrespondierenden Oberflächenlinien verbunden. Die Schiesspunktlinien der Seismikexperimente sowie die Bahnen der Schiffsführung wurden ebenfalls erhoben. Die Tomographie ist ein dreidimensionales, würfelförmiges Modell der Geschwindigkeiten aus der seismischen Sondierung. Von den Flächen gleicher Geschwindigkeiten lassen sich z.B. Grenzen von geologischen Einheiten ableiten. Zusätzlich existieren Querprofilbilder, die mit ihren Oberflächenlinien verbunden sind [GOGU ET AL., 2005].

Magnetismus- und Gravitationsdaten sind ähnlich strukturiert. Messpunkte sind mit einer Tabelle verbunden, wo für jede Station Koordinaten, Datum, Zeit und der korrespondierende Gravitations- oder Magnetismuswert registriert ist. Aus den Vektordaten wurden Interpolationen in Rasterform abgeleitet. Die Daten der Erddichte wurden von den Gravitationsdaten abgeleitet. Dabei wurden auch die Geschwindigkeiten der seismischen Sondierung berücksichtigt. Das Resultat ist ein dreidimensionales Dichtemodell mit interpretierten Dichtequerprofilen [GOGU ET AL., 2005].

In der Geochemie-Datengruppe werden Fumarolen, Quellen, geothermische Bohrlöcher und Brunnen als Punkte dargestellt. Sie sind mit zeitabhängigen, geochemischen Informationen wie Temperatur, pH-Wert, chemische Zusammensetzung oder Bodentemperatur verknüpft. Diese interpolierten Messwerte liegen zusätzlich in Rasterform vor [GOGU ET AL., 2005].

Die GPS-Daten wurden in mehreren Feldstudien mit geodätischen Vermessung ermittelt. Für mehrere GPS-Stationen liegen nun horizontale X- und Y-Werte und vertikale Z-Werte vor. Damit wurde die Verschiebung der Oberfläche festgestellt. Die GPS-Stationen sind im Vektorformat als Punkte gespeichert und mit Attributtabelle verknüpft [GOGU ET AL., 2005].

Die Bilder aus der Interferometrie wurden verwendet, um die Deformation der Insel Nisyros zu messen. Sie wurden mit den GPS-Messungen kombiniert und mit dem DHM orthorektifiziert. Es existieren zwei Interferogramme für die Zeitspannen 1996 bis 1999 und 1999 bis 2000 [GOGU ET AL., 2005]. Produziert wurden sie von der National and Kapodistrian University of Athens (NKUA).

Vom Satellit IKONOS wurde ein Satellitenbild mit einer Auflösung von 1 m produziert. Mit dem oben erwähnten DHM mit 2 m Auflösung wurde es orthorektifiziert. Die thermale Datengruppe umfasst drei verschiedene Rasterdatensätze: thermale Bilder von den Satellitensystemen LANDSAT und ASTER sowie Rasterdatensätze der Oberflächentemperaturen zwischen den Satellitenüberflügen. Alle Bilder wurden orthorektifiziert, für atmosphärische Einflüsse korrigiert und zusätzlich mit Bodentemperaturmessungen überprüft [GOGU ET AL., 2005].

Wetterdaten umfassen Temperatur, Luftfeuchtigkeit, atmosphärischer Druck, Windgeschwindigkeit und eine kurze Wetterbeschreibung. Sie wurden nur während des GEOWARN-Projekts in den Jahren 2000 bis 2003 erfasst [GOGU ET AL., 2005].

Datengruppe	Inhalt
Digitale Höhenmodelle	Regionale und lokale digitale Höhenmodelle
Topographie	Konturen, Strassen, Gebäude, Höhenkoten und Namen
Landnutzung	Landnutzungskarte
Geologie	Geologische Karten von den Untersuchungsgebieten und dem Meeresboden Geologische Querprofile Vulkanische Strukturen: Fumarolen, Kraterränder, Merkmale der Fließstruktur
Tektonik und Neotektonik	Lithologische Einheiten Morphotektonische Merkmale (Erdrutsche, Steinschlag, Hangmuren) Aktive, tektonische Merkmale (aktive Verwerfungen, Spalten)
Seismik	Positionen der Seismikstationen Regionale Hypozentren mit Magnituden < 4.0 Historische Hypozentren mit Magnituden ≥ 4.0
Seismische Sondierung	Querprofilbilder von den Geschwindigkeiten der seismischen Sondierung Bahnen der Schiffsführung, Schiesspunktlinien
Tomographie	Dreidimensionaler Datensatz der Tomographie (Voxel) Flächen gleicher Geschwindigkeiten aus der seismischen Sondierung Querprofile des Tomographiemodells
Magnetismus	Positionen von Magnetismusstationen, Messpunkte an Land und im Meer Rasterbild mit interpolierten magnetischen Werten
Gravitation	Positionen der Messstationen, Messpunkte an Land und im Meer Rasterbild der interpolierten Gravitationswerte
Erdichte	Dreidimensionaler Datensatz der Dichte (Voxel) Flächen gleicher Geschwindigkeiten aus der seismischen Sondierung Querprofile des Dichtemodells
Geochemie und Entgasung	Geochemische Messpunkte, geothermische Bohrlöcher, Quellen, Gasemission CO ₂ -Fluss, Wärmefluss, Erdtemperatur
GPS	Positionen der GPS-Stationen, verknüpft mit gemessenen und berechneten Verschiebungen
Interferometrie	Interferogramme für Deformationsmessungen
Satellitenbilder	Orthorektifiziertes Satellitenbild von IKONOS
Thermale Bilder	LANDSAT- und ASTER- thermale Bilder Oberflächentemperaturen, Punkte zur Kalibrierung Oberflächentemperaturunterschiede
Wetter	Messdaten von Wetterparameter

Tab. 4.1: Datengrundlage des GEOWARN-Frühwarnsystems [GOGU ET AL., 2005].

5 Software-Entwicklung

Das Hauptziel dieser Diplomarbeit ist die Entwicklung eines Kommunikationsmittels, mit dessen Hilfe Personen ohne Fachwissen über die Naturgefahren in der südlichen Ägäis das Thema die *Hangstabilität auf der Insel Nisyros* erklärt werden kann. Das Endprodukt soll eine interaktive, multimediale Webapplikation werden, die Benutzern erlaubt, für die Insel Nisyros eine Gefahrenhinweiskarte zum Thema *Hangstabilität* zu erstellen. Grundlagen zum Vulkanismus auf Nisyros, zu Massenbewegungen, zu Hangstabilität und zu Gefahrenhinweiskarten sollen in Form von Text und Bild ebenfalls mitgeliefert werden.

In der Software-Entwicklung existieren verschiedene Vorgehensweisen für die Realisierung einer derartigen Webapplikation. Im ersten Abschnitt dieses Kapitels werden erst die Grundlagen der Software-Entwicklung präsentiert. Im anschließenden Abschnitt wird ein Software-Prozessmodell vorgestellt, das in der Entwicklung von kartographischen Systemen wie dem Prototyp dieser Diplomarbeit eingesetzt werden kann: der benutzerzentrierten Entwicklungsansatz. Dieses Modell berücksichtigt die Usability (Gebrauchstauglichkeit) von kartographischen Systemen und erklärt, mit welchen Entwicklungsschritten sie in die Umsetzung integriert werden kann. Der nachfolgende zweite Teil der Diplomarbeit behandelt die Entwicklung und Evaluierung des Prototyps. Dabei wird gemäss den hier vorgestellten Entwicklungsschritten vorgegangen.

5.1 Grundlegendes zur Software-Entwicklung

"Software sind Programme, Verfahren, zugehörige Dokumentationen und Daten, die mit dem Betrieb eines Computersystems zu tun haben" [GLINZ, 2004, S. 2]. Software-Entwicklung hat zum Ziel, Benutzerbedürfnisse in Software umzusetzen. Die Initiierung, Entwicklung und Nutzung einer Software und ihren Komponenten stellen den so genannten *Software-Lebenslauf* dar. Damit wird der Zeitraum bezeichnet, in dem eine Software-Komponente entwickelt und gewartet sowie von Benutzern angewendet wird [GLINZ, 2004]. Die Entwicklungsphase kann wiederum in folgenden Stadien unterteilt werden [GLINZ, 2004]:

- Spezifizieren der Anforderungen
- Konzipieren der Lösung
- Entwerfen der Lösung im Detail
- Codieren und Testen der betreffenden Komponente
- Integrieren mit anderen Komponenten
- Installieren und Testen der Komponente im Gesamtsystem

Auch während der Entwicklung des Prototyps dieser Diplomarbeit werden die meisten dieser Phasen durchlaufen: Die Spezifikation von Anforderungen wird in Kapitel 6 beschrieben. Kapitel 7 enthält das Lösungskonzept. In Kapitel 8 geht es um die Umsetzung des Prototyps. Zum Schluss wird der Prototyp in Kapitel 9 getestet.

Je einfacher eine Software ist, desto mehr verläuft ihr Lebenslauf linear. Bei komplexen Systemen mit vielen Komponenten gibt es dagegen Iterationen in allen Stadien des

Lebenslaufs. Iterationen können sich beispielsweise aus Änderungen der Anforderungen oder aus der Korrektur von Fehlern ergeben.

Software-Prozessmodelle sind Modellvorstellungen über diesen Entwicklungsverlauf. Das älteste systematische Prozessmodell ist das *Wasserfall-Modell*. Dabei wird die Entwicklung als eine Sequenz von Entwicklungs- und Prüfaktivitäten angesehen. Die Reihenfolge der Entwicklungsaktivitäten folgt dem Software-Lebenslauf. Das *ergebnisorientierte Phasenmodell* folgt wie das Wasserfall-Modell dem Software-Lebenslauf. Eine Phase entspricht jedoch nicht einer Tätigkeit, sondern einem Zeitintervall. *Wachstumsmodelle* unterteilt die Entwicklung in eine Folge von Iterationen. In jeder Iteration wird ein vollständiges Teilergebnis mit betriebsfähiger Software erarbeitet und ausgeliefert. Die Software wächst dabei in einer Reihe von aufeinander folgenden Schritten. [GLINZ, 2004]

Die Wahl eines geeigneten Software-Prozessmodells trägt entscheidend zum Gelingen der Software-Entwicklung bei [GLINZ, 2004]. Nachfolgend wird das Prozess-Modell vorgestellt, welches zur Entwicklung des Prototyps dieser Diplomarbeit verwendet wird. Ein zentrales Thema dabei ist die Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit.

5.2 Benutzerzentrierte Entwicklung von kartographischen Systemen

Mit der Entwicklung der Multimedia- und Webkartographie wird von den Benutzern erwartet, dass sie mit zunehmend komplexen und interaktiven Systemen zurechtkommen. [HERMANN & PLEISSNER, 2003] schlagen deshalb vor, bei der Entwicklung von kartographischen Systemen nach dem benutzerzentrierten Entwicklungsansatz vorzugehen. Dieses Software-Prozessmodell bezieht Benutzer systematisch in die Entwicklung ein. Auf diese Weise lässt sich die Gebrauchstauglichkeit interaktiver, kartographischer Systeme sicherstellen.

5.2.1 Usability von kartographischen Systemen

Usability, im Folgenden auch als *Gebrauchstauglichkeit* oder *Benutzerfreundlichkeit* bezeichnet, ist gemäss ISO-Norm 9241/11 das "Ausmass, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und mit Zufriedenheit zu erreichen" [HERMANN & PLEISSNER, 2003, S. 1].

Usability steht also immer im Zusammenhang mit den Benutzern, ihren Zielen und der Benutzungsumgebung. *Effektivität* beurteilt, ob die vorgesehenen Aufgaben mit der Software gelöst werden können und ob die erhaltenen Resultate korrekt sind. Die *Effizienz* der Software bezieht sich auf den Aufwand, den ein Benutzer zur Erreichung der Arbeitsziele aufbringen muss. Eine gebrauchstaugliche Software soll das Arbeiten erleichtern, indem sie den Bedienungsaufwand senkt und Denkarbeit abnimmt. *Zufriedenstellung* bezeichnet den subjektiven Eindruck der Benutzer von der Effizienz und der Beeinträchtigung der Freiheit bei der Lösung der Aufgaben. [REDTENBACHER URL, 2005]

Um Usability konkreter fassbar zu machen wurden in der ISO-Norm 9241/10 sieben ergonomische Gestaltungsprinzipien formuliert (Tab. 5.1). Für die Bewertung eines kartographischen Systems müssen sie aber oft noch verfeinert werden. Aus Usability-Studien resultieren keine verallgemeinernden wissenschaftlichen Erkenntnisse, sondern konkrete Optimierungsvorschläge für ein kartographisches Produkt [HERMANN & PLEISSNER, 2003].

Kriterien der Software-Ergonomie	
Aufgabenangemessenheit	Die Anwendung unterstützt den Benutzer bei der effektiven und effizienten Erledigung seiner Aufgabe.
Selbsterklärbarkeit	Jeder Dialogschritt ist aufgrund sofortigen Systemfeedbacks direkt verständlich. Auf Verlangen erhält der Benutzer Erklärungen.
Steuerbarkeit	Der Benutzer initiiert die Interaktion und kann die Richtung und Geschwindigkeit bestimmen.
Erwartungskonformität	Die Applikation ist in sich konsistent und entspricht allgemeinen Konventionen sowie Erfahrungen und Erwartungen der Benutzer.
Fehlertoleranz	Trotz fehlerhafter Eingaben kann der Benutzer sein Ziel ohne oder mit minimalem Korrekturaufwand erreichen.
Individualisierbarkeit	Die Benutzungsschnittstelle kann an die jeweiligen Aufgabenanforderungen und individuellen Präferenzen und Fähigkeiten der Benutzer angepasst werden.
Lernförderlichkeit	Das System unterstützt den Benutzer beim schrittweisen Erlernen der Funktionalität.

Tab. 5.1: Ergonomische Designprinzipien der ISO-Norm 9241/10 [HERMANN & PLEISSNER, 2003].

5.2.2 Benutzerzentrierte Entwicklung für kartographische Systeme

Herkömmliche Benutzerstudien in der Kartographie wurden meist informell und am Ende eines Entwicklungsprozesses durchgeführt. Die benutzerzentrierte Entwicklung in Abb. 5.1 hingegen basiert auf der Idee, Benutzer systematisch in die Entwicklung einzubeziehen. Der Zyklus von Analyse und Spezifikation von Benutzeranforderungen, Produktion von Prototyps und Evaluierung mit Benutzern wird mehrmals durchlaufen. Dabei werden Benutzereigenschaften systematisch analysiert und in die Konzeption der Benutzerschnittstelle integriert. Prototypen werden erstellt und mit Benutzern evaluiert. [HERMANN & PLEISSNER, 2003]

5.2.2.1 Analyse und Spezifikation von Anforderungen

Die Anforderungsspezifikation eines Software-Produkts kann als Vereinbarung zwischen dem Entwickler und dem Benutzer verstanden werden. In diesem Dokument wird festgelegt, welche Bedingungen oder Fähigkeiten eine Software erfüllen oder besitzen muss. [GHEZZI ET AL., 2003]

Der Anforderungskatalog an ein Produkt kann funktionale Anforderungen und Attribute umfassen. Funktionale Anforderungen beziehen sich auf die Funktionalität eines Systems. Attribute bestimmen die Rahmenbedingungen für diese Funktionalität. Dazu gehören Leistungsanforderungen, Qualitätsanforderungen und Randbedingungen. Leistungsanforderungen beziehen sich auf Zeiten, Raten, Geschwindigkeiten oder dergleichen. Qualitätsanforderungen richten sich z.B. an die Benutzerfreundlichkeit eines Systems. Randbedingungen schränken mögliche Lösungen ein, beispielsweise in Form von Normen und Gesetzen. [GLINZ, 2004]

In der Anforderungsspezifikation werden Anforderungen nach ihrer Wichtigkeit klassiert [GLINZ, 2004]. Muss-Anforderungen sind unumgänglich und müssen auf jeden Fall erfüllt werden. Soll-Anforderungen sollten erfüllt werden, falls sie nicht einen zu hohen Aufwand verursachen. Auf Wunsch-Anforderungen kann verzichtet werden, falls nicht genug Ressourcen und Zeit vorhanden sind. Für die Entwicklung des Prototyps wurde eine weitere Klassierung verwendet: die *MoSCoW-Einteilung*. Dabei werden die Anforderungen in vier

Prioritätsstufen eingeteilt: Must-, Should-, Could- und Would-Anforderungen [COLEY URL, 2005]. Die detaillierte Erklärung zur MoSCoW-Einteilung ist im Abschnitt 6.3. zu finden.

Sind die Anforderungen nicht von Anfang an klar, müssen sie analysiert werden. Folgende Methoden oder eine Kombination dieser werden angewendet [GLINZ, 2004]: Mit einem *Glossar* wird für alle Beteiligten eine begriffliche Grundlage geschaffen. *Soll-Prozessabläufe* untersuchen äussere Ereignisse auf ein spezifisches System bezüglich ihres Einwirkens und der Reaktion des Systems. Interaktionen der Umgebung mit dem System werden in *Anwendungsszenarien* durchgespielt. Mit der *Modellierung des Anwendungsbereichs* kann festgestellt werden, über welche Anwendungsgegenstände das zu spezifizierende System welche Informationen speichern muss, um seine Aufgaben zu erfüllen. Mit *Interviews*, *Fragebogen* oder gemeinsamen *Arbeitsitzungen* mit den Benutzern können gewünschte Informationen über Anforderungen erhoben werden.

Für kartographische Systeme eignen sich vor allem Befragungen und Interviews [HERMANN & PLEISSNER, 2003]. Damit können Benutzungsbedingungen, Verhaltensweisen und Erfahrungen mit bisherigen Systemen in Erfahrung gebracht werden. Fachliches Wissen von Experten ist ebenfalls wichtig, beispielsweise bei der Analyse von Benutzeraufgaben. Die Anforderungen an den Prototypen dieser Diplomarbeit und deren Gewinnung mit mündlichen Interviews werden in Kapitel 6 beschrieben.

5.2.2.2 Entwicklung von Prototypen

Bei der Konzeption einer Software-Lösung werden die wesentlichen Komponenten und ihre Interaktionen miteinander festgelegt [GLINZ, 2004]. Die Konzeption von Benutzerschnittstellen für kartographische Systeme hängt von der Anforderungsspezifikation, den zu verwendenden Visualisierungstechnologien sowie den verfügbaren Daten ab. Die Konzeption einer ergonomischen Benutzerschnittstelle für kartographische Systeme wird oft durch die dahinter stehende Systemarchitektur erschwert. Somit muss zwischen meist aufwändigen Anpassungen in der Systemarchitektur und der Ergonomie abgewogen werden. [HERMANN & PLEISSNER, 2003] [HERMANN UND PLEISSNER, 2003] empfehlen im Weiteren die frühzeitige Entwicklung von Prototypen, mit denen – gerade bei langfristigen Projekten – rechtzeitig evaluiert werden kann. Wenn mehrere Personen an der Entwicklung beteiligt sind, helfen Richtlinien bei der konsistenten Umsetzung, beispielsweise bezüglich Farbgestaltung, interaktives Verhalten oder Dialogstrukturen. Details zum gewählten Lösungskonzept und zur Umsetzung der Webapplikation dieser Diplomarbeit befinden sich in Kapitel 7 und 8.

5.2.2.3 Evaluierung mit Benutzern

Grundlage für die Evaluierung des Prototyps mit einem Usability-Test sollte eine klar formulierte Zielsetzung und Fragestellung sein. Die Aufgaben und Fragen sollten repräsentativen Benutzern aus der Zielgruppe gestellt werden, so dass die Nutzung möglichst realitätsnah wiedergegeben wird. Als Testmethoden eignen sich sowohl offene qualitative Verfahren (wie z.B. halbstrukturierte Befragungen) als auch stark strukturierte quantitative Verfahren (z.B. zur Messung von Bearbeitungszeiten, Fehler- und Lösungshäufigkeiten) [HERMANN & PLEISSNER, 2003]. Ausserdem existieren standardisierte Fragebögen zur subjektiven Einschätzung der Bedienbarkeit. Usability-Tests geben beispielsweise Auskunft darüber, welche Aufgaben gelöst werden können, welche Probleme dabei wie oft auftreten, ob und wie

schnell sie von den Benutzern überwunden werden können. Damit werden Probleme in der späteren tatsächlichen Benutzung abgeschätzt. Die gewählte Evaluierungsmethodik sowie die Resultate aus der Evaluierung des Prototyps werden in Kapitel 9 vorgestellt.

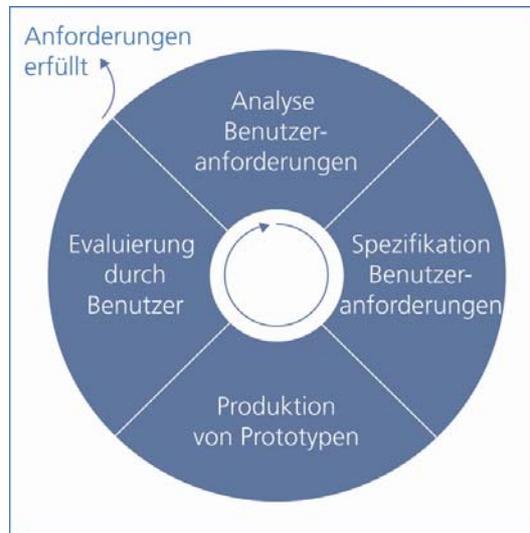


Abb. 5.1: Benutzerzentrierte Entwicklung [HERMANN & PLEISSNER, 2003].

**Teil II: Entwicklung und Evaluierung einer interaktiven
Gefahrenhinweiskarte zur Hangstabilität auf der Vulkaninsel
Nisyros (Griechenland)**

6 Analyse und Spezifikation von Anforderung

Der folgende zweite Teil dieser Diplomarbeit beinhaltet die Realisierung eines Prototyps einer Webapplikation, die als Kommunikationsmittel einen Teil der Ergebnisse aus dem GEWARNO-Projekt vermitteln kann. Dabei wird nach dem benutzerzentrierten Entwicklungsansatz vorgegangen (siehe Kapitel 5). Dieses Kapitel 6 umfasst die Beschreibung und Herleitung Anforderungsspezifikation. Der Zyklus der benutzerzentrierten Entwicklung wird für diesen Prototypen – anders als von [HERMANN & PLEISSNER, 2003] vorgeschlagen – nur einmal durchlaufen. Gründe dafür sind einerseits der zeitliche Rahmen, andererseits die durchwegs positive Bewertung durch die Benutzer (vgl. Kapitel 9).

Welche allgemeinen Anforderungen das Darstellungsmedium WWW an die Kartographie stellt, wurde bereits im Abschnitt 3.1 behandelt. Die Anforderungen, welche die Benutzer an den geplanten Prototyp dieser Diplomarbeit stellen würden, war im Voraus jedoch nicht im Detail bekannt. In diesem Zusammenhang wurde deshalb eine empirische Anforderungsanalyse durchgeführt. Es wurde untersucht, welche Funktionalität die Applikation bieten muss. Insbesondere die Randbedingungen der farblichen Darstellungsart wurden genauer betrachtet.

Um die Bedingungen oder Fähigkeiten einer Software in Erfahrung zu bringen, war es auch von Vorteil, die am Entwicklungsprozess beteiligten Personen, die zukünftigen Benutzer und die Ziele zu kennen [GLINZ, 2004]. Deshalb werden sie am Anfang dieses Kapitels kurz vorgestellt bzw. erklärt. Danach folgt die eigentliche Anforderungsanalyse und Spezifikation.

6.1 Stakeholder-Analyse

Die Stakeholder-Analyse beantwortet die Frage, wer in welcher Rolle mit der Entwicklung einer derartigen Webapplikation zu tun hat [GLINZ, 2004]. Da es sich bei der Entwicklung des Prototyps um ein kleines Projekt handelte, ist die Rollenverteilung einfach. Die Entwicklung lief im Rahmen einer Diplomarbeit ab, wurde also von einer Person durchgeführt. Die Anforderungen an den Prototyp wurden hauptsächlich von den potenziellen Benutzern gestellt. Es wurde kein Fachwissen bezüglich des Hauptthemas der *Hangstabilität auf der Insel Nisyros* vorausgesetzt. Auch wurde nicht erwartet, dass die Benutzer sich mit GIS auskennen. Mehrere Fachpersonen aus den Bereichen Multimediakartographie, GIS, Erdwissenschaften und Naturgefahren waren als Berater an der inhaltlichen und programmiertechnischen Umsetzung beteiligt.

6.2 Zielanalyse

Damit ein Projekt zur Software-Entwicklung erfolgreich ist, müssen die Zielsetzungen bekannt sein [GLINZ, 2004]. Diese Ziele wurden bereits im Einleitungskapitel 1.3 erwähnt. Das eigentliche Ziel dieser Diplomarbeit war es, ein Kommunikationsmittel zu entwickeln, mit dessen Hilfe Personen ohne Fachwissen über die Naturgefahren in der südlichen Ägäis das Thema die *Hangstabilität auf der Insel Nisyros* erklärt werden kann.

Das Endprodukt sollte eine interaktive, multimediale Webapplikation werden, die Benutzern erlaubt, für die Insel Nisyros eine Gefahrenhinweiskarte zum Thema *Hangstabilität* zu erstellen.

Zusätzlich sollten in diesem Erstellungsablauf Schadenpotenzial und Konflikträume berücksichtigt werden. Grundlagen zum Vulkanismus auf Nisyros, zu Massenbewegungen, zu Hangstabilität und zu Gefahrenhinweiskarten sollten in Form von Text und Bild ebenfalls mitgeliefert werden.

Der Prototyp sollte kartographisch ansprechend visualisiert sein und sinnvolle Interaktivität bieten. Ausserdem sollte er die Anforderungen erfüllen, welche die ISO-Norm 9241/10 an ein benutzerfreundliches System stellt.

6.3 Anforderungsgewinnung mit Interviews

Zur empirischen Gewinnung von Anforderungen an diesen Prototypen wurden zehn mündliche Interviews mit Fachpersonen aus den Bereichen Web- und Multimediakartographie, GIS und Naturgefahren durchgeführt. Da das Thema mehrere Fachgebiete vereint, waren die Experten gleichzeitig auch Laien, nämlich bezüglich der Bereiche, in denen sie kein Fachwissen mitbrachten. Der Einbezug von "Laienwissen" in die Ermittlung von Anforderung ist wichtig, da sie dies der realen Nutzungssituation nahe kommt.

Die Grundlage der Interviews bildete ein Fragenkatalog zur Interaktivität, zum Erstellungsablauf einer Gefahrenhinweiskarte und zu den farblichen Ausprägungen ihrer Themen. In der Aufwärmphase wurden die Erfahrungen der Mitwirkenden bezüglich Webkarten, Risikokarten und GIS thematisiert. Danach konnten sie sich zur Darstellung der Themen Geologie, Hangneigung, Hangstabilität, Schadenpotenzial und Risiko äussern. Im dritten Teil wurden die Prioritäten einzelner Interaktionen ermittelt. Am Schluss brachten die Mitwirkenden drei Ablaufvarianten für die Gefahrenhinweiskarte in eine Prioritätsreihenfolge. Über deren Vor- und Nachteile konnten sie sich frei äussern.

6.3.1 Funktionale Anforderungen

6.3.1.1 Erstellungsablauf einer Gefahrenhinweiskarte

Um einen Eindruck zu erhalten, wie sich die Fachpersonen den Erstellungsablauf einer Gefahrenhinweiskarte vorstellten, wurden ihnen drei Ablaufvarianten vorgelegt. Variante 1 unterteilt den Ablauf in Arbeitsschritte, die der Benutzer befolgen darf. In Variante 2 lassen sich Kartenebenen durch das Verändern ihrer Transparenz überlagern. Der Benutzer bestimmt dabei selbst, welche Kartenebenen wie intensiv dargestellt werden. Variante 3 bietet zwei Betrachtungsmodi an. Zwei Kartenebenen können entweder parallel oder überlagert betrachtet werden. Zentral bei allen Ablaufvarianten ist die Überlagerung mehrerer Kartenebenen. Die Hangstabilität ergibt sich aus der Überlagerung von Hangneigung und geotechnischen Eigenschaften. Sodann resultieren die Konflikträume aus der Überlagerung von Hangstabilität und Schadenpotenzial. Die Fachpersonen mussten sodann die Ablaufvarianten in die Reihenfolge *beste* (1), *zweitbeste* (2), *schlechteste* Lösung (3) bringen (vgl. Tab. 6.1). Daraus wurde die durchschnittliche Priorität der Ablaufvarianten ermittelt. Variante 1 wurde gesamthaft als sinnvollster Ablauf erachtet. 40 Prozent der Befragten bevorzugten Variante 1, 20 Prozent Variante 2 und 10 Prozent Variante 3. 30 Prozent empfanden Variante 1 und 3 als gleich gut, Variante 2 aber schlechter als diese beiden. Es wurde ausserdem auf die schwierige Umsetzung von Variante 3 hingewiesen.

6.3.1.2 Funktionalität

Um die Anforderungen an die Funktionalität der Webapplikation zu ermitteln, konnten die Fachpersonen eine Auswahl von Interaktionen nach der *MoSCoW-Einteilung* klassieren. MoSCoW steht für Must, Should, Would und Could [COLEY URL, 2005] und stellt die Prioritätsreihenfolge der Anforderungen dar (vgl. Tab. 6.2.). Die Auswahl von Interaktionen stützt sich auf die Funktionalität anderer Webapplikationen, die im Vorfeld betrachtet wurden. Die Fachpersonen konnten den einzelnen Interaktionen einen Prioritätswert zwischen 1 und 4 zuweisen. Daraus wurde dann der Durchschnitt berechnet. Dieser Durchschnittswert wurde für die definitive Einteilung in Must-, Should-, Could- und Would-Anforderungen gemäss Tab. 6.3 verwendet.

Aus Gründen des Überblicks wurden die Interaktionen in Gruppen unterteilt. Die gewählte Unterteilung wird von [SCHNEIDER, 2002] und [BÄR & SIEBER, 1997] vorgeschlagen und beinhaltet folgende Funktionsgruppen:

- Generelle Funktionen
- Funktionen zur thematischen Navigation und Orientierung
- Funktionen zur räumlichen Navigation und Orientierung
- Visualisierungsfunktionen
- GIS-Funktionen

Generelle Funktionen sind nicht applikationsspezifisch und permanent verfügbar. In diese Kategorie gehören beispielsweise Hilfe- und Exitfunktionen sowie Angaben zum Bearbeitungsstand. In dieser Erhebung wurden keine Interaktionen dieser Kategorie beurteilt, da sie nicht typisch für die Webkartographie sind. *Funktionen zur thematischen Navigation und Orientierung* sind essenziell für die Themenwahl und für Themenwechsel. Zu den *Funktionen zur räumlichen Navigation und Orientierung* gehören die klassischen Werkzeuge wie Zoom, Pan oder eine Referenzkarte. *Visualisierungsfunktionen* werden zur Verstärkung der Karten- oder Bildaussage verwendet. Dazu gehört zum Beispiel die Veränderung der Symbolisierung oder das Einblenden von Multimediaelemente. *GIS-Funktionen* (nachfolgend allgemeiner *Analysefunktionen* genannt) sind darauf ausgerichtet, sowohl graphische wie auch datenmässig vorliegende Informationen zu behandeln. Dies können beispielsweise raumbezogene oder thematische Abfragen, Messungen oder Vergleiche zwischen einzelnen Karten sein. Einige Interaktionen können nicht eindeutig einer Gruppe zugewiesen werden, da sie mehrere Funktionen in sich vereinen.

Priorität	Ablaufvarianten
1	Arbeitsschritte
2	Opazitätsregler
3	Zwei Betrachtungsmodi

Tab. 6.1: Priorität von Ablaufvarianten zur Erstellung der Gefahrenhinweiskarte.

Priorität	Erklärung zur MoSCoW-Einteilung
1	Must: Fundamentale Interaktion, die berücksichtigt werden muss
2	Should: Wichtige Interaktion, die berücksichtigt werden sollte
3	Could: Wünschenswerte Interaktion, die weggelassen werden kann
4	Would: Wenig relevante Interaktion

Tab. 6.2: Prioritätszuweisung gemäss MoSCoW-Einteilung.

Priorität \emptyset	Erklärung zur MoSCoW-Einteilung
1 bis 1.5	1 Must: Fundamentale Interaktion, die berücksichtigt werden muss
> 1.5 bis 2.0	2 Should: Wichtige Interaktion, die berücksichtigt werden sollte
> 2.0 bis 2.5	3 Could: Wünschenswerte Interaktion, die weggelassen werden kann
> 2.5	4 Would: Wenig relevante Interaktion

Tab. 6.3: Definitive Prioritätszuweisung auf Grund der durchschnittlichen Priorität.

Funktionen	Priorität	Umgesetzt	Nicht umgesetzt
Thematische Navigation und Orientierung	1 Must	Ein-/ausschaltbare Kartenebenen	
Räumliche Navigation und Orientierung	1 Must	Zoom Pan Referenzkarte	
	2 Should	Ganzer Kartenausschnitt anzeigen Graphische Massstabsleiste Koordinatenangabe Orte lokalisieren	
	3 Could	Übersichtskarte Länge / Breite des Kartenausschnitts anzeigen Zoomfaktor anzeigen	
	4 Would	Routen anzeigen	
Visualisierungsfunktionen	1 Must	Zusatzinformationen zu Hangstabilität	
	2 Should	Transparenz von Kartenebenen ändern	
	3 Could	Zusatzinformationen zu Analysefunktionen Farben ändern	
	4 Would	Reliefschattierung ändern	
Analysefunktionen	1 Must	Vorgegebene geotechnische Klassen Vorgegebene Hangneigungsklassen Attributwerte zeigen	
	2 Should	Legendenelemente hervorheben Kartenelemente hervorheben	
	3 Could	Statistiken anzeigen	
	4 Would	Weitere Analysewerkzeuge Wählbare Hangneigungsklassen Wählbare geotechnische Klassen	

Tab. 6.4: Priorität der funktionalen Anforderungen.

6.3.2 Farbe als nicht-funktionale Anforderung

Die graphische Variable *Farbe* (inkl. Farbverläufe, Farbstufen usw.) trägt zur Verständlichkeit eines Themas bei. Die spezifischen Ausprägungen dieser Variable stellen keine funktionalen Anforderungen dar, sondern sind *Randbedingungen*. Bei der Ermittlung der geeigneten Darstellung der Themen in der Gefahrenhinweiskarte durften sich die Fachpersonen zur farblichen Gestaltung der Hangneigung, der geotechnische Eigenschaften, der Hangstabilität, des Schadenpotenzials und der Konfliktzonen äussern. Sie durften zu den vorgeschlagenen Ausprägungen eigene anfügen. Die Anzahl Nennungen wurde zur Bestimmung der Priorität verwendet (siehe Tab. 6.5).

Aus Tab. 6.6 geht hervor, dass die Hangneigung als Farbverlauf oder -abstufung angesehen wurde. Gelb und Braun sowie ein Übergang von hell bis dunkel wurden für dieses Thema

bevorzugt. Bei der Visualisierung der *geotechnischen Eigenschaften* wurde von den meisten Befragten eine standardisierte Legende gewünscht. Für das GEOWARN-Projekt wurde bereits eine geotechnische Karte für die Insel Nisyros erstellt. Die Farben wurden deshalb aus dieser Vorlage übernommen. Das Thema *Hangstabilität* konnte keine eindeutigen Farbassoziationen wecken. Einzig eine Abstufung oder ein Verlauf waren als Darstellungsart unbestritten. Im Übrigen ging der Darstellungsvorschlag mit Bewegungsvektoren auf die Geomorphologiekarte des GEOWARN-Projekts zurück. *Schadenpotenzial* wurde am häufigsten mit der Farbe Rot in Verbindung gebracht, eine Must-Anforderung. 30 Prozent der Befragten brachten es mit Violett und 20 Prozent mit Blau in Verbindung. Für die Darstellung des Themas *Konfliktzonen* war die Farbe Rot fundamental. Drei Personen rieten von einer farblichen Anlehnung an die Lawinengefahrenstufen der Schweiz ab. Das Hauptargument war, dass die verwendeten Farben Weiss, Gelb, Blau und Rot in dieser Reihenfolge keine Abstufung bilden. Die Farbe Blau hat in diesem Kontext trennenden Charakter.

Nennungen	Priorität
4 bis 10 mal	Must: Fundamentale farbliche Ausprägung, die berücksichtigt werden muss
2 bis 3 mal	Should: Wichtige farbliche Ausprägung, die berücksichtigt werden sollte
1 mal	Would: Wünschenswerte farbliche Ausprägung, die weggelassen werden kann
nie	Could: Wenig relevante farbliche Ausprägung

Tab. 6.5: Prioritätszuweisung nach Anzahl Nennungen.

Thema	Priorität	Farbliche Ausprägung
Hangneigung	Must	Verlauf oder Stufen, Übergang hell-dunkel
	Should	Gelb, Braun
	Could	Weiss, Grün
	Would	Orange, Rot, Violett, Blau, Grün
Geotechnische Eigenschaften	Must	Standard-Legende
	Should	Grün, Grau
	Could	Rot, Blau, Braun
	Would	Weiss, Gelb, Orange, Violett, Übergang hell-dunkel
Hangstabilität	Should	Verlauf oder Stufen, Rot, Grün, Braun, Grau, Übergang hell-dunkel, Vektoren
	Could	Gelb, abhängig von Hangneigung und Geologie
	Would	Blau, Weiss, Orange, Violett
Schaden-potenzial	Must	Rot
	Should	Violett, Blau
	Could	Braun, Gelb, Verlauf oder Stufen, Weiss
	Would	Orange, Grün, Grau, Übergang hell-dunkel
Konfliktzonen	Must	Rot
	Should	Gelb, nicht wie die Schweizer Lawinengefahrenstufen
	Could	Abhängig von Schadenpotenzial oder Hangstabilität, Braun, Grün, Orange, Verlauf oder Stufen
	Would	Weiss, Violett, Blau, Grau, Übergang hell-dunkel

Tab. 6.6: Priorität der farblichen Ausprägungen für die Gefahrenhinweiskarte.

7 Konzept

Dieses Kapitel stellt das Konzept zur Umsetzung der Webapplikation vor. Es beschreibt als Erstes den Inhalt der Webapplikation. Darauf folgt ein Abschnitt über das Layout der Benutzerschnittstelle. Es wird erklärt, wie der Inhalt präsentiert wird. Danach werden die in der Systemarchitektur verwendeten Technologien und ihr Zusammenspiel kurz geschildert.

7.1 Inhalt und Funktionalität

Um den Zielsetzungen aus dem Einleitungskapitel gerecht zu werden, soll die Webapplikation folgende drei Hauptaufgaben erfüllen:

- einen allgemeinen Überblick über die Insel Nisyros bieten;
- mit Zusatzinformationen die Situation bezüglich Naturgefahren auf Nisyros vermitteln;
- die Gefahrenhinweiskarte zum Thema Hangstabilität auf Nisyros erklären;

Diese drei Hauptanliegen sollen unterschiedlich in die Benutzeroberfläche implementiert werden:

- Die Hauptkarte vermittelt den *Überblick* über die Insel. Darin kann der Benutzer topographische Daten und zusätzliche Themen wie die Landnutzung, Geologie und vulkanische Merkmale betrachten.
- *Zusatzinformationen* können über ein Menü abgerufen werden, das wie eine Karte aufgebaut ist. Es umfasst die sechs Kapitel Vorbemerkung, Vulkanismus, Hangstabilität, Risiko, Gefahrenhinweiskarte und Glossar. Per Mausklick wird geblättert. Dabei öffnet sich jeweils zu jedem Kapitel ein Aufklappmenü, wo die verschiedenen Unterkapitel aufgeführt sind. Diese können ebenfalls per Mausklick angewählt werden. Innerhalb der Unterkapitel eines Themas kann ausserdem vorwärts und rückwärts geblättert werden. Wo notwendig, sind die Unterkapitel mit einem Rollbalken ausgerüstet.
- Wie aus Tab. 7.1 ersichtlich, kann die *Gefahrenhinweiskarte* zur Hangstabilität auf Nisyros ebenfalls in diesem Menü erstellt werden. Damit ist ein einheitliches Bedienungsprinzip gewährleistet. Nach einer einführenden Bemerkung erhält der Benutzer zuerst einen Überblick über den Erstellungsablauf. Jeder Arbeitsschritt wird dann auf einer eigenen Seite dargestellt. Auch hier stehen Vorwärts- und Rückwärtsknöpfe zur Verfügung. Der Benutzer kann den Ablauf also schrittweise durcharbeiten. Bei Unklarheiten können Schritte ohne Probleme wiederholt werden.

Zur Erfassung dieser drei Hauptanliegen stehen dem Benutzer mehrere Hilfsmittel zur Verfügung. Die *Navigationswerkzeuge* unterstützen den Benutzer bei der Orientierung in der Karte. Sie umfassen unter anderem Zoom (Vergrössern und Verkleinern des Kartenausschnitts) und Pan (Verschieben des Kartenausschnitts). Der folgende Abschnitt geht näher darauf ein. Den Überblick über das Gebiet fördert eine Referenzkarte, in welcher der dargestellte Ausschnitt angezeigt wird.

Mit der *Ebenenkontrolle* kann der Benutzer Karteninhalte, deren Transparenz und die zugehörigen Legenden manipulieren. Der Benutzer hat also die Möglichkeit, Kartenelemente ein- und auszuschalten. Dank der veränderbaren Transparenz kann er überlappende Kartenelemente gleichzeitig betrachten.

Die *Legende* bietet für die Kartenebenen Landnutzung und Geologie einen bidirektionalen Bezug zur Karte. Das bedeutet, dass beim Überfahren eines Kartenelements der entsprechende Legendeneintrag und umgekehrt beim Überfahren des Legendeneintrags das entsprechende Kartenelement hervorgehoben wird.

Sollte die Legende nicht eingeblendet sein, besteht die Möglichkeit, Informationen von Kartenelementen über eine *Attributanzeige* abzulesen. Zusätzlich können Höhe, Hangneigung und Exposition für jeden beliebigen Ort im dargestellten Gebiet aus einem Geländemodell berechnet werden. Beides geschieht beim Überfahren der Karte mit dem Cursor (Mauszeiger).

Da die Topographie ein entscheidender Faktor für die Hangstabilität darstellt, wird ein Instrument zur Erzeugung von *Höhenprofilen* angeboten. Es vermittelt einen Eindruck über die Steilheit und Höhe einzelner Gebiete.

Falls ein Symbol für ein Instrument nicht selbsterklärend sein sollte, kann der Benutzer so genannte *Tool-Tipps* einschalten. Das sind Bemerkungen, die beim Überfahren eines Instruments erscheinen und dessen Funktionsweise erklären.

Kapitel	Unterkapitel
Einleitung	Einführung
Vulkanismus	Vulkanischer Inselbogen in der Südägäis Insel Nisyros Verwerfungen und morphologische Diskontinuitäten Hydrothermale Krater, Fumarolen und heisse Quellen Geologische Entstehung von Nisyros Naturgefahren auf Nisyros
Hangstabilität	Massenbewegungen und Hangstabilität Mögliche Massenbewegungsarten auf Nisyros
Risiko	Gefahr, Schadenpotenzial und Risiko Risiko Management Gefahrenkarten Begriffe rund um Risiko
Gefahrenhinweiskarte	Erstellen einer Gefahrenhinweiskarte für Hangstabilität Überblick über den Ablauf Inputparameter definieren Hangstabilität bestimmen Gebiete mit Schadenpotenzial definieren Konflikträume bestimmen Kontrolle der Gefahrenhinweiskarte an ausgewählten Orten auf Nisyros
Glossar	USGS vulkanisches Glossar Andere vulkanische Glossare Naturgefahren und Risiko Anderes

Tab. 7.1: Überblick über die Zusatzinformationsthemen und ihre Unterkapitel.

7.2 Layout

Die Benutzerschnittstelle wird in fünf Hauptbestandteile gegliedert:

- Karte
- Ebenenkontrolle
- Legenden
- Werkzeugpalette und Attributanzeigen
- Zusatzinformationen

Ihre Anordnung in der Benutzerschnittstelle ist schematisch in Abb. 7.1 dargestellt. Die *Karte* nimmt flächenmässig den grössten Anteil ein. Sie deckt mehr als die linke Hälfte der Benutzerschnittstelle ab.

Die *Ebenenkontrolle* ist im Balken über der Karte versteckt. Wenn der Benutzer sie einblendet, erscheint sie über der linken oberen Kartenecke. Die *Legende* kann ebenfalls ein- und ausgeblendet werden. Sie wird zuerst in die rechte obere Kartenecke gesetzt. Danach kann sie der Benutzer frei verschieben und platzieren, wo es angebracht erscheint.

Die *Navigation* bezieht sich direkt auf die Karte. Ihre Werkzeuge befinden sich deshalb in unmittelbarer Nähe in der rechten oberen Ecke neben der Karte. Somit kann der Bezug zum Kartenbild hergestellt werden. In der gleichen *Werkzeugpalette* befindet sich das *Profilwerkzeug*. Damit ein Höhenprofil unmittelbar mit der Karte verglichen werden kann, wird das Resultat und das entsprechende Werkzeug am unteren Rand über die Karte gelegt. Es stehen Instrumente zum Zeichnen, Verschieben, Anfügen oder Löschen von Knotenpunkten, sowie zur Berechnung des Profils zur Verfügung. Das Instrument zum Ein- und Ausschalten von Hilfefunktionen, so genannten *Tool-Tipps*, wird ebenfalls in dieser Werkzeugpalette angeboten. Somit bilden alle Werkzeuge eine kompakte Einheit.

Die *Attributanzeigen* befinden sich rechts neben der Navigation. In der einen Anzeige können die DHM-Attribute Höhe, Hangneigung und Exposition mittels Selektionsliste ein- und ausgeschaltet werden. Die zweite Anzeige steht für Kartenattribute. Alle Attributinformatoren werden beim Überfahren der Karte mit dem Mauszeiger herausgelesen oder berechnet. Gemeinsam mit allen anderen Instrumenten bilden sie eine Einheit in der rechten oberen Ecke.

Gleich darunter folgen die *Zusatzinformationen*. Sie sind das zweitgrösste Menü in der Benutzerschnittstelle. Die sechs Themen Vorbemerkung, Vulkanismus, Hangstabilität, Risiko, Gefahrenhinweiskarte und Glossar sind wie Karteikarten angeordnet. Per Mausklick kann in den Karteikarten geblättert werden.

Im unteren Balken gibt es eine *Statusleiste*, die den Benutzer über die aktuellen Interaktionen informiert. Im selben Balken, auf der rechten Seite, ist ein Link zu *Quellen- und Impressumsangaben* platziert.

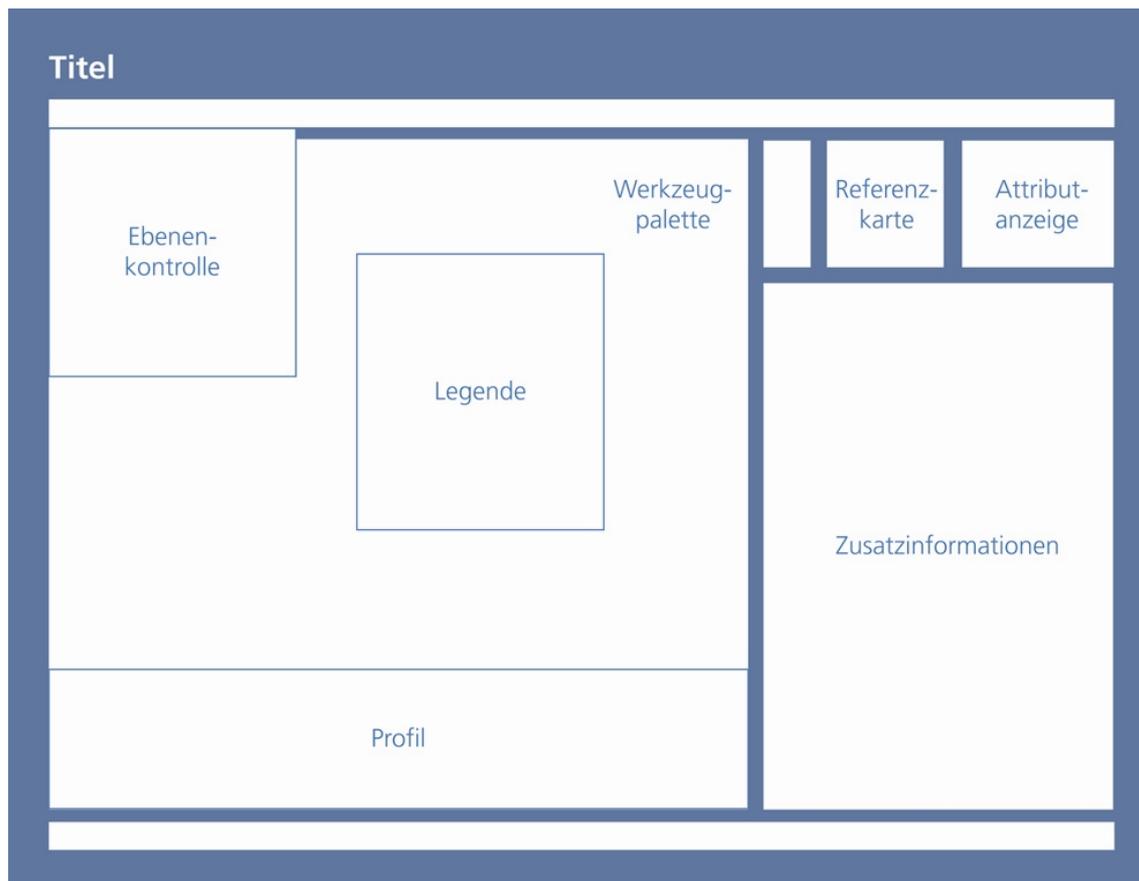


Abb. 7.1: Layout der Benutzerschnittstelle.

7.3 Systemarchitektur der Webapplikation

Im folgenden Abschnitt werden die verwendeten Technologien kurz erläutert. Dies ist notwendig, um die Systemarchitektur des Prototypen zu verstehen. Das Zusammenspiel der Komponenten wird am Schluss des Abschnitts erklärt.

7.3.1 Verwendete Technologien

Die Systemarchitektur basiert auf folgenden Technologien:

- XML, erweiterbare Auszeichnungssprache für Webseiten
- SVG, Standard für 2D Vektorgraphik im WWW
- ECMAScript, clientseitige Programmiersprache
- PHP, serverseitige Programmiersprache
- PostgreSQL und PostGIS, geographische Datenbank
- Higrd, CGI-Programm zur Extraktion von Geländemodelldaten
- MapServer OGC Web Map Service zur Darstellung von Rasterdaten

Nachfolgend werden sie kurz erklärt.

7.3.2 XML: hierarchische Speicherstruktur für heterogene Daten

Die *Extensible Markup Language*, abgekürzt XML, ist ein Standard zur Erstellung von maschinen- und menschenlesbaren Dokumenten, beispielsweise für Webseiten. XML legt dabei die Regeln für die Struktur solcher Dokumente fest. [SELFHTML URL, 2005]

XML-Anwendungen bauen auf dem hierarchischen Prinzip der Baumstruktur auf. Die Daten werden von ihrer Repräsentation getrennt [BILL & ZEHNER, 2001]. In einem XML-*Schema* werden Strukturelemente, ihre Attribute und Anordnung festgelegt. Diese sind unabhängig von der Datenreferenz und somit auch von den eigentlichen Daten wie z. B. Text oder Grafiken. In einem Validierungsverfahren wird überprüft, ob eine XML-Datei den Regeln ihres zugehörigen Schemas entspricht. Damit Daten korrekt wiedergegeben oder dargestellt werden, muss ein so genannter *Parser* die XML-Struktur analysieren und an nachgeschaltete Software weitergeben. XML stellt ausserdem Konzepte und Regeln zur Verfügung, auf denen andere Auszeichnungssprachen aufbauen. [SELFHTML URL, 2005]

7.3.3 SVG: 2D-Vektorgraphik

Eine auf den Konzepten und Regeln von XML basierende Auszeichnungssprache ist Scalable Vector Graphics (SVG). Dieser vom World Wide Web Consortium (W3C) abgenommene Standard wird zur Beschreibung von zweidimensionalen Graphiken im WWW verwendet [BILL & ZEHNER, 2001]. SVG erlaubt die Integration von Vektorgraphiken, Bildern und Texten und lässt Interaktivität und Animationen zu [W3C URL, 2005]. SVG ist Open Source. Das bedeutet, dass der Programmcode der Software in einer für den Menschen lesbaren und verständlichen Form vorliegt. Die Software darf beliebig kopiert, verbreitet und genutzt werden. Sie darf verändert und so auch weitergegeben werden [OPENFACTS URL, 2005]. SVG-Quellcodes können in einem Texteditor bearbeitet werden. Die meisten Webbrowser benötigen zur Darstellung von SVG-Dateien ein Zusatzprogramm, ein so genanntes Plug-In. Nachfolgend die wichtigsten Eigenschaften im Überblick [NEUMANN UND WINTER, 2003a]:

- Vektorformate haben typischerweise einen kleinen Speicherbedarf und bieten konstant hohe Darstellungsqualität über verschiedene Vergrößerungsstufen. Einzelne Elemente können gezielt angesprochen werden.
- Die SVG-Zeichenebene entspricht einem kartesischen Koordinatensystem mit dem Ursprung in der linken oberen Ecke. Elementare geometrische Transformationen wie Translation, Skalierung und Rotation werden mit einer 3x3-Matrixoperation durchgeführt.
- Die Formatierungsoptionen von Objekten sind sehr umfangreich (Farben, Füllungen, Strichstärke, Texteeigenschaften, Position etc.) und können mit so genannten Cascading Stylesheets (CSS) vorgenommen werden. Farbwerte werden im internet-spezifischen Farbraum sRGB definiert.
- Rechteck, Kreis, Ellipse, Linie, Polylinie, Polygon und Pfade sind die geometrischen Grundelemente. Das Pfadelement beschreibt offene oder geschlossene Linienobjekte.
- Texte können beliebig formatiert werden. Schriften können direkt in die SVG-Datei eingebettet werden. Textelemente lassen sich ausserdem von Suchmaschinen indizieren.

- Neben den grundlegenden Interaktionsmöglichkeiten von SVG-Viewern wie Zoomen, Verschieben oder Drucken werden Hyperlinks angeboten. Komplexere Interaktionen erfordern Skriptsprachen, wie z. B. ECMAScript. Über die Objekthierarchie, das Document Object Model (DOM), können einzelne SVG-Elemente gezielt angesprochen werden.
- Für Animationen wird die Metapher der Zeitlinie verwendet. Zuerst werden fixe Zustände im zeitlichen Ablauf festgelegt. Die Zwischenschritte werden dann bei der Ausführung laufend interpoliert.
- Die Erweiterbarkeit von SVG ergibt sich aus der Definition in XML. Es können beliebige in XML definierte Standards mit Hilfe von fremden Namensräumen eingebettet werden.

Für die Umsetzung einer derartigen Webapplikation bietet SVG den nötigen Funktionsumfang. Das Graphikformat ist sehr gut dokumentiert in zahlreichen Anleitungen auf dem Web. Durch die Text- resp. XML-Basis des Formates stehen zahlreiche Editierungs- und Generierungsmöglichkeiten zur Verfügung. So können etwa XML-Entwicklungs- und Validierungswerkzeuge verwendet werden und Graphiken mit Hilfe von beliebigen Scripting- oder Programmiersprachen erstellt werden. SVG ist als Open Source verfügbar, herstellerunabhängig und es fallen bei der Verwendung dieses Formates keine Lizenzgebühren an.

Der Vorteil von Open Source Komponenten liegt darin, dass Anpassungen an Open Source Komponenten bei entsprechendem Know-how schneller und einfacher angebracht werden können als bei vielen kommerziellen Produkten. Zudem besteht eine geringere Herstellerabhängigkeit.

7.3.4 ECMAScript: Clientseitige Programmiersprache

JavaScript, unter dem Namen ECMAScript standardisiert, ist eine objektbasierte Programmiersprache, mit deren Hilfe Webseiten mit zusätzlicher Funktionalität ausgebaut werden können [BILL & ZEHNER, 2001]. SVG-Dokumente können mittels JavaScript-Programmen auf die dynamische Interaktion des Benutzers reagieren. Maus- und Tastatureingaben des Anwenders können verarbeitet und die angezeigte Karte dynamisch verändert werden [BEHR, 2005].

7.3.5 PostgreSQL und PostGIS: Geographische Datenbank

PostgreSQL ist ein objektrelationales Datenbankverwaltungssystem, das als Open Source verfügbar ist [POSTGRESQL URL, 2005]. PostGIS ist eine Erweiterung von PostgreSQL um geographische Objekte. Sie befähigt einen PostgreSQL-Server zur Datenbankverwaltung für GIS oder Webkartographie [POSTGIS URL, 2005]. PostGIS berücksichtigt Geometriedaten gemäss der Simple-Features-Spezifikation des Open GIS Consortium (OGC) (siehe Abschnitt 7.3.8) und ermöglicht räumliche Abfragen und Analysen [NEUMANN, 2003].

Es ist eine logische Schlussfolgerung offene Dateiformate auch mit offenen Serverkomponenten zu kombinieren. PostgreSQL ist eine der ausgereiftesten Open Source Datenbanken, die derzeit verfügbar sind. Als eine der wenigen räumlichen Datenbanken bietet es direkten Export in SVG.

7.3.6 PHP: Serverseitige Programmiersprache

Zur Generierung von SVG-Code kann auf dem Webserver eine beliebige Programmiersprache zum Einsatz kommen. PHP Hypertext Preprocessor, kurz PHP, ist eine solche serverseitige Programmiersprache und ebenfalls als Open Source verfügbar. PHP bietet einen hohen Funktionsumfang und zufriedenstellende Performanz bei relativ geringem Einarbeitungsaufwand. PHP-Code kann in einem normalen Texteditor geschrieben, jedoch nicht ausgeführt werden. Dazu muss PHP auf einem Webserver installiert sein und die Datei auf dem Server liegen. Beim Aufruf der Datei wird der PHP-Code ausgeführt, das Ergebnis generiert und an den Browser des Benutzers (Client) geschickt. [SCHNABEL, 2005]

7.3.7 HigrId: Extraktion von Geländemodelldaten

CGI (Common Gateway Interface) ist eine standardisierte Schnittstelle im WWW für den Datenaustausch zwischen Webserverprogrammen und Webbrowsern [BILL & ZEHNER, 2001]. Das von Dr. Hans-Ruedi Bär (Institut für Kartographie, ETH Zürich) entwickelte Programm HigrId nutzt die CGI-Schnittstelle, um digitale Geländemodelle für Webapplikationen zu erstellen. Diese Daten werden zur Berechnung von Höhe, Hangneigung, Exposition und des Höhenprofils gebraucht. Mit diesem Programm können Pyramidenstrukturen von Rasterdaten erstellt sowie Rasterdaten in beliebigen Auflösungen extrahiert werden. Dazu benötigt es die Begrenzung des erwünschten Ausschnitts (minimaler und maximaler X- bzw. Y-Wert), die Zellgrösse und das Ausgabeformat. [WILLIAMS, 2005b]

7.3.8 MapServer: OGC Web Map Service

Das Open GIS Consortium (OGC) ist eine gemeinnützige Organisation, bestehend aus Regierungsorganisationen, privater Industrie und Universitäten zur Verbesserung der Interoperabilität von georeferenzierten Raster- und Vektordaten, so genannten Geodaten. In allgemeingültigen Standards werden zum Beispiel Webdienste definiert. Das heisst, es werden Methoden, Parameter sowie Kommunikationsregeln festgelegt, die einem beliebigen System den Zugriff auf verteilte Datenquellen ermöglichen [ANNEN, 2005].

Ein solcher vom OGC standardisierter Webdienst ist der Web Map Service (WMS). Über diese Schnittstelle kann ein Server aus Geodaten Karten erstellen. Drei Grundoperationen können dabei ausgeführt werden, für die jeweils ein Parametersatz definiert ist:

- Beschreibung der verfügbaren Daten (GetCapabilities)
- Lieferung der angeforderten Karte (GetMap)
- Abfragen weiterer Informationen (GetFeatureInfo)

Der Zugriff auf einen WMS geschieht über einen Webbrowser. In der URL werden die geographischen und dimensional Parameter übermittelt. Ein WMS liefert dann Bilder in einem Bildformat wie PNG (Portable Network Graphics), JPEG (Joint Pictures Expert Group) oder GIF (Graphics Interchange Format) an den Webbrowser zurück oder erzeugt Karten im SVG-Format. Mit dem WMS-Webdienst wird also ein Netzwerk von verteilten Geodatenservern aufgebaut, mit dem Benutzer Karten nach ihren Bedürfnissen erstellen können [OGC ISO/DIS, 2005].

UMN MapServer ist eine Open-Source-Software von der University of Minnesota UMN. Diese Entwicklungsumgebung für Webapplikationen mit dynamischen Karteninhalten kann viele GIS-Formate lesen und symbolisieren. Sie unterstützt eine Reihe von OGC-Standards, darunter auch die WMS-Schnittstelle. [MAPSERVER URL, 2005]

7.3.9 Systemarchitektur

Der Prototyp funktioniert nach dem *Client-Server-Prinzip*. Auf der Clientseite stehen ein *Webbrowser* und das Plug-In *Adobe SVG-Viewer*. Damit wird die Benutzerschnittstelle mit der Karte dargestellt. Die Serverseite besteht aus einem *Webserver* und einer *geographischen Datenbank*.

Interaktionen werden von *JavaScript* gewährleistet, das in fast jedem Webbrowser implementiert ist. Auch die Kommunikation zwischen Client und Server wird durch *JavaScript* hergestellt. Auf Anfrage des Benutzers auf der Clientseite extrahiert die serverseitige Skriptsprache PHP Daten aus der Datenbank und kreiert SVG-Fragmente. Sie gibt diese dann an den Client zurück. PHP ist teilweise auch an der Symbolisierung von Kartenelementen beteiligt. Übrige Daten wie die *SVG-Datei*, *JavaScript-Programme*, *Rasterdateien* und *thematische Daten* werden direkt vom Webserver gesteuert.

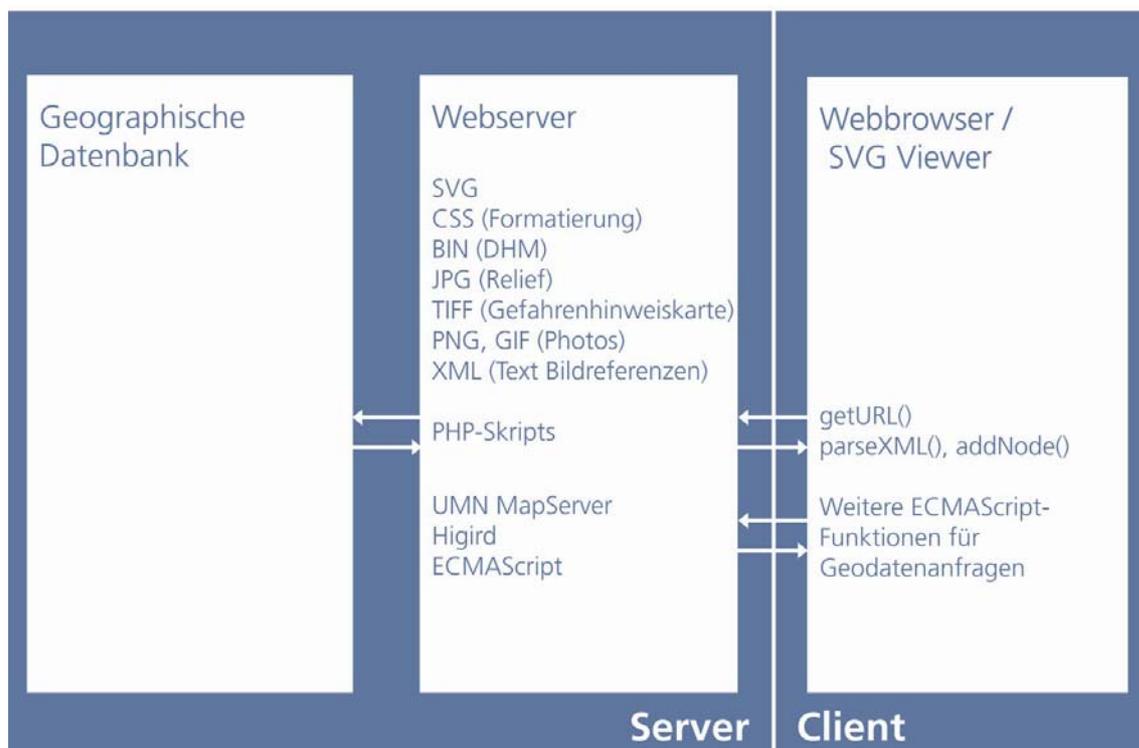


Abb. 7.2: Systemarchitektur des Prototypen.

Weitere serverseitige Programme sind UMN MapServer und Higrid. Bei UMN MapServer wird die OGC WMS-Schnittstelle für die Extraktion von georeferenzierten Rasterdaten genutzt. Der Zugriff auf diesen WMS geschieht über den Webbrowser. In der URL werden die geographischen und dimensional Parameter übermittelt. Der WMS liefert darauf die Bilder an den Webbrowser zurück. Mit dem Programm Higrid werden ebenfalls mittels URL Daten aus digitalen Geländemodellen mit variierenden Auflösungen herausgelesen. Higrid speichert

jede Zeile eines angeforderten Geländemodells in einem XML-Element und schickt es an den Client zurück. Nach Erhalt der Daten erstellt ein JavaScript-Programm aus den Höhenwerten ein zweidimensionales Feld, das heißt eine Matrix. Daraus wird der Höhenwert jeder beliebigen Koordinate bilinear interpoliert.

Einzelheiten und die konkrete Durchführung der Implementierung von Interaktionen sind im nachfolgenden Kapitel 8 zur Umsetzung nachzulesen.

8 Umsetzung

Von der Datenaufbereitung bis zum Funktionieren der Webapplikation sind folgende Schritte nötig, die in den folgenden Abschnitten dieses Kapitels im Detail ausgeführt werden:

- Daten aufbereiten (Abschnitt 8.1)
- Daten bereitstellen (Abschnitt 8.2)
- Benutzerschnittstelle mit SVG erstellen (Abschnitt 8.3)
- Interaktionen implementieren (Abschnitt 8.4)

Zuerst werden alle Vektor- als auch um Rasterdaten dem Projekt entsprechend aufbereitet. Vektordaten werden danach in die Datenbank eingelesen und Rasterdaten auf dem Webserver gespeichert. Im nächsten Schritt wird das im Konzept definierte Layout mit SVG graphisch umgesetzt. Zum Schluss werden Interaktionen in der Benutzerschnittstelle implementiert. Eine funktionierende Datenbankabfrage, das einwandfreie Anzeigen von Rasterdaten und Auslesen von Geländemodelldaten sind Voraussetzung für die übrigen Interaktionen.

8.1 Daten aufbereiten

Bei der Datenaufbereitung musste unterschiedlich vorgegangen werden. Nachfolgende sind die Vorgehensweisen je nach Datentyp erklärt. In Tab. 8.1 und 8.2. sind alle verwendeten Vektor- und Rasterdaten aufgelistet.

8.1.1 Vektordaten

Die als Shapefiles gespeicherten Vektordaten mussten nur geringfügig mit dem Programm ArcGIS bearbeitet werden, beispielsweise in der Attributtabelle. Gewisse Datensätze wurden thematisch in einer Shapefile-Datei zusammengefasst: Siedlungsgebiete, Gebäude, Klöster, Kirchen, Kapellen, Ruinen und das Fussballfeld. Danach wurde ein identifizierendes Attribut für die Gebäudeart verteilt. Kapellen und Klöster waren nur als Punktobjekte vorhanden. In der Überlagerung wurden die zugehörigen Gebäude entsprechend klassiert. Vom Shapefile-Format konnten sie nachher direkt in die Datenbank eingelesen werden.

8.1.2 Rasterdaten

Alle Rasterdaten wurden mit dem Programm ArcGIS bearbeitet, jedoch in unterschiedlichem Masse. Das Relief musste nicht verändert werden, da es wie von MapServer verlangt als TIFF gespeichert war. Aus dem Satellitenbild wurden neue Auflösungen berechnet: 2, 5 und 10 m. Diese drei Datensätze wurden anschliessend ins TIFF-Format konvertiert. Das DHM musste vom Format ESRI Grid in eine Textdatei (ASCII) konvertiert werden. In diesem Format konnte es vom Programm Higrad importiert und in ein eigenes binäres Format umgewandelt werden.

Die thematischen Rasterdaten für die Gefahrenhinweiskarte wurden als ESRI Grids bearbeitet und erst danach ins TIFF-Format exportiert. Die methodische Grundlage für die Aufbereitung

bildete die Hangstabilitätskarte aus dem GEOWARN-Projekt. Da die Zwischen- und Endresultate der Gefahrenhinweiskarte von der Webapplikation nicht online berechnet werden, mussten alle Themen im Voraus erstellt werden. Dies sind:

- Hangneigung
- Geotechnische Eigenschaften
- Hangstabilität
- Schadenpotenzial
- Konfliktzonen

Zuerst wurde die Hangneigung aus dem DHM berechnet (vgl. Abb. 8.1). Danach wurden die geotechnischen Eigenschaften vom Vektor- ins Rasterformat konvertiert. Anschliessend wurden die beiden für die Hangstabilität kombiniert. Für das Schadenpotenzial wurden die relevanten Vektordaten wiederum ins Rasterformat konvertiert. Aus der Kombination von Schadenpotenzial und Hangstabilität wurden schliesslich die Konflikträume berechnet. Details zum genauen Vorgang der Datenaufbereitung sind nachfolgend aufgeführt.

Vektordaten	Inhalt	Geometrieart	Verwendete Attribute	Format
topographischen Basiskarte	Gebäude	Polygon	ID	ESRI Shapefile
	Kirchen	Polygon	ID, Name	ESRI Shapefile
	Friedhöfe	Polygon	ID	ESRI Shapefile
	Fussballplatz	Polygon	ID, Name	ESRI Shapefile
	Gewässernetz	Polyline	ID	ESRI Shapefile
	Konturen	Polyline	Höhe, Konturtyp	ESRI Shapefile
	Strassen	Polyline	Strassenklasse	ESRI Shapefile
	Klöster, Kapellen	Multipoint	ID, Name	ESRI Shapefile
Thematische Vektordaten	Landnutzung	Polygon	Landnutzungsmerkmale	ESRI Shapefile
	Geologie	Polygon	Geologieklassen	ESRI Shapefile
	Geotechnische Eigenschaften	Polygon	Geotechnische Merkmale (weich, hart, lose)	ESRI Shapefile
	Brüche	Polyline	ID, Orientierung	ESRI Shapefile
	Dome	Polyline	Typ (vor / nach Calderabildung)	ESRI Shapefile
	Morphologische Diskontinuitäten	Polyline	Typ (Haupt-, Nebendiskontinuität)	ESRI Shapefile

Tab. 8.1: Überblick über die verwendeten Vektordaten.

Rasterdaten	Inhalt	Geometrieart	Verwendete Attribute	Format
Basiskarte	Relief	Raster	2158x1943, 421.64 dpi	TIFF
	Satellitenbild	Raster	IKONOS, Auflösung 1 m	TIFF
	DHM	Raster	Auflösung 2 m	ESRI Grid
Thematische Rasterdaten	Hangneigung	Raster	Auflösung 2, 5 und 10 m	TIFF
	Geotechnische Eigenschaften	Raster	Auflösung 2, 5 und 10 m	TIFF
	Hangstabilität	Raster	Auflösung 2, 5 und 10 m	TIFF
	Schadenpotenzial	Raster	Auflösung 2, 5 und 10 m	TIFF
	Konfliktzonen	Raster	Auflösung 2, 5 und 10 m	TIFF

Tab. 8.2: Überblick über die verwendeten Rasterdaten.

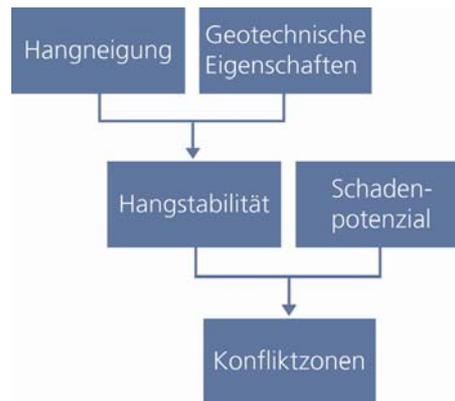


Abb. 8.1: Ablauf der Datenaufbereitung.

8.1.2.1 Hangneigung

Die Hangneigung wurde mit Hilfe der ArcGIS-Funktion *Derive Slope* vom DHM abgeleitet, und zwar für die Auflösungen von 2, 5 und 10 m. Diese drei Datensätze wurden dann auf je drei verschiedene Arten klassiert (vgl. Tab. 8.3). Die erste Klassierung entspricht der Hangstabilitätskarte von GEOWARN, die zweite stammt von [CROSS, 1998] und dritte von [BRABB, 1995]. Weitergearbeitet wurde anschliessend nicht mit den tatsächlichen Werten, sondern mit den Klassennummern 1 bis 4 bzw. 5.

Alle Datensätze wurden einer geometrischen Generalisierung unterzogen. Zuerst wurden sie mittels der ArcGIS-Funktion *Neighborhood Statistics* gefiltert. Bei Datensätzen mit 2 m Auflösung wurde eine 5x5-Matrix, bei 5 m eine 7x7-Matrix und bei 10 m eine 9x9-Matrix verwendet. Dem zentralen Pixel wurde jeweils der Median der Matrixwerte zugewiesen (Medianfilter). Mit der Funktion *Remove Noise* wurden Flächen eliminiert, welche die minimal darstellbare Grösse unterschritten. Erst nach der Generalisierung wurden die Rasterdaten ins TIFF-Format exportiert. Die Rasterdatensätze wurden dabei seitlich entsprechend dem maximalen Kartenausschnitt begrenzt. Die Farbgebung musste bei der Datenaufbereitung noch nicht definitiv festgelegt werden. Mehr dazu im Abschnitt 8.4 zum Thema MapServer.

8.1.2.2 Geotechnische Eigenschaften

Als Umklassierung der Geologie lagen die geotechnischen Eigenschaften im Shapefile-Format vor. Sie mussten daher zuerst ins Rasterformat konvertiert werden. Dies wurde wiederum für die oben erwähnten drei Auflösungen durchgeführt. Danach wurden die geotechnischen Klassen gemäss Tab. 8.4 nummeriert. Die resultierenden Datensätze wurden auf die gleiche Weise generalisiert und exportiert wie diejenigen der Hangneigung.

8.1.2.3 Hangstabilität

Für die Hangstabilität wurden die Werte der Hangneigungs- und geotechnischen Klassen mit dem ArcGIS *Raster Calculator* addiert. Aus den resultierenden Datensätzen konnten somit immer noch die ursprünglichen Hangneigungs- oder geotechnischen Klassen abgelesen werden. Alle Klassen mit Werten von 30 oder mehr erhielten danach den einheitlichen Wert 100 zugeteilt. Dies wurde ebenfalls im Raster Calculator mit einem konditionalen Ausdruck berechnet. Der Grund für die Zusammenfassung war, dass die Stabilität der Klasse "Geröll,

Schutthalden, Steinschlag" nicht von der Hangneigung abhängt. Die Endresultate in den drei verschiedenen Auflösungen wurden anschliessend auch wie oben beschrieben generalisiert und exportiert. Abb. 8.2 zeigt die Legenden des Themas Hangstabilität mit der definitiven Klassenaufteilung.

8.1.2.4 Schadenpotenzial

Der Anleitungsentwurf zur Durchführung einer Risikoanalyse des BUWAL definiert Präsenzwahrscheinlichkeit von Menschen einerseits und Sachwerte von Objekten andererseits als Eingangsgrössen für eine Risikoanalyse [BUWAL, 1994]. Für die Webapplikation dieser Arbeit wurden Gebiete, die für das Schadenpotenzial relevant sind, gemäss dieser Anleitung bestimmt. Dabei wurden aber nicht wie in der Anleitung verschiedene stufen von Schadenpotenzial unterschieden, sondern nur für Schaden relevante oder irrelevante Zonen. Tab. 8.5 zeigt, welche Geometrien in die beiden Kategorien fallen.

Alle relevanten Geometrien wurden in einer Shapefile-Datei zusammengefügt. Für lineare Elemente wie Strassen wurde eine Pufferzone berechnet. Dies gilt ebenfalls für den Krater. Anschliessend wurde diese für die drei Auflösungen 2, 5 und 10 m ins Rasterformat konvertiert. Den beiden Klassen wurden die Werte 100 bzw. 200 zugewiesen. Somit konnten später nach wie vor die Eingangsparameter abgelesen werden. Alle Datensätze wurden wie bei der Hangneigung beschrieben generalisiert und exportiert.

8.1.2.5 Konfliktzonen

Die Konfliktzonen wurden aus der Kombination von Hangstabilität und Schadenpotenzial berechnet. Auch dies wurde mit dem ArcGIS Raster Calculator berechnet. Alle resultierenden Datensätze wurden wie die Hangneigung generalisiert und exportiert. Abb. 8.3 zeigt die Klassen für Konflikträume bezüglich der drei Hangneigungsklassierungen:

Hangneigungsklassen	Klassierung 1	Klassierung 2	Klassierung 3
1	0 bis 15°	0 bis 10°	0 bis 15°
2	15 bis 30°	10 bis 20°	15 bis 35°
3	30 bis 50°	20 bis 40°	35 bis 70°
4	über 50°	40 bis 50°	über 70°
5		über 50	

Tab. 8.3: Hangneigungsklassierungen für die Gefahrenhinweiskarte.

Geotechnische Klassen	Klassierung GEOWARN
10	Weiches Gestein: Pyroklastika
20	Hartes Gestein: Laven und Dome
30	Loses Gestein: Geröll, Schutthalden, Steinschlag

Tab. 8.4: Geotechnische Klassierung der Geologie für die Gefahrenhinweiskarte.

Schadenpotenzialstypen	Relevante Gebiete
Präsenzwahrscheinlichkeit von Menschenleben	Siedlungsgebiet, Einzelhäuser, Strassenklassen 1 und 2, Krater Touristenort, Landwirtschaft
Infrastruktur	Siedlungsgebiet, Einzelhäuser, Strassenklassen 1 und 2, Reservoirs, Landwirtschaft

Tab. 8.5: Relevante Gebiete für das Schadenpotenzial.

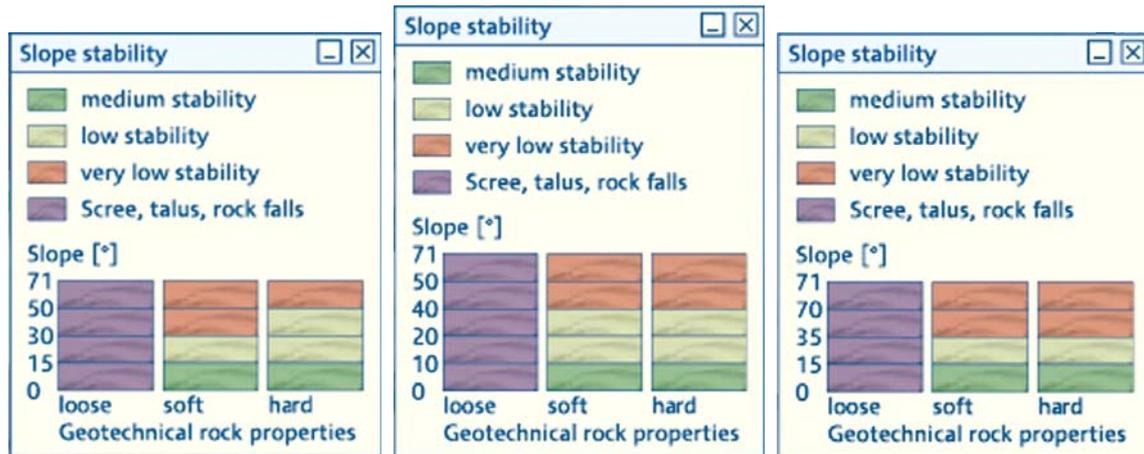


Abb. 8.2: Legenden für die drei Hangneigungsklassierungen.

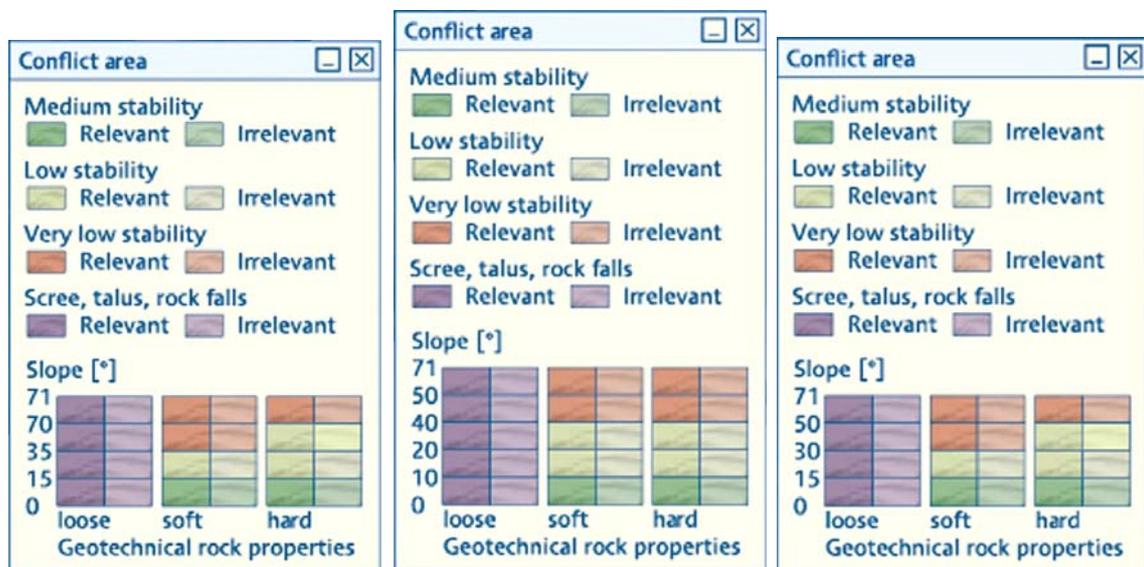


Abb. 8.3: Legenden der Konfliktzonen für die drei Hangneigungsklassierungen.

8.2 Daten bereitstellen

Damit der Benutzer auf die Daten zugreifen kann, müssen Raster- und Vektordaten auf bestimmte Art und Weise bereitgestellt werden. Für diese Webapplikation konnten die Rasterdaten direkt auf dem Webserver gespeichert werden. Die Vektordaten hingegen mussten mit einem speziellen Verfahren in die geographische Datenbank eingelesen werden. Dieses Verfahren wird nachfolgend beschrieben. Eine detaillierte Beschreibung, wie Geodaten in eine PostgreSQL-Datenbank eingelesen werden können, bietet [CARTO.NET URL, 2005].

Aus den Vektordaten im Shapefile-Format wurden mit dem PostGIS-Werkzeug `shp2pgsql` temporäre SQL-Dateien generiert.

```
shp2pgsql forest forest > forest.sql
```

In dieser temporären SQL-Datei wurde eine Tabelle erstellt. Ausserdem wurden ein Primärschlüssel und eine Sequenz zur Erstellung eindeutiger Objektidentifikatoren erzeugt.

```
psql -d nisyros -f forest.sql
```

Mit diesem Befehl wurden die in der SQL-Datei enthaltenen Befehle ausgeführt. Der *SQL*-Befehl *INSERT* konnte somit die räumlichen Daten in die oben erstellte Tabelle der geographischen Datenbank importieren.

In der Datenbank wurde für jede Kartenebene eine Tabelle angelegt. Diese wurden dann mit Projektionsinformationen und der entsprechenden Geometrie verknüpft. Nach dem Einlesen wurden in der Datenbank räumliche Indizes erstellt. Dabei handelt es sich um eine Art Nachschlageindex, der die Abfrage bei grossen Datenmengen beschleunigt und optimiert. Zuletzt wurden die Zugriffsrechte des Webnutzers auf die einzelnen Tabellen in der Datenbank festgelegt. Er darf Daten selektieren, aber nicht verändern. Änderungen in der Datenbank können lediglich vom Superuser mit entsprechendem Administratorenrecht vorgenommen werden.

8.3 Benutzerschnittstelle mit SVG erstellen

Die graphische Benutzerschnittstelle wurde mit SVG erzeugt. Beim Aufbau der Haupt-SVG-Datei galt zu beachten, dass diese von oben nach unten gelesen wird. Dies bedeutet, dass Elemente, die im Dokument weiter unten stehen, am Bildschirm später und damit über denjenigen gezeichnet werden, die im Dokument weiter oben liegen. Nachfolgend ist der Aufbau der SVG-Hauptdatei für diese Webapplikation erklärt.

Am Anfang des SVG-Dokuments steht der XML-Prolog. Damit erkennt ein XML-Parser, dass es sich um ein XML-Dokument handelt. Der Prolog enthält die XML-Version, der Zeichensatz und eine Verknüpfung zur Document Type Definition (DTD). Die Verbindung zur DTD wird mit *<!DOCTYPE>* geschaffen. Dabei wird ähnlich einem XML-Schema die Struktur des Dokuments festgelegt. Im SVG-Basiselement (Rootelement), welches alle anderen Elemente umfasst, wird das "interne" Koordinatensystem der Benutzerschnittstelle mit einem Breite-Höhe-Verhältnis von 1024 auf 768 Pixel definiert. Innerhalb des Basiselements ist die vereinfachte Dateistruktur folgendermassen aufgebaut:

Sie beginnt mit dem Titel der Applikation, gefolgt vom Skript-Teil. Darin werden die ECMAScript-Dateien eingebunden oder direkt ECMAScript-Programme aufgeführt. Im anschliessenden Defs-Teil werden Eigenschaften von Cascading Stylesheets (CSS), Schriften, Symbole, Filter, Pfeilspitzen, Farbgradienten und Masken definiert. CSS werden benutzt, um Formate für Farben, Texte, Strich- und Fülldefinitionen etc. für das ganze Dokument global festzulegen. Die Geometrie einer Graphik kann dann mit diesen Definitionen verknüpft werden. Symbole werden ebenfalls im Defs-Teil global definiert und im Dokument instanziiert.

Im zentralen Teil des SVG-Dokuments befindet sich das Layout der Benutzerschnittstelle. Zuerst wird ein blauer Hintergrund definiert. Dann wird die Hauptkarte *mainMap* in Form eines weiteren verschachtelten SVG-Elements mit eigenem Koordinatensystem gezeichnet. Dieses enthält für jede Kartenebene ein leeres Gruppenelement. Diese können später dynamisch mit Geometrien gefüllt werden. Der graphische Massstab wird anschliessend über das Kartenbild gelegt. Dasselbe gilt für die Informationsfenster "Loading data" und "Calculating profile". Diese werden während des entsprechenden Vorgangs eingeblendet und verschwinden anschliessend wieder. Danach folgt das allgemeine Layout mit dem Kartentitel, einigen gestalterischen Geometrien, der Ebenenkontrolle, der Navigation und der Koordinaten- und Attributanzeige. Die Ebenenkontrolle enthält Checkboxes um Kartenebenen oder Legenden ein- und auszublenden, und Schieberegler für die Regelung der Transparenz der

Kartenebenen. Dabei handelt es sich um instanzierte Symbole. Dies gilt auch für die Navigationsinstrumente. Die Navigation umfasst zusätzlich ein weiteres SVG-Element für die Referenzkarte. Diesem wird das gleiche Koordinatensystem zugewiesen wie der Hauptkarte. Bei den Koordinaten- und Attributanzeigen handelt es sich um leere Text-Elemente, die später dynamisch gefüllt werden. Anschliessend folgt das Platzhalter-Gruppenelement für die Profilinstrumente und -anzeige.

Die nachfolgenden Zusatzinformationen sind speziell aufgebaut. Zuerst wird ihre Geometrie im Hintergrund gezeichnet. Danach folgen sechs leere Gruppen, für jedes Thema eine. Darin verschachtelt sind weitere leere Gruppen für jedes einzelne Unterkapitel, im Folgenden auch als "Seite" bezeichnet. Die Informationen werden auch hier erst später dynamisch hineingeschrieben. Die Aufklappmenüs zur Kapitelauswahl müssen über diesen Informationsseiten liegen. Deshalb werden sie im Dokument erst jetzt aufgeführt.

Die Legenden können frei verschoben werden. Sie dürfen von keinen anderen Elementen verdeckt werden, ausser den Tool-Tipps. Legenden stehen deshalb an zweitletzter und die Tool-Tipps an letzter Stelle im Dokument.

```
<?xml>
<!DOCTYPE>
<svg id="Basiselement">
  <title/>
  <script/>
  <defs>
    <font id="CisalpinLTStd-Regular"/>
    <symbol/>
    <marker/>
    <filter/>
    <linearGradient/>
    <mask/>
  </defs>
  <rect id="Hintergrund"/>
  <svg id="Hauptkarte">
    <g id="Relief"/>
    ...
  </svg>
  <g id="Massstab"/>
  <g id="Loading-Data-Fenster"/>
  <g id="Calculating-Profile-Fenster"/>
  <g id="Layout" />
  <g id="Statusbar"/>
  <g id="Ebenenkontrolle"/>
  <svg id="Referenzkarte"/>
  <g id="Navigation"/>
  <g id="Attributanzeige"/>
  <g id="Profilgruppe"/>
  <g id="Zusatzinformationen">
    <g id="ReiterGeometrie"/>
    <g id="ReiterVolcanism">
      <g id="subReiterVolcanism1"/>
      <g id="subReiterVolcanism2"/>
      ...
    </g>
    <g id="ReiterSlope"/>
    ...
  </g>
  <g id="ReiterDropDownMenu"/>
  <g id="SPARK"/>
  <g id="EventCatcherLayer">
    <g id="Legenden"/>
  </g>
  <g id="Tool-Tipps"/>
</svg>
```

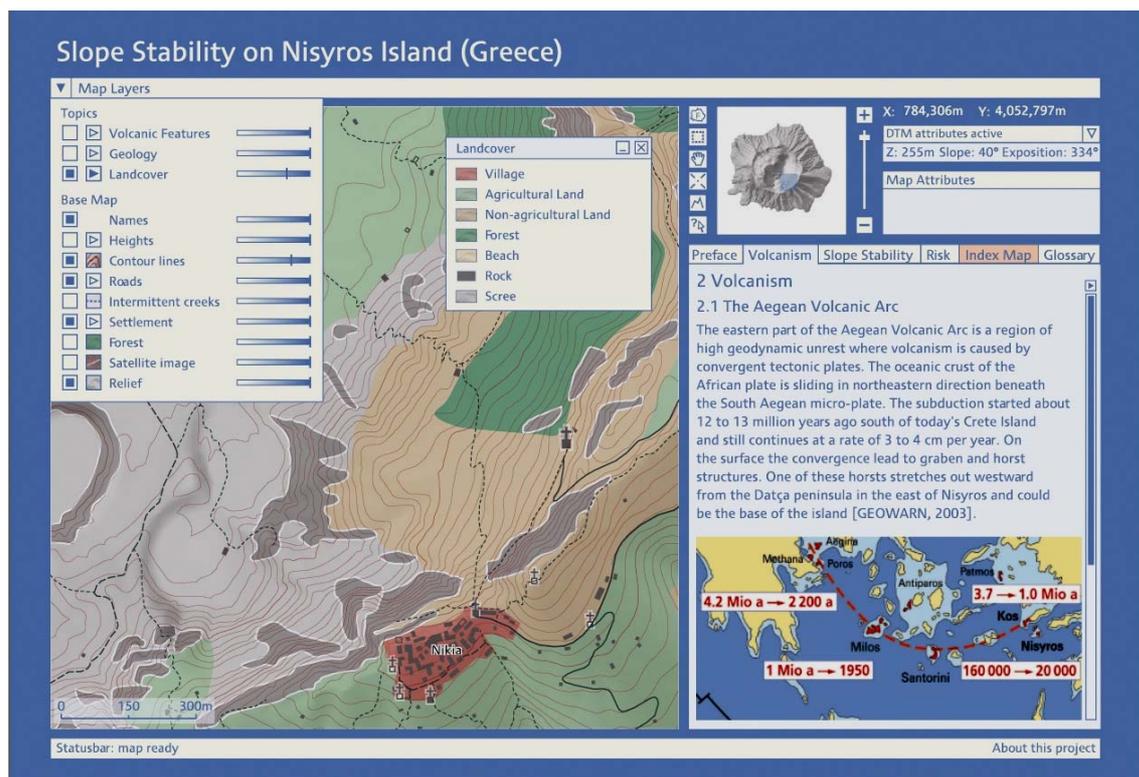


Abb. 8.4: Benutzerschnittstelle mit SVG.

8.4 Implementierung der Interaktionen

Die meisten Interaktionen dieser Webapplikation wurden mit ECMAScript implementiert. Tab. 8.6 gibt einen Überblick über die wichtigsten Funktionen. Im Anschluss werden ihre Funktionsweisen entsprechend ihrer zugehörigen Benutzerschnittstellen-Komponente erklärt.

8.4.1 Karte

Die Karte dieser Webapplikation wird dynamisch durch Nachladen von Vektor- und Rasterdaten erzeugt. Dies erlaubt die automatische Symbolisierung von Vektordaten und Einfärbung von Rasterdaten. Diese automatische Kartengestaltung ist allerdings noch nicht vollständig ausgereift. In vielen Bereichen gibt es Verbesserungspotenzial. Nachfolgend sind die wichtigsten Gestaltungsmittel erklärt.

8.4.1.1 Dynamisches Laden von Vektordaten

Das dynamische Laden von Vektordaten in eine kartographische SVG-Applikation wie in diesen Prototyp ist bei [CARTO.NET URL, 2005] beschrieben. Jedes Mal wenn ein Benutzer in der SVG-Applikation die Karte verändert, beispielsweise mit Zoom oder Pan, wird die ECMAScript-Funktion `getLayers()` von der Funktion `loadProjectSpecific()` aufgerufen. Darin ist eine Liste enthalten, die alle dynamisch ladbaren Kartenebenen sowie ihren Ladestatus aufführt. Auf Grund dieser Liste wird für jede angeforderte Kartenebene eine URL generiert, welcher die von

der Datenanforderung benötigten Parametern enthält. Dies umfasst beispielsweise den Ebenennamen, den Kartenausschnitt sowie den Zeitstempel der Anforderung.

Auf dem Server liest das PHP-Skript `sendGeom.php` die Parameter in der URL und generiert ein SVG-Code-Fragment aus der angeforderten Geometrie. Dazu muss es die gewünschten Daten aus der Datenbank extrahieren, filtern, die geometrische Genauigkeit reduzieren, in SVG konvertieren und zum Schluss nach Attributen gruppieren. Die aktuelle Kartenbreite bestimmt zudem den Filter, die Datenreduktion, Symbolgrößen und Strichstärken. Der untenstehende vereinfachte Code beschreibt diesen Vorgang für die Kartenebene Gewässer.

```
if ($layername == 'river') {
    //Gruppentag für die Fluss-Ebene wird generiert
    print '<g id="'. $myld.'" xmlns:attrib="http://www.carto.net/attrib"
attrib:timestamp="'. $timestamp.'">'. "\n";
    // Tabelle "river" in der Datenbank wird aufgerufen
    $tablename = 'river';
    // Fluss-Gruppentag wird generiert, Symbolisierung (Strichfarbe, -stärke und gestrichelte Ausprägung)
    print '<g id="'. $myld.'" _river" fill="none" stroke="royalblue" stroke-dasharray="'. $width * 0.00750.'"
'. $width * 0.0050.'" stroke-width="'. $width * 0.0015.'" xmlns:attrib="http://www.carto.net/attrib">'. "\n";
    //Selektionskriterium Kartenbreite wird festgelegt
    if ($width <= 10000 and $width > 499) {
        $addWhereClause .= ' AND (river_id = \'1\')';
    }
    else {
        $addWhereClause = '';
    }
    // SQL-Abfrage wird zusammengesetzt
    $mySQL = 'SELECT gid, river_id, river_type, AsSVG(the_geom,1,1) AS svg_geom FROM '.$tablename.'
WHERE the_geom && setSRID(\'BOX3D('.$xmin.' '.$ymin.' '.$xmax.' '.$ymax.')\':box3d,-
1)'.$addWhereClause;
    //SQL-Abfrage wird ausgeführt
    $my_result_set = pg_Exec($my_pg_connect, $mySQL) or die (pg_ErrorMessage());
    $numRecs = pg_NumRows($my_result_set);
    //Pfad-Elemente werden in die Gruppe geschrieben
    $i = 0;
    while ($i < $numRecs) {
        $resultArray = pg_Fetch_Array($my_result_set, $i);

        $mySvgString = $resultArray[svg_geom];
        print "\t". '<path d="'. $mySvgString.'" />'. "\n";
        $i++;
    }
    //Gruppentag für die Rivergruppe wird geschlossen
    print "</g>\n";
    //Gruppentag für die Ebene im SVG-Fragment wird geschlossen
    print "\t". '<attrib:layerData id="'. $layername.'" .Data" attrib:nrRecs="'. $numRecs.'"
attrib:layerName="'. $layername.'" />'. "\n";
}
}
```

Aus dem obigen PHP-Code wird folgendes SVG-Fragment generiert und an den Client zurückgeschickt. Beim Client wird es von der Funktion `addGeomGetURL()` überprüft und an die Funktion `addGeom(data)` weitergegeben. Diese fügt es an der richtigen Stelle im SVG-Dokument ein.

```
<g id="river_tempGeometry" xmlns:attrib="http://www.carto.net/attrib" attrib:timestamp="">
  <g id="river" fill="none" stroke="royalblue" stroke-dasharray="4.733 3.155" stroke-width="0.9465">
    <path d="M 781427.9 -4055709.2 | -4.9 -3.8 -18.1 -13.2 -17.8 -13.2 -... -7.7 -14.5" />
    <path d="M 781694.1 -4055170.8 | 3.3 -15.8 4.8 -11.8 10.2 -4.5 -... 6.0 -3.5 1.2 -1.8" />
  </g>
  <attrib:layerData id="river.Data" attrib:nrRecs="2" attrib:layerName="river" />
</g>
```

Teil II: Entwicklung und Evaluierung des Prototyps

Komponente	Funktionen	Aufgabe
Projekt (index.svg)	init()	Variablen und Objekte initialisieren
Karte (index.svg)	loadProjectSpecific()	Vom jeweiligen Kartenausschnitt abhängige Funktionen auslösen (nach jedem Zoom und Pan)
Karte (mapApp.js)	mapApp()	Bildschirmkoordinaten ins SVG-Koordinatensystem umrechnen (abhängig von der Browserfenstergröße)
Karte (loaddata.js)	getRaster() getLayers() addGeom() createGeologyLines() getDTM() addDTM() dtm() .getZValue = function()	Rasterdaten einlesen Vektordaten aus der Datenbank lesen Geometriedaten vom Server entgegennehmen und in die entsprechende Gruppe einfügen Verwerfungslinien symbolisieren Daten von DHM-Daten anfragen DHM-Daten entgegennehmen und in JS-Array ablegen Objekt zur Ablage von DHM-Eigenschaften und Daten Höhe, Exposition und Hangneigung an einer bestimmten Position berechnen
Karte (placeNames.js)	placeLabels() traverseLabelGroup() checkLabelWithinMapExtent() checkLabelWithinMapExtentFeedback() checkLabelIntersect() checkLabelIntersectsFeedback()	Textplatzierung für mehrere Kartenebenen aufrufen Beschriftungen innerhalb einer Kartenebene platzieren Überprüfen, ob Beschriftungen innerhalb des Kartenausschnitts liegen Überprüfen, ob Beschriftungen innerhalb des Kartenausschnitts liegen mit Angabe der Überlappungsstelle Überprüfen, ob zwei Beschriftungen überlappen Überprüfen, ob zwei Beschriftungen überlappen mit Angabe der Überlappungsstelle
Massstabsleiste (scalebar.js)	drawScaleBar()	Massstabsleiste erzeugen und anzeigen
Checkboxen (checkbox.js)	checkboxScript	Kartenebenen ein-/ausblenden
Transparenz (opacity.es)	opa()	Transparenz eines Elements setzen
Schieberegler (sliderplus.es)	slider()	Methoden und Eigenschaften des Sliders setzen
Navigation (navigation.js)	map() .newViewBox = function() .setNewViewBox = function() .handleEvent = function() .calcCoord = function() .checkAndRemoveTempLayer = function() .showCoordinates = function()	Initialisierungsfunktion der Karte und Navigation Kartenausschnitt in der Hauptkarte entsprechend dem Platzierungsrechteck in der Referenzkarte setzen Neuen Kartenausschnitt setzen über Eckkoordinaten Hilfsfunktion zum Verarbeiten von Maus-Ereignissen Bildschirmkoordinaten in Kartenkoordinaten umrechnen Hilfsfunktion zum Entfernen von temporären Geometrien Anzeige von Koordinaten bei Mausbewegung
Attributanzeige (showData.js)	showData() highlightFeatures() unHighlightFeatures() textFlow() scaleSymbol()	Attribute anzeigen Kartenelemente hervorheben Kartenelemente zurücksetzen Text anzeigen und Umbrüche einfügen Symbol skalieren
Selektionsliste (selectionList.js)	selectionList ()	Methoden und Eigenschaften der Selektionsliste
Zusatzinformation (explanations.js)	parseExplanations() writePage() scroller()	Zusatzinformationen überprüfen (Parser) Zusatzinformationen in SVG schreiben Rollbalken (Scrollen) erzeugen

Zusatzinformation (photos.js)	photo() parsePhotos() photoDisplay() changePhotoSize() photoLocation()	Objekt zum Speichern der Photodaten Parser zum Lesen von Photodaten aus dem XML-Fragment Einzelnes Photo und Metadaten anzeigen Benachbarte Photos vergrössern und verkleinern Aufnahmestandort in der Karte anzeigen
Höhenprofil (pathData.js)	diverse	Methoden und Eigenschaften zum Parsen (lesen und zerlegen) der Geometrie von Path-Elementen
Höhenprofil (digitize.js)	diverse prepareProfile() createProfile() showProfileData() closeProfileData()	Methoden und Eigenschaften zum Digitalisieren der Profillinie Kartenausschnitt auf Ausdehnung der Profillinie setzen, DHM-Daten laden Profil berechnen und Profilgeometrie generieren Profildaten für einen einzelnen Punkt entlang der Profillinie anzeigen Profilgeometrie entfernen und Profilverfensters schliessen
Legende (app.js)	App()	SPARK-Anwendung laden
Legende (atom.js)	diverse	Methoden und Eigenschaften der Atom- Komponente
Legende (container.js)	diverse	Methoden und Eigenschaften der Container- Komponente
Legende (moveablebutton.js)	diverse	Methoden und Eigenschaften der MoveableButton- Komponente
Legende (spark.js)	SPARK() diverse	Klasse zur Beschreibung der Basisfunktionalität aller Komponenten. Zugriff von allen SPARK-Komponenten. Statische Hilfsmethoden und -eigenschaften.
Legende (sparkdecorator.js)	SPARKDecorator()	Individuelle Komponenteneigenschaften, die beim Kreieren nicht jeder Instanz weitergegeben werden.
Legende (sparkfactory.js)	SPARKFactory()	Generiert die verschiedenen Komponententypen
Tool-Tipps (toolTip.js)	toolTip()	Tool-Tipps erzeugen und anzeigen
Hilfsfunktionen (helper_functions.js)	diverse	globale Variablen, Funktionen zur Berechnung, Interpolation, Geometrieabfrage (Left-of-Test, Intersection), Sortierung, Formatierung, Farbraumtransformationen zwischen RGB und HSV.

Tab. 8.6: Überblick über die implementierten Funktionen.

8.4.1.2 Masstabsabhängige Symbolisierung für Vektordaten

Aus dem obigen Codebeispiel des PHP-Skripts *sendGeom.php* geht hervor, dass räumliche Selektionskriterien bei der Darstellung von Kartenebenen eingesetzt werden können. Dies ermöglicht das Einblenden von unterschiedlichen Kartenelementen auf verschiedenen Vergrößerungsstufen. Dies wurde bei den Konturen, dem Strassennetz und bei den Siedlungsgebieten umgesetzt. Bei zunehmender Vergrößerung nimmt auch der Detaillierungsgrad zu. Dabei sollte aber beachtet werden, dass die Bilddichte über alle Vergrößerungsstufen konstant bleibt.

Wie ebenfalls aus dem obigen Codebeispiel ersichtlich, werden Geometrieattribute wie Strichstärken oder Symbolgrößen im SVG-Fragment dynamisch generiert. Die Werte werden aus der Breite des Kartenausschnitts und einem Skalierungsfaktor berechnet. Das bedeutet, dass bei jeder Datenbankabfrage, bei der der Kartenausschnitt verändert wird, auch eine Skalierung im SVG-Fragment vorgenommen und die zugehörige Kartenebene neu symbolisiert wird.

Die geologischen Verwerfungslinien stellen eine Ausnahme in der Symbolisierung dar (vgl. Abb 8.12). Das PHP-Skript gibt sie im SVG-Fragment als einfache Pfade zurück. Die korrekte kartographische Darstellung verlangt aber zusätzlich Querlinien. Beim Laden in die Karte wird deshalb eine spezielle ECMAScript-Funktion `createGeologyLines()` aufgerufen, welche an den Pfaden der Verwerfungslinien Querlinien zeichnet.

```
function createGeologyLines(faultId,charCode) {
  try {
    var faultsGroup = document.getElementById(faultId);
    var child = faultsGroup.firstChild;
    var textSize = myMainMap.curWidth * 0.01;
    var strokeColor = faultsGroup.getAttributeNS(null,"stroke");
    while (child) {
      if (child.nodeType == 1) {
        if (child.nodeName == "path") {
          var pathLength = child.getTotalLength();
          var pathId = child.getAttributeNS(null,"id");
          var orientation = child.getAttributeNS(cartoNS,"orientation");
          var nrGlyphs = pathLength / textSize;
          var myText = document.createElementNS(svgNS,"text");
          myText.setAttributeNS(null,"class","allText");
          ...
          myText.setAttributeNS(null,"pointer-events","none");
          var myTextPath = document.createElementNS(svgNS,"textPath");
          myTextPath.setAttributeNS(xlinkNS,"href","#"+pathId);
          var text = "";
          var rotateValues = "";
          for (var i=0;i<nrGlyphs;i++) {
            text += String.fromCharCode(charCode);
            rotateValues += "180 ";
          }
          if (orientation == "1") {
            myText.setAttributeNS(null,"rotate",rotateValues);
            myTextPath.setAttributeNS(null,"startOffset",myMainMap.curWidth * 0.02);
          }
          else {
            myTextPath.setAttributeNS(null,"startOffset",myMainMap.curWidth * 0.005);
          }
          var myTextNode = document.createTextNode(text);
          myTextPath.appendChild(myTextNode);
          myText.appendChild(myTextPath);
          faultsGroup.appendChild(myText);
        }
      }
      child = child.nextSibling;
    }
  }
}
```

Bei den Querlinien handelt es sich um Buchstaben in einem Text-Element. Die Geometrie von Buchstaben ist im SVG-Font in Form von so genannten Glyphen gespeichert. Für diesen Zweck wurde die Geometrie von zwei an anderer Stelle nicht benötigten Glyphen in Querlinien abgeändert. Werden nun die abgeänderten Buchstaben in ein Text-Element hineingeschrieben, erscheinen anstatt der ursprünglichen Geometrien Querlinien. Beim einem Buchstaben sitzt die Querlinie auf der Verwerfungslinie, beim andere hängt sie. Die Ausrichtung der Querlinien an der Verwerfungslinie geschieht durch eine `textPath`-Referenzierung im Text-Element.

Die ECMAScript-Funktion verwendet je nach Orientierung der Verwerfungslinie den einen oder anderen Buchstaben. Es prüft zudem die Länge der Verwerfungslinien und steuert so die Anzahl zu verwendender Buchstaben im Text-Element. Somit ist die masstabsabhängige Symbolisierung auch für Verwerfungslinien gewährleistet.

8.4.1.3 Textplatzierung

Auch die Platzierung des Textes erfolgt automatisch. Die Tabelle mit den geographischen Namen wird mit Hilfe von PHP aus der Datenbank gelesen und an Hand von Punktkoordinaten platziert. Für jede einzelne Beschriftung generiert PHP im SVG-Fragment ein Use-Element. Dieses ist mit einem Symbol referenziert. Beschriftungstypen ohne Symbol wird ein leerer Platzhalter übergeben. Bergspitzen und trigonometrischen Punkten das entsprechende Symbol. Platziert wird es an der Stelle, welche den Punktkoordinaten aus der Datenbank entspricht. Der Text wird als Attribut mitgeschickt. Die ECMAScript-Funktion generiert daraus ein Text-Element und platziert es rund um das Symbol gemäss der Reihenfolge in Abb. 8.5.

Im Platzierungsverfahren wird ausserdem überprüft, ob das Text-Element komplett innerhalb des Kartenausschnitts liegt. Gleichzeitig wird ein Array mit Hinderniseinträgen (andere Symbole und Text) geführt. Diese einfache Datenstruktur, auch Feld genannt, speichert allgemein Objekte so, dass ein Zugriff darauf über einen Index möglich wird. In diesem Feld befinden sich die Boundingboxen anderer Symbole und bereits platzierter Text-Elemente. Eine Boundingbox ist das kleinste Rechteck, das sich voll umschliessend um eine Geometrie oder einen Text zeichnen lässt. Bei der Textplatzierung wird überprüft, ob es zu Kollisionen mit diesen Elementen kommt. Falls ja, wird die nächstbeste Platzierungsmöglichkeit gewählt. Bei [WILLIAMS, 2005a] ist diese Textplatzierung etwas genauer beschrieben.

Der Algorithmus ist noch nicht optimiert. Es wurde kein iteratives Verfahren implementiert, das alternative Platzierungsmöglichkeiten testet, um zu einem potenziell besseren Resultat zu gelangen. Die Reihenfolge, in der die Beschriftungen gesetzt werden, hängt von der Reihenfolge ab, wie sie aus der Datenbank ausgelesen werden. Bei sehr vielen Beschriftungen wäre es daher essenziell, die Textelemente nach deren Wichtigkeit zu sortieren. Weitere Optimierungsmöglichkeiten beschreibt [VAN KREVELD ET AL., 1999] in seiner Abhandlung über Textplatzierung mit *Sliding Labels*. Dabei wird nicht nur von den acht starren, punktbezogenen Platzierungsmöglichkeiten ausgegangen, sondern die Textelemente können flexibel zum Bezugspunkt verschoben werden.

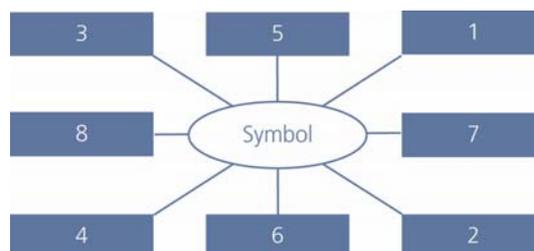


Abb. 8.5: Reihenfolge der Textplatzierung.

8.4.1.4 Dynamisches Laden von Rasterdaten

Für das dynamische Laden von Rasterdaten in der Karte wird das Open-Source-Programm UMN MapServer verwendet. Eine umfassende Anleitung zum Gebrauch dieser Software bietet [MAPSERVER, 2005] oder [CARTO.NET URL, 2005]. Der WMS-Webdienst MapServer muss auf dem verwendeten Webserver installiert sein. Dort liegen ausserdem die Rasterdaten im .tif-Format sowie die zugehörigen .wld-Dateien mit Informationen zur Georeferenzierung. Zusätzlich wird eine .map-Datei benötigt, die folgendermassen aufgebaut sein kann:

```

MAP
  NAME "Nisyros Slope Instability"
  STATUS ON
  SIZE 600 600
  EXTENT 778500 4048500 788500 4058500
  UNITS METERS
  SHAPEPATH "data"
  IMAGECOLOR 255 255 255
  OUTPUTFORMAT
    NAME png
    DRIVER "GD/PNG"
    FORMATOPTION QUALITY=70
    MIMETYPE "image/png"
    IMAGEMODE RGBA
    EXTENSION ".png"
    TRANSPARENT ON
  END
  PROJECTION
    "init=epsg:26911"
  END
  WEB
    METADATA
      WMS_TITLE "Nisyros Slope Instability"
      WMS_ONLINERESOURCE "http://www.carto.net/cgi-
williams/mapserv?map=/home/flueler/www/nisyros/mapserver/slope1.map&"
      WMS_SRS "EPSG:26911"
    END
  END
  LAYER
    NAME "slope12"
    GROUP "slope1"
    DATA "sc12.tif"
    TYPE RASTER
    STATUS ON
    MAXSCALE 15000
    METADATA
      WMS_TITLE "Nisyros Slope Classification 1"
      WMS_ABSTRACT "Nisyros Slope Classification 1, high Resolution"
      WMS_SRS "EPSG:26911"
    END
    PROJECTION
      "init=epsg:26911"
    END
    CLASSITEM "[pixel]"
    CLASS
      NAME "slopeclass_1_10"
      EXPRESSION ([red] = 204 AND [green] = 51 AND [blue] = 51)
      COLOR 255 255 217
    END
  ...
END
LAYER
  ...
END
  ...
END

```

Am Anfang der .map-Datei stehen allgemeine Angaben wie beispielsweise der Kartename, die Bildgröße, Koordinaten des maximalen Kartenausschnitts oder Längeneinheiten. *OUTPUTFORMAT* bestimmt das Ausgabeformat, den Farbmodus und die Bildqualität. Zudem wird die Transparenz des Kartenhintergrundes verändert. Daten werden nur für die Insel selbst angezeigt. Meeresflächen werden im Rasterbild transparent kodiert. Die Projektion wird im Eintrag *PROJECTION* definiert. Im Unterverzeichnis *METADATA* von *WEB* wird neben Titel und Projektion auch die URL zum WMS festgelegt:

Mit MapServer können in einer Kartenebene massstabsabhängig alternative Rasterbilder angezeigt werden. Dies setzt voraus, dass für jedes zu verwendende Bild ein *LAYER*-Abschnitt existiert. Jedem *LAYER*-Abschnitt wird darin die gleiche Gruppe bzw. Kartenebene (*GROUP* "slope1") zugewiesen. Mit den Parametern *MINSCALE* und *MAXSCALE* wird gesteuert, bei welchem Massstab welches Bild verwendet wird. In diesem Fall wird mit grösser werdendem Massstab die Auflösung von 10 auf 5 und dann auf 2 m verbessert. Damit erhält die Karte verschiedene Detaillierungsgrade, so genannte *Levels of Detail*.

Ausserdem werden im *LAYER*-Teil die Datenquelle, der *LAYER*-Name und zugehörige Metadaten aufgeführt. Mit *CLASSITEM* "[pixel]" können Klassen eingefärbt werden. Die definitive Farbwahl muss also erst hier festgelegt werden. Mehr zur Farbwahl im nächsten Abschnitt 8.4.1.

Der MapServer-Webdienst wird mit einer ECMAScript-Funktion in die Webapplikation eingebettet. Dieses erstellt eine Referenz auf die Gruppe der Kartenebene im SVG-Dokument, welche die Bilder enthalten soll. Dann überprüft es, ob das angeforderte Bild bereits geladen ist. Ist dies der Fall, wird das alte Bild entfernt und durch das neue ersetzt. Die Datenanfrage geschieht über eine URL, die den Kartenausschnitt beschreibt.

```
http://www.carto.net/cgi-williams/mapserv?map=/home/flueler/www/inisyros/mapserver/slope1.map
&SERVICE=WMS&VERSION=1.1.1&REQUEST=GetMap&LAYERS=slope1&STYLES=&SRS=EPSG:26911
&BBOX=778500,4048500,788500,4058500&WIDTH=600&HEIGHT=600&FORMAT=image/png
```

Der Servername, das CGI-Verzeichnis und der CGI-Applikationsname stehen am Anfang der URL. Danach folgt der absolute Pfad zur zugehörigen .map-Datei. Die Projektion und Seitenbegrenzung des angeforderten Kartenausschnitts in Bildkoordinaten sind mit *&SRS=EPSG:26911&BBOX=778500,4048500,788500,4058500* festgelegt. Die Höhe und Breite des resultierenden Bildes in Pixel wird mit *&WIDTH=600&HEIGHT=600* angegeben. Zum Schluss wird noch das Ausgabeformat definiert.

8.4.1.5 Farbliche Darstellung der Themen in der Gefahrenhinweiskarte

Die Farbgebung trägt zur Verständlichkeit des in der Karte dargestellten Themas bei. An dieser Stelle werden die Farben erläutert, die für die Themen der Gefahrenhinweiskarte verwendet wurden. Für die *Hangneigungsklassierungen* wurde eine Abstufung von beige zu braun gewählt. Dabei musste beachtet werden, dass die einzelnen Stufen unterscheidbar bleiben. Bei der Einfärbung der *geotechnischen Eigenschaften* wurden die Farben aus der Karte der geotechnischen Eigenschaften des GEOWARN-Projekts entnommen. Die *Hangstabilität* wurde mit der Abstufung violett-rot-gelb-grün dargestellt. Diese Farben sind international anerkannt und in vielen Gefahrenkarten anzutreffen. Für das *Schadenpotenzial* relevante Gebiete wurden hellrot eingefärbt. Für relevante *Stabilitätsklassen* wurden dieselben Farben wie bei der Hangstabilität verwendet. Die irrelevanten sind mit demselben Farbton dargestellt, jedoch etwas heller. Damit ist der Bezug zwischen Schadenpotenzial und Hangstabilität hergestellt.



Abb. 8.6: Kartenausschnitt Hangneigung.



Abb. 8.7: Kartenausschnitt geotechnische Eigenschaften.



Abb. 8.8: Kartenausschnitt Schadenpotenzial.



Abb. 8.9: Kartenausschnitt Hangstabilität.

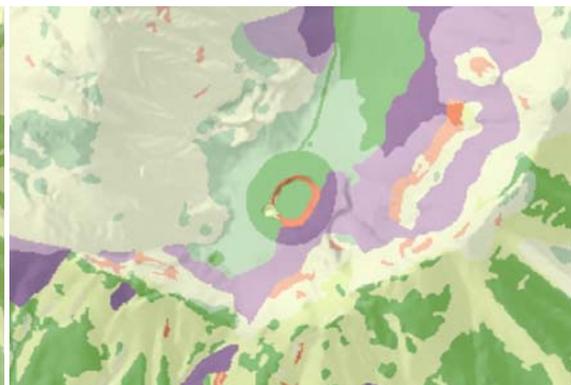


Abb. 8.10: Kartenausschnitt Konfliktzonen.

8.4.2 Räumliche Navigation

Die räumliche Navigation der Webapplikation verwendet mehrere Skripte von Andreas Neumann vom Institut für Kartographie der ETH Zürich. Skripte und Anweisungen zur Implementierung können auf der Webseite [CARTO.NET URL, 2005] heruntergeladen werden.

Die Skripte *mapApp.js*, *helper_functions.js*, *navigation.js* und *slider.js* müssen in die SVG-Datei eingebunden werden. Neben mehreren Navigationsinstrumenten wird auch eine kleine Übersichtskarte (Referenzkarte) angeboten, in der entsprechend zur Hauptkarte navigiert werden kann. Folgende Funktionalitäten stehen zur Verfügung:

- Zoom bis zu einem maximalen bzw. minimalen Wert
- Pan
- Aufziehen eines Vergrößerungsechtecks in der Hauptkarte
- Verschieben des Vergrößerungsrechtecks in Haupt- und Übersichtskarte
- Anzeigen der Vollansicht
- Setzen eines neuen Kartenmittelpunkts in der Hauptkarte
- Anzeigen der Koordinaten sowohl in der Haupt- als auch in der Referenzkarte

Bei der Implementierung muss darauf geachtet werden, dass das Verhältnis Länge zu Breite der Hauptkarte gleich demjenigen der Referenzkarte ist.

8.4.3 Ebenenkontrolle

Die Sichtbarkeit der Ebenenkontrolle, der Kartenebenen und der Legenden werden über das Attribut *"display"* gesteuert. Es wird per Skript entweder auf *"inherit"* oder *"none"* gesetzt. Bei diesem Attribut wird im Gegensatz zum alternativen Attribut *"visibility"* die Sichtbarkeit auch auf alle Unterobjekte vererbt, egal ob diese bereits einen Sichtbarkeitswert haben. Das Checkbox-Skript (ursprünglich Andreas Neumann IKA, ETH) regelt mit Hilfe des Identifikators der Checkbox auch die Sichtbarkeit des zugehörigen Checkboxkreuzes und der entsprechenden Kartenebene

Die Transparenz der verschiedenen Kartenebenen wird durch mehrere Schieberegler (*Slider*) gesteuert. Mit dem Slider-Skript können solche Schieberegler erstellt werden (siehe beiliegende DVD). Dabei wird eine Funktion übergeben, welche aufgerufen wird, wenn die Markierung auf dem Schieberegler verschoben wird. Die Aufgabe des Slider-Skripts ist es, die Position der Markierung auf dem Schieberegler in einen Transparenzwert zu übersetzen und diesen an das Transparenz-Skript weiterzugeben. Dieses setzt dann in der richtigen Kartenebene beim Attribut *opacity* den entsprechenden Wert ein.

8.4.4 Attributanzeige

8.4.4.1 Attributanzeige für Kartenobjekte

Beim Überfahren von Kartenelementen kann in der Attributanzeige abgelesen werden, worum es sich beim überfahrenen Objekt handelt. Im SVG-Dokument existiert ein Platzhalter-Textelement mit der *id "info_AttribMap"*. Die ECMAScript-Funktion *showData()* hängt daran ein Tspan-Element an, das den Text *"infoTitle"* enthält (vgl. beiliegende DVD). Die Funktion *textFlow()* holt dann den variablen Textinhalt des Attributs, fügt an der richtigen Stelle Zeilenumbrüche ein und hängt ihn ebenfalls an der Stelle *"info_AttribMap"* in das SVG-Dokument.

Im Fall der Geologie und der Landnutzung werden zusätzlich die entsprechenden Legendeneinträge hervorgehoben. Das Skript setzt die Strichstärke der Rechtecke von 0.65 auf 2. Symbole für Kirchen, Klöster und Kapellen werden beim Überfahren skaliert. Verlässt der Cursor ein Objekt, wird alles wieder in den Ausgangszustand zurück versetzt und der Text in der Attributanzeige gelöscht.

8.4.4.2 Anzeige von DHM-Attributen

Geländemodelldaten werden vom CGI-Programm Higrd in einem binären Format am Server gespeichert. Auf Anfrage extrahiert es Ausschnitte des Geländemodells und schickt diese an den Client. Für den Datentransport und das Parsen am Client werden die Daten in ein eigens definiertes XML-Format umgewandelt. Nach Erhalt der Daten liest ein ECMAScript-Programm die Höhenwerte ein und erstellt ein zweidimensionales Feld. Aus diesem Feld wird der Höhenwert jeder beliebigen Koordinate bilinear interpoliert.

Nachfolgend ein Beispiel einer URL, mit welchem der Client Geländemodelldaten von Higrd anfordert:

```
http://www.carto.net/cgi-williams/higrd.cgi?dsname=nisyros.bin
&xmin=778500&ymin=4048500&xmax=788500&ymax=4058500&resolution=32&
text%2Fsvg%2Bxml&get_data=Daten+liefere
```

Folgende Daten (gekürzt) schickt Higrad auf oben stehende Anfrage an den Client zurück:

```
<g id="dtm" xmlns:dtm="http://www.karto.ethz.ch/dtm">
...
<dtm:row id="dtmRow31">0 0 0 ... 126 118 102 77 54 64 101 107 126 ... 0 0 0</dtm:row>
<dtm:row id="dtmRow32">0 0 0 ... 30 364 386 374 348 105 103 81 83 ... 0 0 0</dtm:row>
<dtm:row id="dtmRow33">0 0 0... 103 106 118 132 147 148 171 180 ... 0 0 0</dtm:row>
<dtm:row id="dtmRow34">0 0 0 ... 149 134 110 123 112 127 145 161 ... 0 0 0</dtm:row>
<dtm:row id="dtmRow35">0 0 0 ... 140 173 187 189 176 140 118 144 ... 0 0 0</dtm:row>
...
</g>
```

Aus den Höhenwerten werden später die Hangneigung und die Exposition abgeleitet. Die Hangneigung ist als die maximale Änderung der Höhe in Richtung der Falllinie definiert. Die Exposition gibt die Kompassrichtung eines Hanges an [WEIBEL, 2002]. Die verwendete Lösung ist von [ZEVENBERGEN UND THORNE, 1987]. Dabei ergeben sich Hangneigung und Exposition aus einer lokalen quadratischen Oberfläche in einer 3x3-Matrix um den zu berechnenden Punkt (z_5).

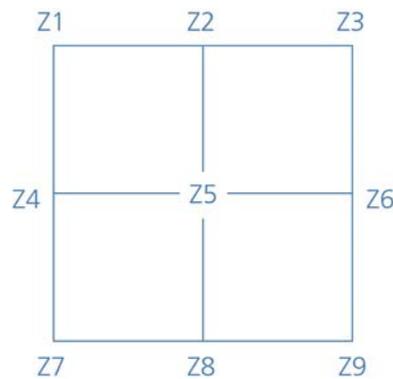


Abb. 8.11: Reihenfolge der Gitterpunkte in der 3x3-Umgebung [ZEVENBERGEN UND THORNE, 1987].

Die Punkte in der Matrix werden gemäss Abb. 8.11 von z_1 bis z_9 durchnummeriert. Die Maschenweite des Gitters wird mit d angegeben. Damit lassen sich mehrere Koeffizienten berechnen. Für die Hangneigung und Exposition sind g und h relevant.

$$g = (-z_4 + z_6) / 2d$$

$$h = (z_2 - z_8) / 2d$$

Aus diesen beiden Koeffizienten ergeben sich die Hangneigung und Exposition wie folgt:

$$\gamma = \sqrt{g^2 + h^2}$$

$$\theta = \arctan(-g/-h)$$

8.4.5 Legende

Das besondere an den Legendfenstern ist einerseits der interaktive Bezug zur Karte, andererseits die Tatsache, dass sie innerhalb des von SVG definierten Bildschirmausschnitts frei verschoben werden kann. Der bidirektionale Bezug wurde allerdings nur für zwei Kartenebenen umgesetzt (Vektordaten). In den folgenden beiden Abschnitten werden diese beiden Legendeneigenschaften genauer erklärt.

8.4.5.1 Bidirektionaler Bezug zwischen Karte und Legende

Wie bereits in der Attributanzeige für Kartenobjekte erwähnt wird der Bezug zwischen Karte und Legende für die Geologie und die Landnutzung teilweise von der Funktion `showData()` übernommen. Sie verändert die Strichstärke eines Legendeneintrages beim Überfahren eines Kartenobjektes. Bezug zwischen Karte und Legende ist für diese beiden Kartenebenen aber auch in die andere Richtung gewährleistet (vgl. Abb. 8.4). Wird ein Legendeneintrag angeklickt, wird die Kontur des zugehörigen Kartenobjekts dicker und leuchtet auf. Dies geschieht mit Hilfe der Funktionen `highlightFeatures(evt)` und `unHighlightFeatures(id)` (siehe beiliegende DVD).

Der Legendeneintrag und die Kartenebene sind über die `id` miteinander gekoppelt. Beim Anklicken liest die Funktion die `id` raus und schneidet davon den vordersten Teil `Rect` ab. Das entspricht dann der `id` der Kartenebene. Bei beiden werden nun die Attribute Strichfarbe auf `Aliceblue` und die Strichstärke in Abhängigkeit der Kartenbreite bzw. 2 gesetzt. Nach zwei Sekunden wird die Funktion `unHighlightFeatures(id)` ausgeführt. Diese setzt alle Attribute auf die ursprünglichen Werte zurück.

8.4.5.2 Verschiebbare Legenden

Die Grundlage für die verschiebbaren Legendenfenster (vgl. Abb 8.12) bildet der `MoveableButton` von SVG Programmers' Application Resource Kit (SPARK). Es handelt sich dabei um ein Open Source Projekt, das für Benutzerschnittstellen von Webapplikationen, die SVG und ECMAScript nutzen, ein komponentengestütztes Framework bietet [SPARK, 2005].

Die grundlegende Idee ist die *Model-View-Controller-Architektur*. Jede Komponente wird in die drei Einheiten Datenmodell (Model), Präsentation (View) und Programmsteuerung (Controller) aufgeteilt. Die verschiedenen Bestandteile einer Benutzerschnittstelle, beispielsweise Menüs, Rollbalken oder Fenster, werden in eigene Datentypen unterteilt. Sie bilden das Datenmodell. Durch die Benutzerschnittstelle werden sie präsentiert. Die Programmsteuerung bewältigt Ereignisse oder manipuliert den DOM-Baum. Durch diese Trennung kann jede Einheit separat verändert werden. [FETTES & MANSFIELD, 2004]

Beim Laden der SVG-Datei erhalten die Legendenfenster die Eigenschaften eines "Moveable Button". Die Gruppe, welche alle Legenden enthält, kann vom Benutzer ausgelöste Ereignisse verarbeiten. Sie enthält dazu eine Ebene (`eventCatcherLayer`), die alle Ereignisse registriert und an die globale SPARK-Klasse weiterleitet. Diese weist dann die Ereignisse den entsprechenden Legendenfenstern zu. [FETTES & MANSFIELD, 2004]

Klickt nun ein Benutzer auf eine Legende, setzt das Programm eine unsichtbare Markierung. Wenn er den Mauszeiger anschliessend bewegt, wird ein Umriss der Legende als Platzhalter verschoben. Die Geometrie selbst bleibt an Ort. Aus der ursprünglichen Position und der Bewegung des Mauszeigers berechnet das Programm einen Verschiebungsvektor. Wenn der Benutzer die Maus loslässt, wird die Legende an die Stelle verschoben, wo der Platzhalter am Schluss platziert wurde. Anschliessend wird die unsichtbare Markierung wieder gelöscht. Das Verschieben wird aus Gründen der Effizienz mit einem Platzhalter durchgeführt. Das Verschieben eines leeren Rechtecks benötigt weniger Berechnungszeit. [FETTES & MANSFIELD, 2004]

Die SPARK-Bibliothek bietet theoretisch noch weitere Komponenten für Benutzerschnittstellen. Für diese Webapplikation konnte aber nur der "Moveable Button" für Legenden verwendet werden. Alle anderen Komponenten waren nicht relevant.

8.4.6 Höhenprofil

Der Benutzer hat die Möglichkeit ein Höhenprofil für eine beliebige Profillinie zu generieren (vgl. Abb. 8.12). Darin werden Höhenstufen von dunkel (tief) zu hell (hoch) dargestellt. Zusätzlich werden die minimale und maximale Höhe angezeigt. Die Höhenstufenskala auf der rechten Seite des Profils gibt die Höhe in fixen Intervallen an. Fährt man mit der Maus über das Profil, läuft auf der Profillinie ein roter Kreis mit, der die momentane Lage in der Karte korrespondierend zum Profil anzeigt. Gleichzeitig wird im Profil die gegenwärtige Position hervorgehoben und die aktuelle Höhe angezeigt.

[WILLIAMS, 2005a] liefert ausführliche Erklärungen zur Berechnung und Darstellung eines Höhenprofils. An diesem Vorgang sind mehrere ECMAScript-Funktionen beteiligt. Das Herzstück bildet die Funktion `.getPointAtLength()` (vgl. beiliegende DVD). Diese setzt in bestimmten Abständen eine vorgegebene Anzahl Stützpunkte auf die Profillinie. Die Abstände variieren je nach Länge der Profillinie. Danach werden die Koordinaten der Stützpunkte berechnet und in einem Array gespeichert. Mit dem minimalen und maximalen Höhenwert wird die Überhöhung des Profils festgelegt.

Anschliessend wird das Profil am unteren Seitenrand der Karte gezeichnet. Zur besseren Lesbarkeit wird ein leicht transparentes Hintergrundrechteck zwischen die Karte und das Profil gelegt. Das Profil besteht aus kleinen, zweieinhalb Pixel breiten, vertikalen Rechtecken, die sich leicht überlappen. Eine Pfadgeometrie liegt über diesen Rechtecken und umrandet so das Profil. Somit wird der Treppenstufeneffekt überdeckt, der durch den Einsatz der Rechtecke entsteht.

Anschliessend werden bei den vertikalen Rechtecken Ereignisse (Events) eingebaut, die beispielsweise beim Überfahren mit der Maus ausgelöst werden. Ausserdem wird das Symbol erstellt, welches die momentane Position entlang der Profillinie anzeigt.

In Abhängigkeit der Profilhöhendifferenz werden die Intervalle der Höhenstufen festgelegt. Sie werden als transparente horizontale Rechtecke über die zuvor generierten vertikalen braunen Rechtecke gelegt. Mit der Grauwertabstufung der Höhenstufen entstehen braungraue Mischfarben. Mit dem Umrandungspfad werden die horizontalen Rechtecke auf die Fläche des Profils zugeschnitten. Zum Schluss wird das Profil beschriftet und Abstandsmarkierungen gesetzt.

8.4.7 Hilfsfunktionen

Autor der Funktion `toolTip(evt)` ist Olaf Schnabel vom Institut für Kartographie der ETH Zürich. Das Programm wurde allerdings geringfügig abgeändert. Ausgelöst wird sie beim Überfahren oder Anklicken von Knöpfen und Werkzeugen in der Benutzerschnittstelle. Sie setzt die Tool-Tipp-Gruppe in der SVG-Datei auf sichtbar. Dann liest sie das Tool-Tipp-Attribut des von der Maus überfahrenen oder angeklickten SVG-Elements aus und schreibt es als Text-Element in die Tool-Tipp-Gruppe. Zusätzlich erstellt sie darin ein Rechteck und hinterlegt damit den Text. Für die Platzierung werden die Koordinaten des Mauszeigers ausgelesen. Verlässt der Mauszeiger das SVG-Element wird die Gruppe wieder unsichtbar. Der Inhalt der Tool-Tipp-Gruppe wird überschrieben, sobald ein neues Objekt überfahren wird.

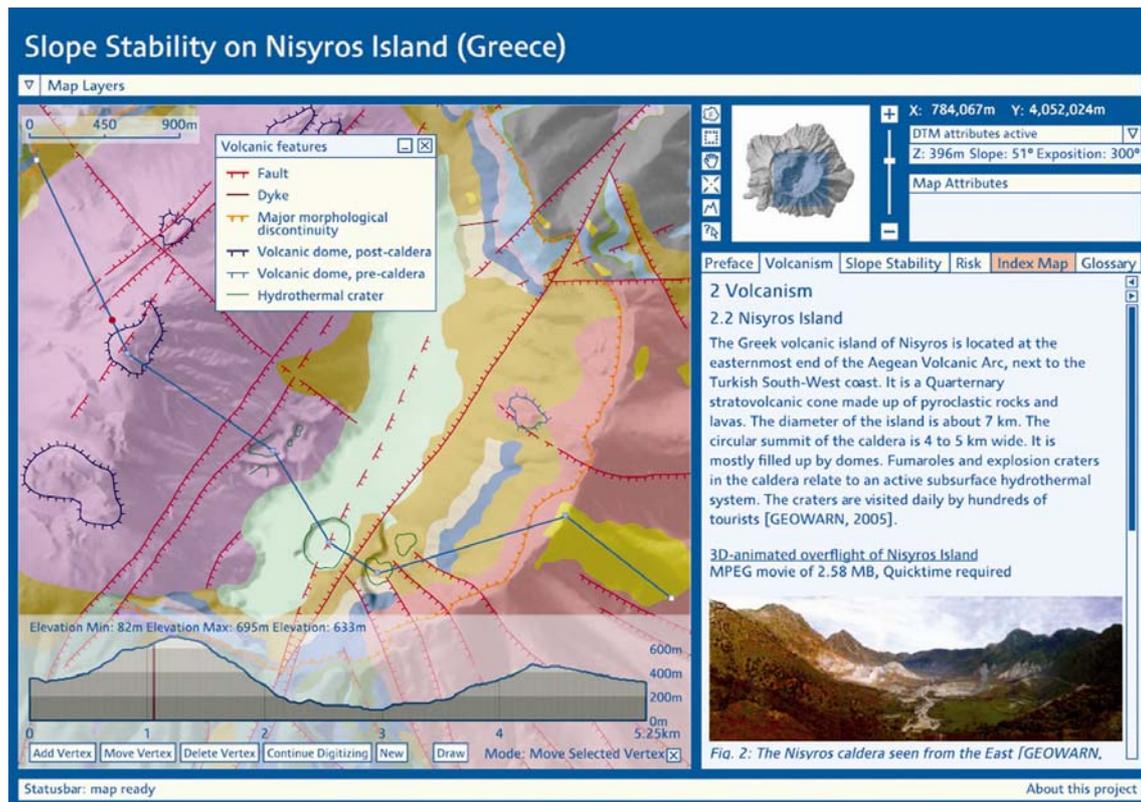


Abb. 8.12: Benutzerschnittstelle mit Höhenprofil.

8.4.8 Zusatzinformationen

In dieser Webapplikation werden heterogene Daten für die Zusatzinformationen wie Text, Bilder, Film und Links hierarchisch in einer XML-Datei gespeichert (vgl. Abb. 8.12). Das verwendete XML Format bedient sich bei einem XHTML Subset wurde jedoch an eigene Bedürfnisse angepasst. Ein *Parser* übersetzt den Inhalt der XML-Elemente in SVG. Diese ECMAScript-Funktion wird je nach Kapitel gleich beim ersten Laden der SVG-Datei oder vom Client aufgerufen, wenn dieser in der Kartei für Zusatzinformationen zwischen den Kapiteln blättert. Der Parser generiert aus dem Inhalt der XML-Elemente SVG-Elemente. Er platziert sie in der SVG-Datei am richtigen Ort ein und formatiert sie. Unten folgt ein Code-Beispiel des XML-Dokuments für Zusatzinformation sowie des zugehörigen XML-Schemas.

Die heterogenen Daten für die Zusatzinformationen hätten auch mit HTML (Hypertext Markup Language) angezeigt werden können. Die oben beschriebene Variante wurde aber bevorzugt, weil HTML und SVG momentan noch nicht ausreichend integriert werden können. Das bedeutet konkret, dass die Steuerung von HTML aus SVG heraus noch nicht zuverlässig in allen Browsern funktioniert.

XML-Schema zur Speicherung von Zusatzinformationen:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" elementFormDefault="qualified">
  <xs:element name="explanations">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element ref="page" maxOccurs="unbounded"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="h1" type="xs:string"/>
  <xs:element name="h2" type="xs:string"/>
  <xs:element name="img">
    <xs:complexType>
      <xs:attribute name="src" type="xs:anyURI" use="required"/>
      <xs:attribute name="width" type="xs:integer" use="required"/>
      <xs:attribute name="height" type="xs:integer" use="required"/>
      <xs:attribute name="title" type="xs:string" use="required"/>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
  <xs:element name="p" type="xs:string"/>
  <xs:element name="source" type="xs:string"/>
  <xs:element name="page">
    <xs:complexType>
      <xs:choice maxOccurs="unbounded">
        <xs:element ref="h1"/>
        <xs:element ref="p"/>
        <xs:element ref="img"/>
        <xs:element ref="h2"/>
        <xs:element ref="source"/>
      </xs:choice>
      <xs:attribute name="id" type="xs:ID" use="required"/>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
</xs:schema>
```

Strukturierung der heterogenen Daten in der XML-Datei.

```
<explanations xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="explanations.xsd">
  <page id="subTabVolcanism1" xOffset="7.5" yOffset="30" width="375" height="440">
    ...
  </page>
  <page id="subTabVolcanism2" xOffset="7.5" yOffset="30" width="375" height="440">
    <h1>2 Volcanism</h1>
    <h2>2.2 Nisyros Island</h2>
    <p>Here is a paragraph.</p>
    <a href="http://www.carto.net/flueler/nisyros/movie.html" target="new">Flight over
Nisyros.</a>
    <p>MPEG movie of 2.58 MB, Quicktime required</p>
    
    
  </page>
  <page id="subTabVolcanism3" xOffset="7.5" yOffset="30" width="375" height="440">
    ...
  </page>
  ...
</explanations>
```

8.4.9 Gefahrenhinweiskarte für die Hangstabilität auf Nisyros

Der Erstellungsablauf für die Gefahrenhinweiskarte wurde bei den Zusatzinformationen integriert. Damit ist ein einheitliches Bedienungsprinzip garantiert. Zu Beginn wird ein Überblick über den Modellierungsablauf gegeben. Danach können die Benutzer die einzelnen Modellierungsschritte Schritt für Schritt durchführen (vgl. Abb. 8.13). Die Navigation zwischen den einzelnen Schritten funktioniert wie die den Unterkapiteln der Zusatzinformation. Die Funktion, welche zur Anzeige von Kartenebenen und Bestandteilen in der Benutzerschnittstelle aufgerufen wird, ist `showPanel(panellist)`. Dabei wird eine Liste mit Gruppennamen übergeben. Dabei handelt es um die Kartenebenen und Bestandteile, welche sichtbar werden sollen. Die Kartenebenen der Gefahrenhinweiskarte werden auf diesen Befehl hin mit `getRaster()` geladen.

```
function showPanel(panellist) {
  for (var i=0;i<panellist.length;i++) {
    document.getElementById(panellist[i][0]).setAttributeNS(null,"display",panellist[i][1]);
    if (panellist[i][1] == "inherit") {
      if (panellist[i][0].match(/(^slope\d)|(^hazard\d)|(^hrisk\d)|(^irisk\d)|(^idampot\d)|(^hdampot\d)/)) {
        getRaster(panellist[i][0],26911,"png");
      }
    }
  }
  if (myMainMap.photoActive) {
    removePhotoIcons();
    myMainMap.photoActive = false;
  }
}
```

Speziell ist der letzte Schritt in der Erstellung der Gefahrenhinweiskarte (vgl. Abb. 8.13). Hier kann der Benutzer seine zuvor erzeugte Karte an bestimmten Orten auf Plausibilität visuell überprüfen. Es werden verschiedene Photos mit Kommentaren bereitgestellt. Diese Daten sind separat in einer XML-Anwendung gespeichert. Ein Parser liest sie aus und zeigt sie in der Benutzerschnittstelle an. Zusätzlich wird ein Symbol generiert, das Aufnahmestandort und -richtung anzeigt, wenn der Benutzer einen Ort auf der Insel auswählt. Der Kartenausschnitt wird automatisch um diese Stelle zentriert. Das Symbol verschwindet beim Ausblenden des entsprechenden Modellierungsschrittes.

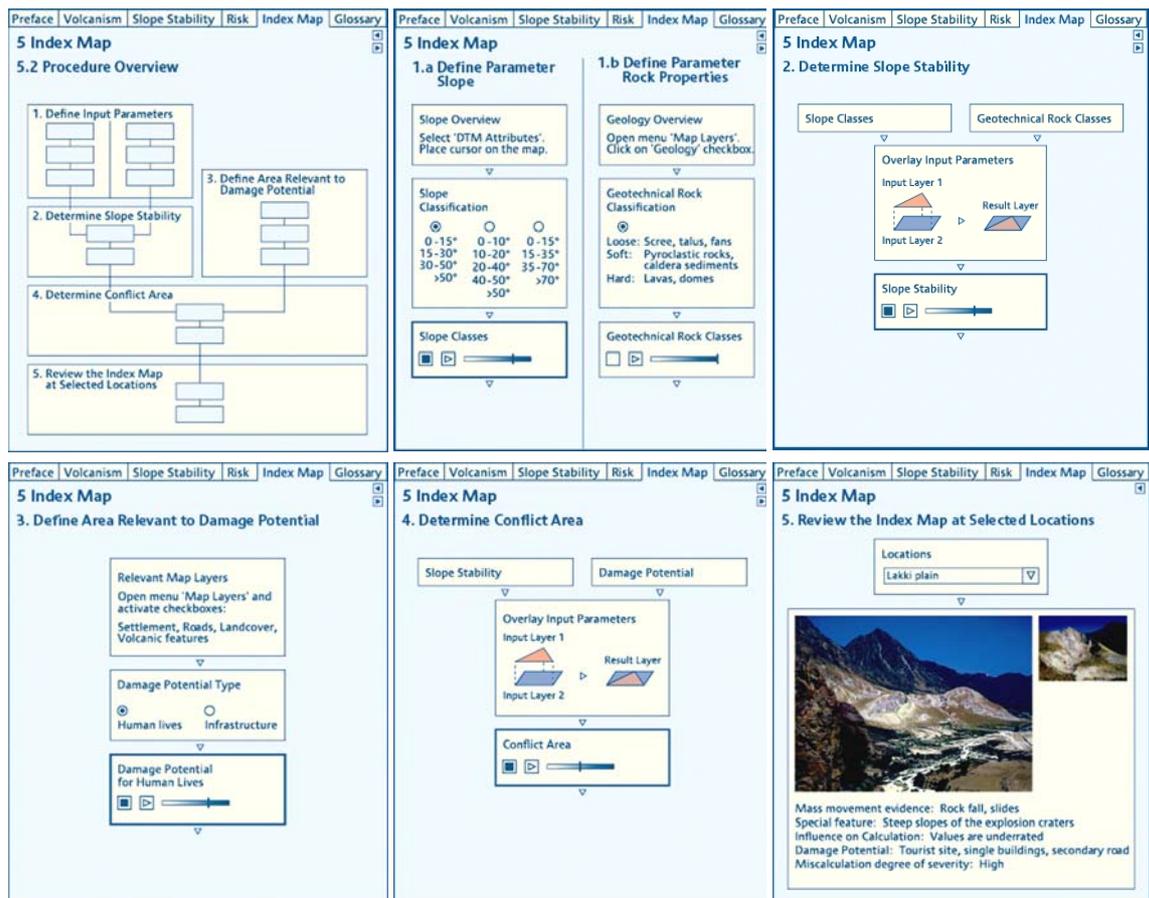


Abb. 8.13: Überblick über die einzelnen Schritte des Erstellungsablauf.

9 Evaluierung

Zur Entwicklung einer Software wie die Webapplikation dieser Diplomarbeit gehört nicht nur die Implementierung, sondern auch die Überprüfung des Endprodukts. Kann der Benutzer mit der zur Verfügung stehenden Funktionalität auf die relevanten Informationen zugreifen? Erst wenn dies der Fall ist, ist die Webapplikation in der Praxis auch einsetzbar. Zur Beurteilung des Prototyps wurde deshalb eine Evaluierung durchgeführt.

Die Evaluierung besteht aus zwei Teilen. Im Abschnitt 9.1 wird die Umsetzung der Anforderungsspezifikation überprüft. Im zweiten Teil wird der Prototyp mit einer empirischen Untersuchung von potenziellen Benutzern bewertet. Erläuterungen zur Methodik der Benutzerbefragung sind im Abschnitt 9.2 zu finden. Die Resultate der Befragung und deren Diskussion befinden sich im Abschnitt 9.3.

9.1 Umsetzung der Anforderungsspezifikation

Zur Beurteilung der Webapplikation ist es wichtig, die Umsetzung der Anforderungsspezifikationen zu überprüfen. So können eventuelle Schwachpunkte erkannt und Verbesserungs- und Erweiterungsmöglichkeiten für eine allfällige Weiterentwicklung vorgeschlagen werden.

9.1.1 Funktionale Anforderungen

Tab. 9.1 zeigt auf, dass die Punkte der Kategorien Must- und Should-Anforderungen beinahe vollständig implementiert werden konnten. Es ist ebenfalls ersichtlich, dass hauptsächlich Anforderungen mit niedriger Priorität nicht realisiert wurden. Von den Could-Anforderungen wurden rund zwei Drittel nicht umgesetzt, von den Would-Anforderungen gar keine. Dafür gibt es zwei Gründe. Die Applikation sollte sich auf das Wesentliche beschränken, sowohl (karto-)graphisch als auch inhaltlich. Was nicht in einem direkten Zusammenhang zum Thema Hangstabilität stand, wurde weggelassen. Mit dieser *Beschränkung auf das Wesentliche* wird die Benutzerschnittstelle *graphisch entlastet*. Der Benutzer wird weniger abgelenkt, er kann sich deshalb besser auf das Essenzielle konzentrieren. Ausserdem mussten auf Grund des zeitlichen Rahmens Abstriche in der Implementierung gemacht werden.

Die *freie Farbwahl* für Kartenelemente wurde weggelassen, da in einer Gefahrenhinweiskarte mit der gewählten Farbe eine konkrete Aussage gemacht werden soll. Die *Angabe von Länge und Breite* des Kartenausschnitts war überflüssig, da zum Ablesen von Distanzen bereits eine graphische Massstabsleiste eingebaut wurde. Der Zoomfaktor wurde nicht implementiert, da dieser neben einer *Referenzkarte*, die den dargestellten Kartenausschnitt im ganzen Gebiet abbildet, relativ wenig Aussagekraft besitzt. Die *Reliefschattierung* steht genauso wenig in einem direkten Zusammenhang mit dem Hauptthema Hangstabilität. Darüber hinaus wurde es nicht als notwendig erachtet, dass der Benutzer *Orte lokalisieren* und *Routen anzeigen* kann. Dies auf Grund der Tatsache, dass die Insel Nisyros relativ klein und übersichtlich ist.

Auch der zeitliche Rahmen zwang zu einigen Abstrichen in der Implementierung. Deshalb wurde weiteres Analysewerkzeug wie zum Beispiel das Anzeigen von Statistiken nicht

realisiert. Frei wählbare Klassierungsmöglichkeiten von Hangneigung und geotechnischen Eigenschaften hätten einen beträchtlichen Mehraufwand bedeutet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die Einteilung nach Prioritäten bewährt hat und nur Werkzeuge weggelassen werden mussten, die von geringerer Bedeutung waren oder im Rahmen der Applikation wenig Sinn machten. Ob die Auswahl von Werkzeugen richtig war, zeigt sich in der Beurteilung durch potenzielle Benutzer im Abschnitt 9.3.

Funktionen	Priorität	Umgesetzt	Nicht umgesetzt
Thematische Navigation und Orientierung	1 Must	1 Ein-/ausschaltbare Kartenebenen	
Räumliche Navigation und Orientierung	1 Must	Zoom Pan Referenzkarte	
	2 Should	Ganzer Kartenausschnitt anzeigen Graphische Massstabsleiste Koordinatenangabe	Orte lokalisieren
	3 Could	Übersichtskarte	Länge / Breite des Kartenausschnitts anzeigen Zoomfaktor anzeigen
	4 Would		Routen anzeigen
Visualisierungsfunktionen	1 Must	Zusatzinformationen zu Hangstabilität	
	2 Should	Transparenz von Kartenebenen ändern	
	3 Could	Zusatzinformationen zu Analysefunktionen	Farben ändern
	4 Would		Reliefschattierung ändern
Analysefunktionen	1 Must	Vorgegebene geotechnische Klassen Vorgegebene Hangneigungsklassen Attributwerte zeigen	
	2 Should	Legendenelemente hervorheben Kartenelemente hervorheben	
	3 Could		Statistiken anzeigen
	4 Would		Weitere Analysewerkzeuge Wählbare Hangneigungsklassen Wählbare geotechnische Klassen

Tab. 9.1: Umsetzung der funktionalen Anforderungen.

9.1.2 Farbe als nicht-funktionale Anforderung

Zur Ermittlung der geeigneten Darstellung der Themen in der Gefahrenhinweiskarte wurde die graphische Variable Farbe untersucht. Ihre umgesetzten Ausprägungen für die Hangneigung, die geotechnischen Eigenschaften, die Hangstabilität, das Schadenpotenzial und die Konfliktzonen sind in der Tab. 9.2 aufgeführt. Dabei fällt auf, dass nur Must-Ausprägungen vollumfänglich erfüllt wurden. Wie schon bei der Funktionalität wurden Ausprägungen mit höherer Priorität generell eher umgesetzt als solche mit geringerer Priorität. Die geringe Anzahl von umgesetzten Ausprägungsvorschlägen hängt damit zusammen, dass die einzelnen Themen eine beschränkte Anzahl Ausprägungen erforderten oder diese sich gegenseitig

ausschliessen konnten. So erforderte beispielsweise das Thema Schadenpotenzial nur eine Farbe für relevante Gebiete. Für die geotechnischen Eigenschaften wurde eine Standard-Legende verwendet, die bestimmte Farben vorgab. Andere Farben konnten deshalb nicht berücksichtigt werden.

	Priorität	Umgesetzt	Nicht umgesetzt
Hangneigung	1 Must	Verlauf oder Stufen, Übergang hell-dunkel	
	2 Should	Gelb, Braun	
	3 Could		Weiss, Grün
	4 Would		Orange, Rot, Violett, Blau, Grün
Geotechnische Eigenschaften	1 Must	Standard-Legende	
	2 Should	Grün	Grau
	3 Could	Rot	Blau, Braun
	4 Would	Weiss	Gelb, Orange, Violett, Übergang hell-dunkel
Hangstabilität	2 Should	Verlauf oder Stufen, Rot, Grün	Braun, Grau, Übergang hell-dunkel, Vektoren
	3 Could	Gelb	Abhängig von Hangneigung und geotechnischen Eigenschaften
	4 Would	Blau	Weiss, Orange, Violett
Schaden-potenzial	1 Must	Rot	
	2 Should		Violett, Blau
	3 Could		Braun, Gelb, Verlauf oder Stufen, Weiss
	4 Would		Orange
Konfliktzonen	1 Must	Rot	
	2 Should	Gelb, nicht wie die Schweizer Lawinengefahrenstufen	
	3 Could	Grün, Verlauf oder Stufen	Abhängig von Schadenpotenzial oder Hangstabilität, Braun, Orange
	4 Would	Violett	Weiss, Blau, Grau, Übergang hell-dunkel

Tab. 9.2: Umsetzung der Randbedingung Farbe in der Gefahrenhinweiskarte.

9.2 Methodik der Benutzerbefragung

Die Beurteilung der Webapplikation durch potenzielle Benutzer bestand aus vier Teilen, die in der folgenden Reihenfolge durchgeführt wurden:

- Einarbeitung
- Testaufgaben
- ISONORM-Beurteilungsbogen
- Kartographischer Beurteilungsbogen

In der *Einarbeitung* durften die Befragten die Applikation während etwa 10 bis 15 Minuten frei testen. Ziel war es, einen Überblick über die Funktionen und die Anordnung der Benutzerschnittstelle zu gewinnen. Danach wurden mehrere *Testaufgaben* gelöst. Mit Kontrollfragen konnte überprüft werden, ob die Aufgaben richtig gelöst wurden. Nach dem

praktischen Teil wurde der *ISONORM-Beurteilungsbogen* ausgefüllt. Zum Schluss wurden die Fragen des *kartographischen Beurteilungsbogens* beantwortet.

Der *ISONORM-Beurteilungsbogen* (siehe Anhang B) ist ein Instrument zur Prüfung der software-ergonomischen Qualität gemäss den Gestaltungsprinzipien der ISO-Norm 9241/10 in Kapitel 5 [SOZIALNETZ URL, 2005]. Er beinhaltet 35 Fragen. Zur Beantwortung steht eine siebenstufige Skala zur Verfügung, mit welcher die Benutzer ihre Zustimmung oder Ablehnung ausdrücken können. Die Skala von -3 bis +3 wird in der Diskussion folgendermassen übersetzt: sehr schlecht (-3 bis -2), schlecht (-2 bis -1), ungenügend (-1 bis 0), genügend (0 bis 1), gut (1 bis 2) und sehr gut (2 bis 3). Bei allen Fragen wurde eine Antwortmöglichkeit 'Weiss nicht' angefügt. Damit können nicht relevante Fragen beantwortet werden.

Der *ISONORM-Beurteilungsbogen* kann zur Evaluierung von bereits eingesetzter Software sowie von Prototypen beim iterativen Entwicklungsprozess verwendet werden. Da die Fragen aber sehr allgemein formuliert sind, liefert er nur erste Hinweise auf ergonomische Schwachstellen [SOZIALNETZ URL, 2005]. Für eine kartographische Applikation wie der entwickelte Prototyp ist dieser Beurteilungsbogen in manchen Teilen nicht zutreffend oder zu vage formuliert. Aus diesem Grund wurde in einem vierten Teil eine *kartographische Beurteilung* durchgeführt. Er basiert auf einer Zusammenstellung von kartographischen Kriterien, die aus Aspekten der Multimedia- und Webkartographie von [SIEBER, 2005] abgeleitet wurden. Es sind dies:

- Kartengestaltung
- Interaktivität
- Visualisierung
- Analyse
- Navigation und Orientierung
- Multidimensionalität
- Medienkombination
- Gestaltung der Benutzerschnittstelle (Screen Design)

Da diese Aspekte sich zum Teil inhaltlich überschneiden, wurden nicht alle in der kartographischen Beurteilung behandelt. Der Teil *Kartengestaltung* stützt sich auf das 'Plädoyer für eine attraktive Kartengraphik' von [RÄBER & JENNY, 2002]. Sie liefern folgende Teilkriterien:

- Layout
- Symbolisierung
- Schrift
- Farben.

Die Teilkriterien der *Interaktivität* entsprechen den Funktionsgruppen von [BÄR & SIEBER, 1997], welche bereits im Abschnitt 6.3 erklärt wurden.

Die Teilkriterien des *ISONORM-Beurteilungsbogen*, der *Kartengestaltung* und der *Interaktivität* beinhalten auch Fragen zur *Analyse* sowie *Navigation*, *Orientierung*, *Benutzerschnittstelle* und *Visualisierung*. Deshalb werden zu diesen Aspekten keine zusätzlichen Fragen gestellt. Die *Multidimensionalität* ist für diese Applikation weniger relevant. Sie kann aber als Erweiterungsmöglichkeit für das Verständnis des Themas betrachtet werden. Beispielsweise, wenn verschiedene Variablen gleichzeitig dargestellt und in einen Zusammenhang gesetzt

werden. Die *Medienkombination* ist ein sehr umfassendes Thema. Aus Zeitgründen wird sie in diesem Beurteilungsbogen nur mit einer Frage behandelt.

Formal wurde der kartographische Beurteilungsbogen wie der ISONORM- Beurteilungsbogen aufgebaut. Die Fragen konnten ebenfalls mit einer siebenstufigen Skala beantwortet werden. Bei allen Fragen stand zusätzlich die Antwortmöglichkeit 'Weiss nicht' zur Verfügung.

9.3 Diskussion der Resultate

In diesem Abschnitt wird präsentiert, wie die Resultate der Benutzerbefragung ausgefallen sind. Für das Kriterium Usability wird ein Überblick über die einzelnen Teilkriterien gegeben (Designprinzipien). Die einzelnen Fragen werden im Text behandelt, wenn sie durch bestimmte Besonderheiten auffallen. Bei den Kriterien Kartengestaltung und Interaktivität werden die einzelnen Fragen genauer betrachtet. Die Weiss-nicht-Antworten werden bei allen Teilkriterien oder Fragen als Hinweis auf deren Relevanz verwendet.

9.3.1 Profil der Befragten

Zur Einschätzung der Beurteilung ist es wichtig zu wissen, welche Erfahrungen die zwölf Befragten im Umgang mit Papier- und Bildschirmkarten mitbringen. Die Webapplikation soll auch für Personen ohne spezifisches Fachwissen bezüglich des dargestellten Themas und ohne Erfahrung im Umgang mit Bildschirmkarten und GIS verwendet werden können. Aus diesem Grund wurden neben den Fragen auch Daten zu den Erfahrungen der Befragten erhoben. Auf einer Skala von 1 bis 7 mussten die Befragten ihre Kenntnisse im Lesen von Papierkarten, Lesen von Bildschirmkarten, Erstellen von Bildschirmkarten und Arbeiten mit GIS-Programmen einschätzen.

Tab. 9.3 zeigt die durchschnittlichen Erfahrungen der insgesamt zwölf Befragten. Der durchschnittliche Befragte kann sehr gut Papierkarten lesen, hat etwas weniger gute Kenntnisse im Kartenlesen am Bildschirm. Er hat mehrere Bildschirmkarten erstellt und einige Male mit GIS gearbeitet. Tab. 9.3 zeigt ausserdem eine Aufteilung der Befragten in zwei Gruppen. Die sechs Befragten der ersten Gruppe haben sehr viel Erfahrung mit Bildschirmkarten. Sie haben solche schon selber erstellt. Sie kennen sich auch gut bis sehr gut aus mit GIS. Die sechs Personen in der zweiten Gruppe kennen vor allem Papierkarten und haben auch schon Kartenlesen am Bildschirm praktiziert. Sie haben noch nie eine Bildschirmkarte erstellt und haben überhaupt keine Ahnung von GIS.

Der letzte Punkt "Beherrschung des Prototyps" zeigt die Selbsteinschätzung nach dem Lösen der Testaufgaben. Die erfahrenen Befragten der Gruppe 1 schätzen sich in der Beherrschung besser ein als die weniger erfahrenen Personen der Gruppe 1. Gesamthaft gesehen haben die Befragten die Webapplikation mehr als gut (5,83 Punkte) im Griff. Die nachfolgende Diskussion der Befragungsergebnisse bezieht sich sowohl auf den Durchschnitt aller Befragten als auch auf die einzelnen Gruppen.

9.3.2 Berechnete Werte

Die Evaluierungswerte wurden auf folgende Art und Weise berechnet: Aus den Antworten wurde pro Frage der Durchschnitt der Befragtengesamtheit und der einzelnen Gruppen berechnet. In diesen *durchschnittlichen Beurteilungswert einer Frage* flossen Weiss-nicht-Antworten als Nullwerte ein. Zusätzlich wurde der *prozentuale Anteil von Weiss-nicht-Antworten* an der Gesamtheit aller Antworten einer Frage berechnet.

Anschliessend wurde pro Teilkriterium der Antwortendurchschnitt der Befragtengesamtheit und der Gruppen ermittelt (*durchschnittlicher Beurteilungswert eines Teilkriteriums*). In Bezug auf die Teilkriterien wurden die *durchschnittlichen prozentualen Anteile von Weiss-nicht-Antworten* berechnet.

Für den Überblick über die Kriterien Usability, Interaktivität und Kartengestaltung wurde ausserdem der Antwortendurchschnitt aller Fragen eines Kriteriums berechnet (*durchschnittlicher Beurteilungswert eines Kriteriums*). Weiss-nicht-Antworten wurden in diesem Überblick nicht berücksichtigt.

Erfahrungen der Befragten	Gruppe 1			Gruppe 2			Gesamt		
	ø	Min	Max	ø	Min	Max	ø	Min	Max
Papierkarten lesen	7.00	7	7	5.67	5	7	6.33	5	7
Bildschirmkarten lesen	7.00	7	7	3.67	2	4	5.33	2	7
Bildschirmkarten erstellen	5.50	4	7	1.33	1	2	3.42	1	7
Erfahrungen mit GIS	5.17	3	7	1.00	1	1	3.08	1	7
Beherrschung des Prototyps	6.50	6	7	5.17	4	6	5.83	4	7

Tab. 9.3: Erfahrungen der Befragten.

Steuerbarkeit	Gruppe 1							Gruppe 2							Gesamt	
	1	2	3	4	5	6	ø	7	8	9	10	11	12	ø	ø	
Frage 2.1	1	1	2	2	2	2	1.67	-1	1	0	3	1	1	0.83	1.28	
Frage 2.2	3	2	3	2	2	2	2.33	1	2	0	1	2	2	1.33	1.87	
Frage 2.3	2	1	3	1	1	2	1.67	2	2	0	3	2	3	2.00	1.82	
Frage 2.4	2	0	2	2	1	2	1.50	1	1	2	3	2	2	1.83	1.65	
Frage 2.5	2	0	2	3	1	1	1.50	-1	2	1	3	2	3	1.67	1.58	
Total							1.73							1.53	1.64	

Tab. 9.4: Beispiel zur Berechnung der Beurteilungswerte.

9.3.3 Usability

Da der ISONORM-Beurteilungsbogen nur erste Hinweise auf die Gebrauchstauglichkeit einer Software liefert, wird dieser nicht im Detail diskutiert. Abb. 9.1 fasst die Teilkriterien der Benutzerfreundlichkeit zusammen. Sie zeigt die *durchschnittlichen Beurteilungswerte der Teilkriterien*. Daraus geht hervor, dass der Prototyp bezüglich aller Teilkriterien der Software-Ergonomie positiv beurteilt wurde. Die durchschnittlichen Beurteilungswerte von fünf der sieben Punkte liegen im obersten Viertel der Beurteilungsskala, und zwar zwischen 1,63 und 1,92, das heisst im Bereich "gut". Der Teilkriterium Aufgabenangemessenheit wurde am besten bewertet, knapp gefolgt von der Steuerbarkeit und der Erwartungskonformität. Die Individualisierbarkeit mit 0,13 und die Fehlertoleranz mit 0,97 liegen deutlich unter den übrigen durchschnittlichen Beurteilungswerten. Aus Abb. 9.1 können zudem die

durchschnittlichen prozentualen Anteile von Weiss-nicht-Antworten für die Teilkriterien abgelesen werden. Ein hoher Anteil, stellt die Relevanz eines Teilkriteriums in Frage. Diesbezüglich fallen vor allem die Fehlertoleranz mit 50 Prozent und die Individualisierbarkeit mit 42 Prozent auf. In Bezug auf eine der Diskrepanz zwischen den beiden Gruppen sticht kein Teilkriterium hervor. Bei den relevanten Teilkriterien waren sich die beiden Gruppen am ehesten in Bezug auf die Lernförderlichkeit uneinig. Gruppe 2 mit den weniger erfahrenen Kartenlesern stufte die Lernförderlichkeit mehr als 0,5 Punkte geringer ein als die Personen in Gruppe 1.

Die *Aufgabenangemessenheit* bezeichnet die Unterstützung oder allfällige Belastung, die ein Benutzer bei der Erledigung seiner Arbeitsaufgaben von einer Software erfährt. Aus den einzelnen Fragen (vgl. Anhang C) geht hervor, dass gemäss aller Befragten der Prototyp mit 2,67 Punkten sehr gut auf die Anforderungen der Arbeit zugeschnitten ist (Frage 1.5). Auch in Bezug auf die vorhandenen Funktionen zur effizienten Aufgabenbewältigung (Frage 1.2) und auf überflüssige Eingaben (Frage 1.4) wurde die Beurteilung "sehr gut" abgegeben. Die Bedienung des Prototypen (Frage 1.1) wurde von der Gruppe 1 mit mehr Erfahrung besser beurteilt als von Gruppe 2, im Durchschnitt reichte es für gute 1.75. Die erfahrenen Personen fanden sich in der Bedienung besser zurecht. In Bezug auf sich häufig wiederholende Bearbeitungsvorgänge (Frage 1.3) war den meisten Befragten nicht klar, wo diese im Prototyp erfolgen. Diese Tatsache zeigt sich im hohen Anteil von Weiss-nicht-Antworten (50 Prozent). Diese Frage wird darum als weniger relevant betrachtet.

Selbstbeschreibungsfähigkeit ist die Eigenschaft einer Software, genügend verständlich zu sein und ausreichend Erläuterungen zu bieten. Bei diesem Prototyp wurde sie als gut empfunden (1,63 Punkte). Alle *durchschnittlichen Beurteilungswerte* der Fragen liegen im Bereich "gut". Dazu gehören der Überblick über das Funktionsangebot (Frage 2.1), verständliche Bezeichnungen oder Symbole (Frage 2.2), Informationen über zulässige Eingaben (Frage 2.3) und situationspezifische Erklärungen (Fragen 2.4 und 2.5). In Bezug auf verständliche Bezeichnungen oder Symbole war die Uneinigkeit zwischen den Gruppen am deutlichsten (1,00 Punkte). Dies könnte darauf zurück zu führen sein, dass Symbole und Bezeichnungen verwendet wurden, die für Bildschirmkarten üblich sind. Hat nun ein Benutzer wenig Erfahrung damit, bereitet die Verständlichkeit Mühe.

Der Einfluss des Benutzers auf die Arbeitsweise mit der Software wird als *Steuerbarkeit* bezeichnet. Die Möglichkeit, die Arbeit ohne Verluste an jedem Punkt zu unterbrechen, wurde am schlechtesten beurteilt, liegt aber immer noch im Bereich "gut" (Frage 3.1). Den Befragten war nicht klar, worauf sich diese Eigenschaft bezog. Im Erstellungsablauf für die Gefahrenhinweiskarte sind Unterbrechungen ohne Verluste möglich. Wird aber das Browserfenster geschlossen, fängt der Benutzer mit dem Erstellungsablauf wieder von vorne an. Dies widerspiegelt sich in einem prozentualen Anteil von 33 Prozent Weiss-nicht-Antworten. Mit den aktuellen technischen Möglichkeiten wäre die Behebung dieses Problems ein erheblicher Mehraufwand. Folgende zwei Lösungsmöglichkeiten existieren, um die Arbeit nach dem Schliessen des Browserfensters am gleichen Ort fortsetzen zu können: Es könnten Benutzerprofile mit einem Log-In angelegt werden. Dies kann von den Benutzern jedoch schnell als lästig empfunden werden. Oder es könnten Browser-Cookies verwendet werden. Damit ist der Benutzer allerdings auf einen Computer limitiert, weil damit nicht ohne Weiteres Einstellungen auf andere Computer, Browser oder Benutzerprofile übertragen werden können. Die unnötig starre Einhaltung von Bearbeitungsschritten wurde mit "gut" beurteilt (Frage 3.2: 1,50). Auch dies bezogen die Befragten vor allem auf den Erstellungsablauf der Gefahrenhinweiskarte. Bezüglich Wechsel zwischen Menüs (Frage 3.3: 2,17), Einfluss auf die

am Bildschirm dargestellten Informationen (Frage 3.4: 2,33) und unnötigen Unterbrechungen (Frage 3.5: 2,17) wurde der Prototyp als "sehr gut" bewertet. Keine dieser Fragen verzeichnen einen Unterschied zwischen den beiden Gruppen.

Erwartungskonformität untersucht, ob die Gestaltung der Benutzerschnittstelle den Erwartungen und Gewohnheiten der Benutzer entspricht. Der Prototyp wurde bezüglich dieser Eigenschaft zusammenfassend mit 1,88 Punkten bewertet. Die erleichterte Orientierung (Frage 4.1: 2,00) durch eine einheitliche Gestaltung, vorhersehbare Bearbeitungszeiten (Frage 4.4: 2,17) und das einheitliche Bedienungsprinzip wurden sehr gut aufgenommen (Frage 4.5: 2,17). Die übrigen Fragen zu erfolgreichen Eingaben (Frage 4.2: 1,67) und Statusinformationen (Frage 4.3: 1,42) wurden als "gut" eingestuft. Die grösste Abweichung zwischen den beiden Gruppen ist bei den erfolgreichen Eingaben und beim einheitlichen Bedienungsprinzip zu finden. In beiden Fällen erteilt die Gruppe der erfahrenen Kartenleser deutlich geringere Werte. Die erfolgreichen Eingaben könnten deshalb schlechter bewertet worden sein, weil die Statusanzeige an zu wenig prominenter Stelle platziert ist. Dies ist nur von den Befragten der ersten Gruppe bemängelt worden. In Bezug auf das Bedienungsprinzip kritisierte Gruppe 1, dass Kartenebenen der Gefahrenhinweiskarte im Erstellungsablauf – und damit an einer anderen Stelle wie die restlichen Kartenebenen – zu manipulieren seien. Ein Benutzer müsse erst ins Menü für Zusatzinformationen navigieren, ehe er sie manipulieren könne.

Der Teilkriterium *Fehlertoleranz* bereitete den Befragten Mühe. Er umfasst Fehler und ihre Folgen (Frage 5.1), beispielsweise in Form von Fehlermeldungen (Frage 5.2 und Frage 5.3) oder Korrekturaufwand (Frage 5.4 und Frage 5.5). Die Befragten konnten während den Testaufgaben den Prototyp zu wenig austesten, um diese Frage zu beurteilen. Deshalb weisen alle Fragen dieses Teilkriteriums einen Anteil von 25 bis 58 Prozent von Weiss-nicht-Antworten auf. Dieses Teilkriterium wird deshalb als nicht relevant betrachtet.

Die einzige negative Beurteilung eines Teilkriteriums tritt bei der *Individualisierbarkeit* auf. Sie behandelt Erweiterungsmöglichkeiten für neue Aufgaben. Vier ihrer fünf Fragen weisen für den prozentualen Anteil von Weiss-nicht-Antworten Werte über 42 Prozent auf. Sie können deshalb nicht als relevant betrachtet werden. Bei der Beurteilung von Frage 6.1 erkannten alle Befragten, dass der Prototyp nur beschränkt erweiterbar ist. Sie erteilten deshalb dieser Frage den Beurteilungswert -0,67 (siehe Anhang C). 58 Prozent antworteten mit "Weiss nicht". Gruppe 1 der erfahrenen Kartenleser beurteilt diese Frage weniger schlecht als Gruppe 2. Dies könnte darauf zurück zu führen sein, dass diese Personen die eingeschränkte Erweiterbarkeit der Applikation nicht als Nachteil betrachten. Sie bevorzugen eine Beschränkung auf das Wesentliche gegenüber Ablenkung.

Die *Lernförderlichkeit* bezeichnet den Aufwand für die Einarbeitung in die Software und die Unterstützung beim Lernen von neuen Funktionen. Diesbezüglich beurteilen die Befragten die Webapplikation mit 1,33 Punkten. Das Teilkriterium Lernförderlichkeit fällt wie schon oben erwähnt eher durch die Diskrepanz zwischen den beiden Gruppen auf. Gruppe 2 mit den weniger geübten Kartenlesern stufen die Lernförderlichkeit mehr als 0,5 Punkte geringer ein als die Personen mit mehr Erfahrung in Gruppe 1. Übung im Umgang mit Bildschirmkarten könnte für das Erlernen des Prototyps von Vorteil sein. Ein Befragter mit Erfahrung muss sich weniger Details merken. Ein Benutzer mit weniger Übung ist auch eher auf Hilfestellungen angewiesen. Deshalb fällt der Unterschied zwischen den beiden Gruppen bei Frage 7.5 (siehe Anhang C) mit 1,33 Beurteilungspunkten deutlich aus. Im Übrigen fördert die Webapplikation das Ausprobieren von neuen Funktionen in sehr hohem Masse (Frage 7.2: 2,42). Die Zeit zum

Erlernen (Frage 7.1: 1,92), der Umfang von Details, die ein Benutzer sich merken muss (Frage 7.3: 1,42) und das Einprägen von Gelerntem (Frage 7.4: 1,75) wurden mit "gut" gewertet.

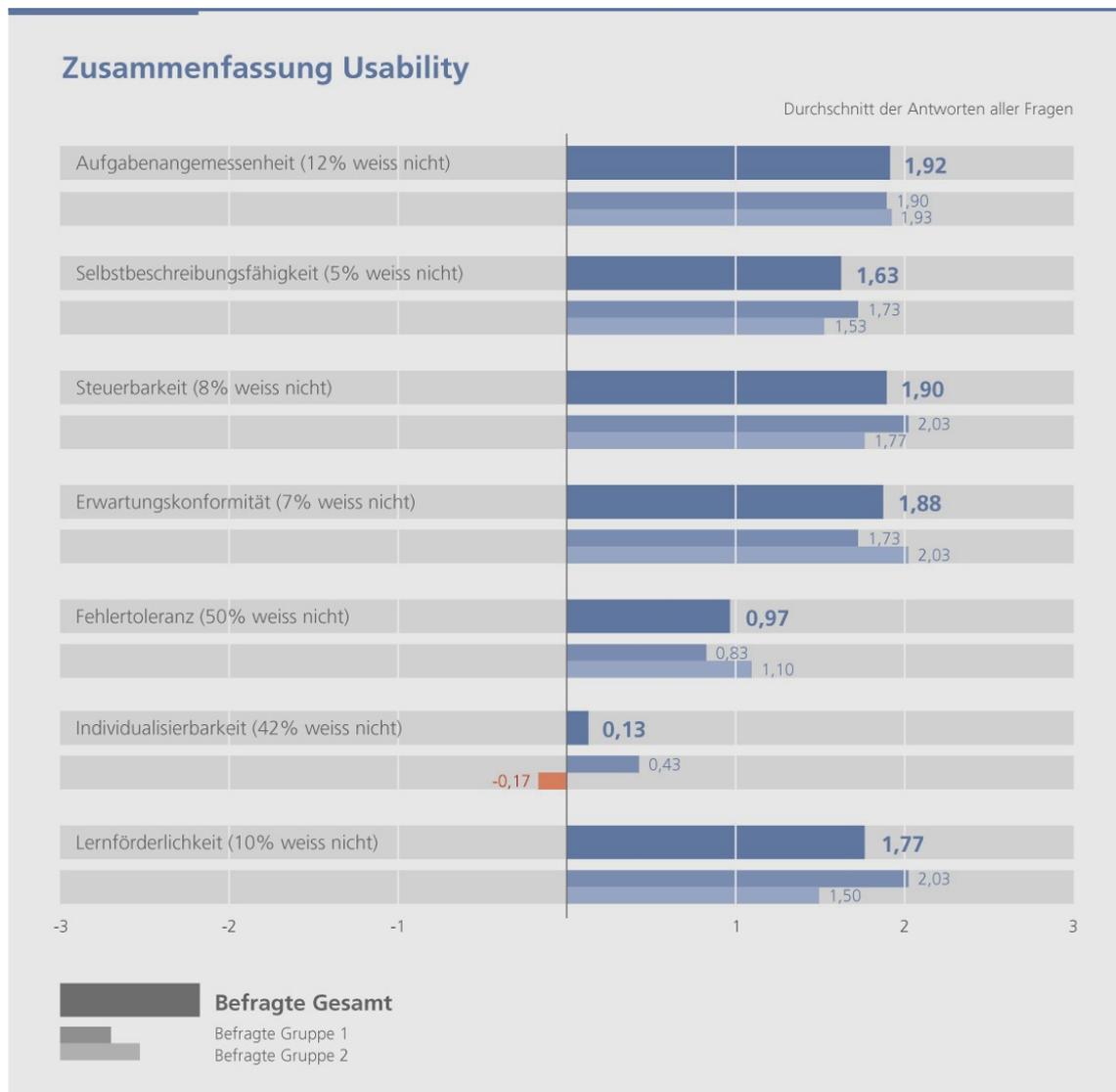


Abb. 9.1: Durchschnittliche Beurteilungswerte aller Fragen zu den Usability-Kriterien.

9.3.4 Kartengestaltung

Die Gestaltung der Karte hat einen wesentlichen Einfluss auf die Verständlichkeit des dargestellten Themas. Aus der Beurteilung der *Kartengestaltung* können konkrete Verbesserungsvorschläge für die gewählte Umsetzung abgeleitet werden. Abb. 9.2 zeigt in einer Zusammenfassung die durchschnittlichen Beurteilungswerte der Teilkriterien für die Kartengestaltung. Daraus geht hervor, dass die Beurteilung des Prototyps bezüglich der Kartengestaltung positiv ausgefallen ist. Die Werte liegen zwischen 1,38 und 2,10, im obersten Viertel der Beurteilungsskala. Das Teilkriterium Symbolisierung liegt in der Beurteilung der Kartengestaltung an der Spitze, Farben bilden das Schlusslicht. Auf Grund des geringen Anteils von Weiss-nicht-Antworten müssen alle Teilkriterien als relevant betrachtet werden.

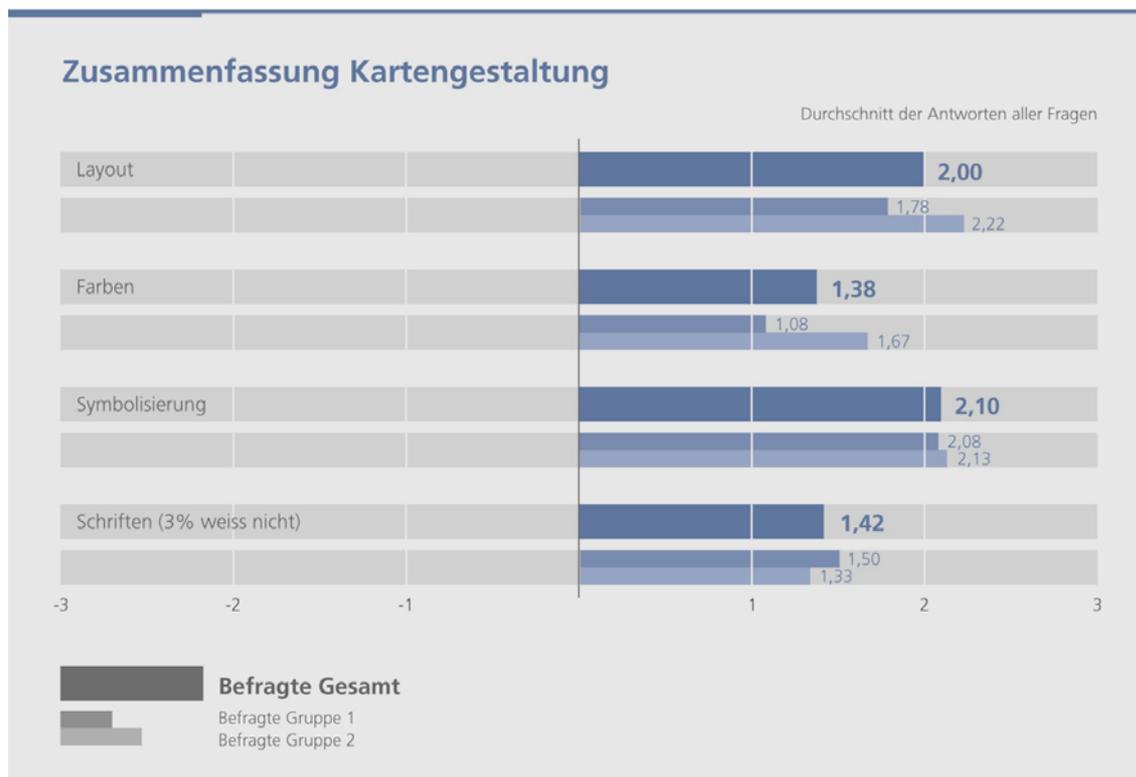


Abb. 9.2: Durchschnittliche Beurteilungswerte aller Fragen zur Kartengestaltung.

Im *Layout* wurde die verschiebbare Legende am besten bewertet (Frage 8.3: 2,50). Die schlechteste Beurteilung weist die Frage 8.1 mit Bezug auf die Kartengrösse in der Benutzerschnittstelle auf (0,50). Dieser Wert ist allerdings positiv einzuschätzen, denn die Frage wurde anders gestellt als die übrigen. Es wurde gefragt, ob die Karte in der Benutzerschnittstelle grösser oder kleiner sein sollte. Dies hat Auswirkungen auf die Beurteilungsskala: Der Wert 0 stellt in diesem Zusammenhang das Optimum dar. Aus diesem Grund wurde diese Frage aus der Mittelwertbildung des Teilkriteriums ausgeschlossen. Die grösste Diskrepanz zwischen den beiden Befragtengruppen weist die Frage 8.4 zur graphischen Massstabsleiste auf. Einige erfahrene Kartenleser hätten eine Massstabsleiste mit konstanter Länge bevorzugt. Damit hätten allerdings über verschiedene Vergrösserungsstufen keine runden Einheitswerte gewährleistet werden können. Die unerfahrenen Kartenleser massen diesem Problem weniger Gewicht bei.

Die Anordnung der Werkzeuge (Frage 8.2) wurde mit einem Wert von 1,92 für "gut" befunden. Dies deckt sich ungefähr mit den Antworten zur Frage 2.1 der Selbstbeschreibungsfähigkeit, bei welcher der Überblick über das Funktionsangebot mit 1,82 beurteilt wurde.

In Bezug auf den Beitrag zur Verständlichkeit des Themas wurden die verwendeten *Farben* mit 1,17 (Frage 8.5) knapp als "gut" bewertet. Besser wurde das farbliche Zusammenspiel mit 1,58 Punkten beurteilt (Frage 8.6). Bei dieser Frage gehen die Meinungen der Befragtengruppen deutlich auseinander. Gruppe 1 erteilt den Wert 1,17, Gruppe 2 2,00. Es wurde vor allem die Farbe Gelb in der Karte zu den Konflikträumen bemängelt. Der Unterschied zwischen Hell- und Dunkelgelb sei nicht eindeutig erkennbar.

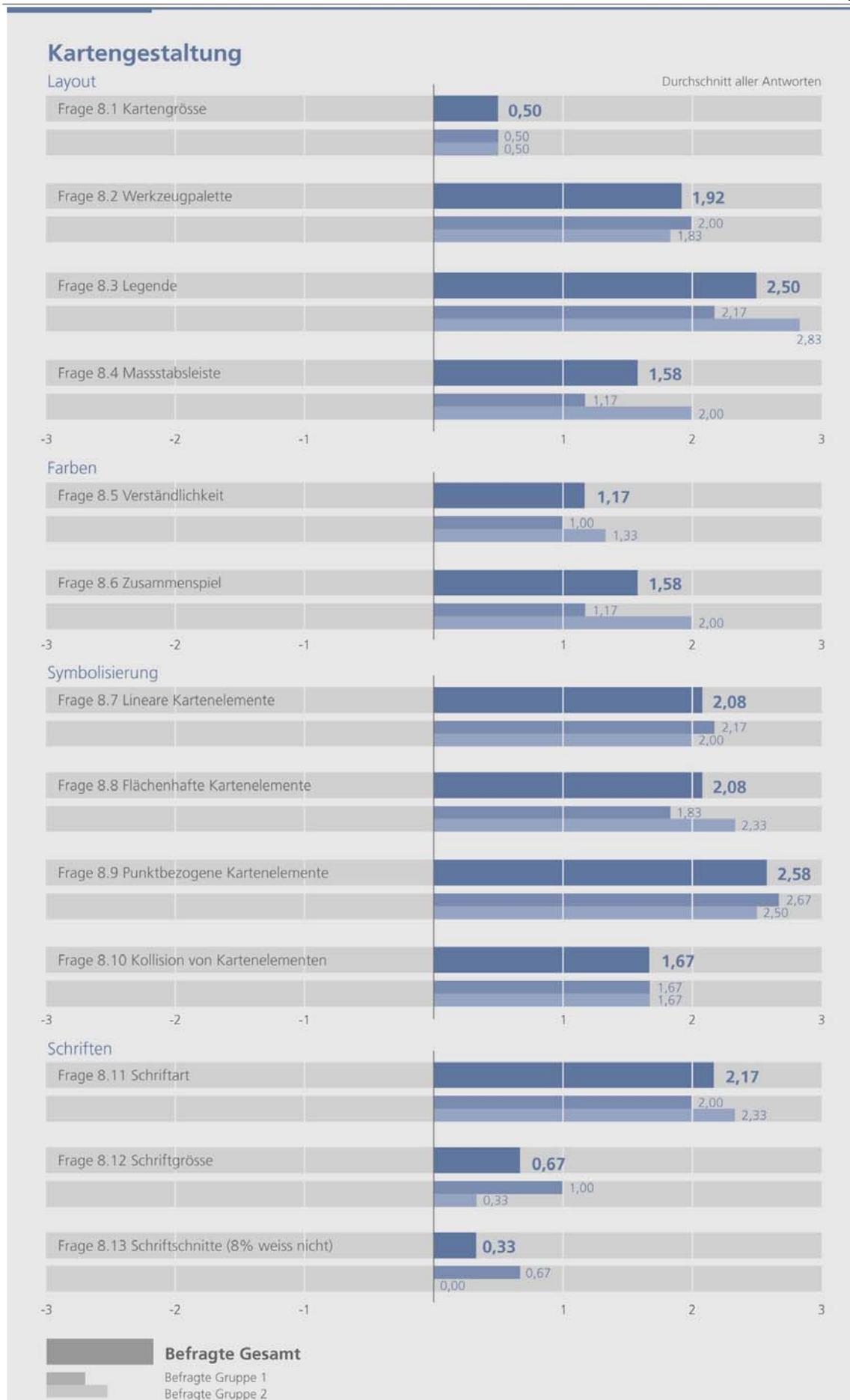


Abb. 9.3: Durchschnitt aller Antworten zu den Fragen der Kartengestaltung.

In der *Symbolisierung* erteilten beide Gruppen sehr hohe Werte. Dies obwohl die implementierten Symbolisierungsverfahren noch nicht optimal sind. Die ersten drei Fragen zu den linearen (Frage 8.7: 2,08) und flächenhaften (Frage 8.8: 2,08) Kartenelementen sowie Punktobjekten (Frage 8.9: 2,58) sind alle im Bereich "sehr gut". Die Kollision von Kartenelementen wurde mit 1,67 weniger gut beurteilt (Frage 8.10). Dieser Sachverhalt muss relativiert werden, da es der Benutzer selbst in der Hand hat, wie viele Kartenelemente er auf einmal betrachten möchte. Kollidieren sie miteinander, besteht die Möglichkeit, Kartenelemente auszublenden.

Die Schrift weist im Vergleich zu den anderen Teilkriterien der Kartengestaltung eher geringe Werte auf. Auf dem Testbildschirm von 1024 auf 768 Pixel war die Schriftgröße (Frage 8.12) sehr klein. Diesbezüglich reichte es für "genügend". Die Benutzerschnittstelle, und somit auch die Schrift, passt sich im Übrigen der Größe des Browserfensters an. Die verwendete Schriftart erhielt mit 2,17 eine sehr gute Note (Frage 8.11). Es handelt sich dabei um Cisalpin, die speziell für kartographische Zwecke entwickelt wurde. Die Frage der Schriftschnitte weist den geringsten durchschnittlichen Beurteilungswert auf (Frage 8.13). Dies ist auf die Fragestellung zurück zu führen. Es wurde nämlich gefragt, ob mehr oder weniger Schriftschnitte verwendet werden sollten. Bei dieser Frage wird eine andere Beurteilungsskala angewendet, in der Null das Optimum bildet. Aus diesem Grund wurde die Frage von der Mittelwertbildung des Teilkriteriums ausgeschlossen. Mit dem Wert 0,33 schneidet deshalb der Prototyp sehr gut ab.

9.3.5 Interaktivität

Bei der Implementierung der Interaktivität wurde darauf geachtet, dass das Wesentliche umgesetzt wurde. Aus der Beurteilung geht hervor, dass dieser Ansatz zu einer erfolgreichen Umsetzung geführt hat. Abb. 9.4 zeigt die durchschnittlichen Beurteilungswerte für die Teilkriterien der Interaktivität. Die Werte liegen zwischen 1,38 und 2,36, bzw. "gut" und "sehr gut". Die räumliche Navigation und Orientierung wurde am besten, die thematische Navigation und Orientierung am schlechtesten bewertet. Weitere Teilkriterien mit sehr guten Werten sind die Visualisierungs- und Analysefunktionen. Auf Grund des geringen Anteils von Weiss-nicht-Antworten müssen alle Fragen in Abb. 9.4. als relevant betrachtet werden.

Der Teilkriterium *Allgemeines* beinhaltet sehr unterschiedliche Fragen zur Funktionalität des Prototypen. Da der Durchschnittswert des Teilkriteriums nur wenig Aussagekraft hat, werden die Fragen einzeln untersucht. Das unmittelbare Feedback (Frage 9.2) und die Notwendigkeit der Interaktionsmöglichkeiten (Frage 9.4) werden als "sehr gut" eingeschätzt. Die Software ist ausserdem in hohem Masse für Laien verwendbar (Frage 9.6: 2,08). Darüber sind sich beide Befragtengruppen einig. Die intuitive Bedienbarkeit (Frage 9.3: 1,75) und die zur Verfügung stehenden Werkzeuge zur Erfassung des Themas Hangstabilität (Frage 9.5: 1,67) wurden für "gut" befunden. Bei der Bedienbarkeit gibt es allerdings einen deutlichen Unterschied zwischen den Gruppen. Gruppe 2 hat die Werkzeuge für das Thema Hangstabilität um 1,17 Punkte schlechter eingeschätzt als die erfahrene Gruppe 1. Personen ohne Erfahrung mit Bildschirmkarten und GIS verlangten nach weiteren Hilfsfunktionen, beispielsweise in Form von Erklärungen.

Zu den *generellen Funktionen* gehört die Hilfsfunktion Tool-Tipps. Mit dem Wert 1,83 wurde die Anzahl Tool-Tipps beurteilt (Frage 9.7). Zwischen den beiden Gruppen gibt es keinen Unterschied. Die erfahrenen Kartenleser empfanden jedoch zusätzliche Hilfsfunktionen (Frage 9.8) als nützlicher denn die weniger erfahrenen Benutzer. Dieses Resultat stimmt überein mit

demjenigen der Frage 7.5 zur Lernförderlichkeit. Auch hier wünscht Gruppe 1 mehr zusätzliche Hilfe als Gruppe 2. Dieses Resultat überrascht, da man meinen könnte, dass erfahrene Kartenleser die zusätzliche Hilfe weniger notwendig hätten als unerfahrene. Es kann aber mit der Forderung der erfahrenen Benutzer nach mehr Hintergrundwissen erklärt werden, etwa zu Algorithmen oder Klassifizierungsmethoden.

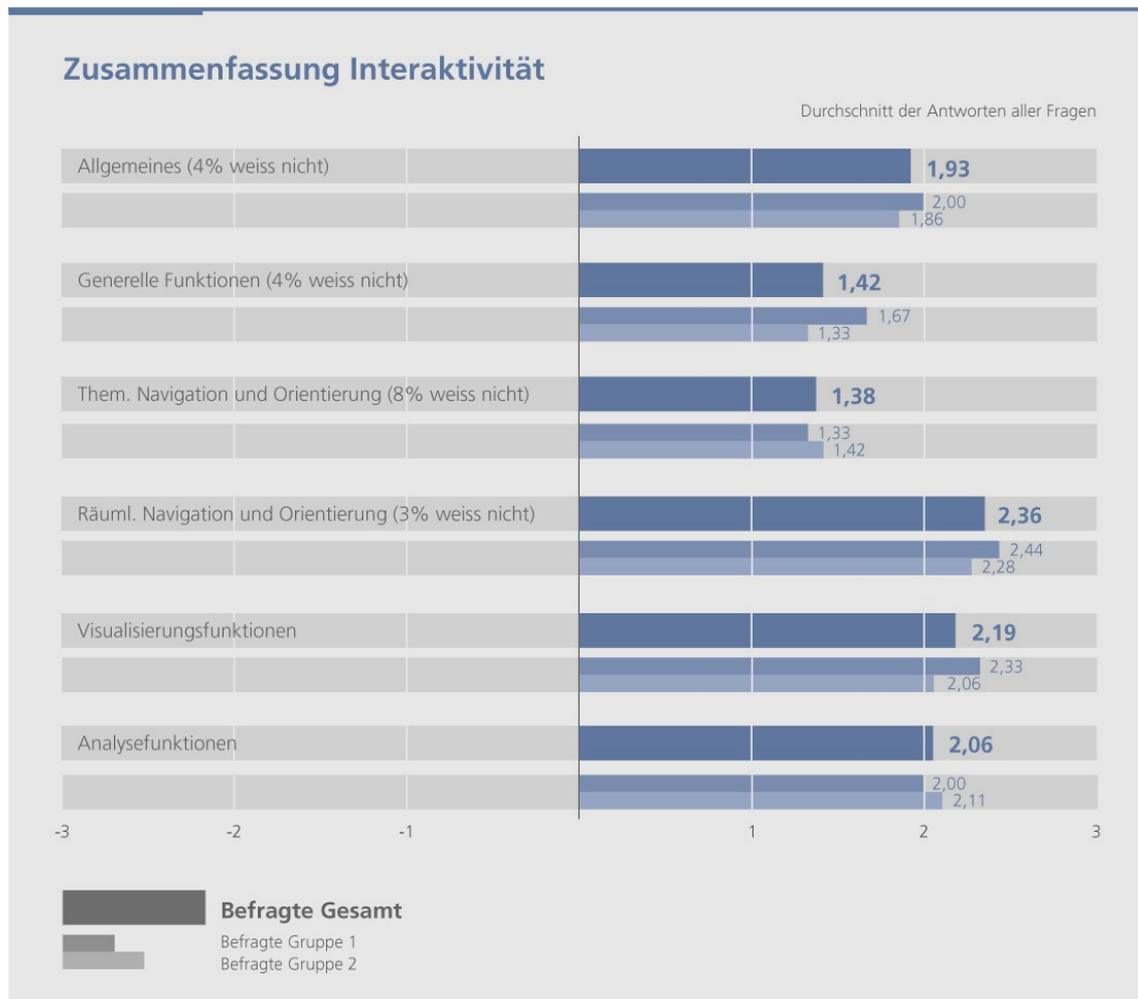


Abb. 9.4: Durchschnittliche Beurteilungswerte aller Teilkriterien zur Interaktivität.

Die *thematische Navigation und Orientierung* umfasst den Erstellungsablauf für die Gefahrenhinweiskarte und die Zusatzinformationen. Sie schnitt generell schlechter ab als die räumliche Navigation. Die Bedienung wird mit 1,50 Punkten als "gut" bezeichnet (Frage 9.9). Für den Erstellungsablauf ist sie weniger gut geeignet (Frage 9.10: 1,25). Diese Meinung teilen beide Gruppen. Der Hauptvorwurf besteht darin, dass der Erstellungsablauf als zentrales Thema nicht genug hervorsteht. Das einheitliche Bedienungsprinzip spricht hingegen für die Umsetzung.

Die *Funktionen zur räumlichen Navigation und Orientierung* wurden als sehr gut beurteilt. Zwischen den beiden Befragtengruppen gibt es keine nennenswerten Abweichungen. Der Zoomregler erleichtert die Navigation sehr (Frage 9.11: 2,25), das übrige Navigationswerkzeug wird ebenfalls mit "sehr gut" (Frage 9.12: 2,25) beurteilt. Die Referenzkarte übertrifft dies noch mit 2,58 Punkten (Frage 9.13). Diese Werkzeuge sind also unbestrittene Bestandteile der Benutzerschnittstelle.

Visualisierungsfunktionen verstärken die Bild- oder Kartenaussage. Die erste Frage zur Anpassung des Karteninhalts kann mit der Individualisierbarkeit verglichen werden (Anpassung der Bildschirmdarstellung, Frage 6.5: 2,08). Da diese die ganze Benutzerschnittstelle umfasst, fällt der Beurteilungswert tiefer aus (1,08). Diese kann nämlich nicht an individuelle Bedürfnisse, wie zum Beispiel die Wahl der Hintergrundfarbe, angepasst werden. Auch die frei wählbare Transparenz von Kartenebenen hat sich mit 2,42 Punkten für die Benutzerschnittstelle bewährt (Frage 9.15). Die Kartenqualität wird mit 2,08 Punkten als einheitlich für verschiedene Massstäbe betrachtet (Frage 9.16).

Analysefunktionen behandeln die Attributanzeige (Frage 9.18) und die Funktion zur Profilberechnung (Frage 9.19). Diese beiden Funktionen sind mit 2,08 und 2,25 unbestritten. Mit 1,83 Punkten beurteilten die Befragten den bidirektionalen Bezug zwischen Karte und Legende bei allen Kartenebenen als wünschenswert (Frage 9.17). Hier liegt also Verbesserungspotenzial für den Prototyp. Zu den Analysefunktionen konnten sich die Befragten frei äussern. Auf der Wunschliste steht unter anderem ein Statistikwerkzeug, womit die Anzahl Werte bestimmter Klassen gezählt und dargestellt werden könnten. Eine weitere Idee war ein Abfragewerkzeug, mit dem mehrere Kartenebenen gleichzeitig abgefragt werden können.

9.3.6 Medienkombination

Zur Medienkombination (vgl. Abb. 9.5) wurde nur eine Frage gestellt. Es ging darum abzuklären, ob die Benutzer dieses Angebot grundsätzlich begrüßen (Frage 10.1). Mit einem sehr guten Beurteilungswert von 2,42 Punkten ist sie ebenfalls ein unbestrittenes Element einer gebrauchstauglichen Benutzerschnittstelle.



Abb. 9.5: Durchschnittliche Beurteilungswerte aller Teilkriterium zur Interaktivität.

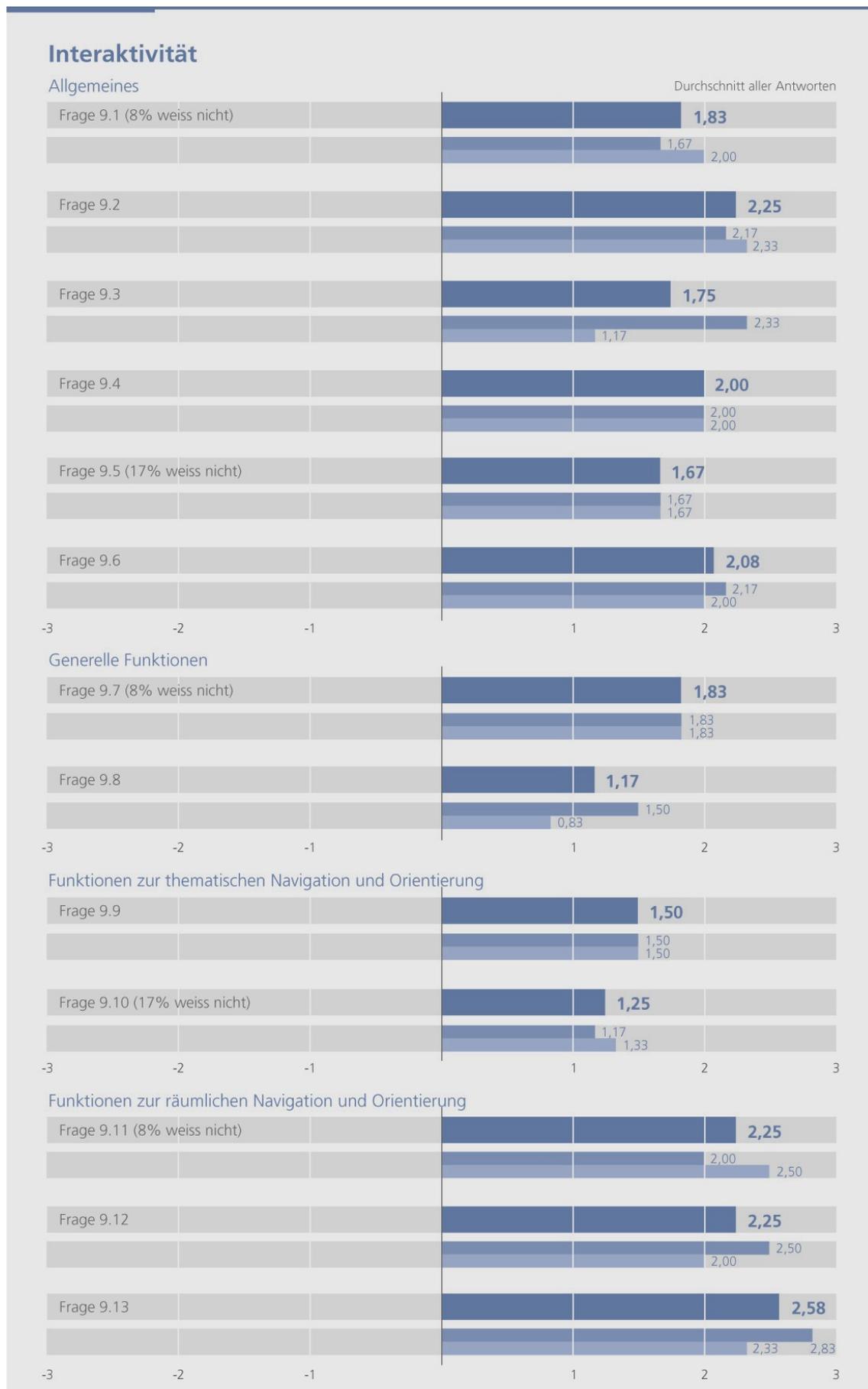


Abb. 9.6: Durchschnitt aller Antworten zu den Fragen der Interaktivität (Teil 1).



Abb. 9.7: Durchschnitt aller Antworten zu den Fragen der Interaktivität (Teil 2).

10 Schlussfolgerungen und Ausblick

10.1 Schlussfolgerungen

Die Forschung im Bereich der Risikowahrnehmung hat gezeigt, dass die Rahmenbedingungen bei der Wahrnehmung eines Risikos wesentlich zu dessen subjektiver Höhe beitragen [RENN & ZWICK, 1997]. Im Fall von Nisyros könnte mit GEOWARN als vertrauenswürdige Informationsquelle die Akzeptanz von Zielsetzungen, Strategien oder Massnahmen des Risikomanagements erhöht werden. Ziel dieser Diplomarbeit war es deshalb, ein Kommunikationsmittel zu entwickeln, mit dessen Hilfe das Thema *Hangstabilität auf der Insel Nisyros* Personen ohne spezifisches Fachwissen über die Naturgefahren in der südlichen Ägäis erklärt werden kann.

Das Endprodukt sollte eine interaktive, multimediale Webapplikation werden, die Benutzern erlaubt, für die Insel Nisyros eine Gefahrenhinweiskarte zum Thema Hangstabilität zu erstellen. Zusätzlich sollten in diesem Erstellungsablauf Schadenpotenzial und Konflikträume berücksichtigt werden. Grundlagen zu den Themen Vulkanismus auf Nisyros, Massenbewegungen, Hangstabilität und Gefahrenhinweiskarte sollten in Form von Text und Bild ebenfalls mitgeliefert werden. Der Prototyp sollte kartographisch ansprechend visualisiert sein und sinnvolle Interaktivität bieten. Ausserdem sollte er die Anforderungen erfüllen, welche die ISO-Norm 9241/10 an ein benutzerfreundliches System stellt.

In diesem Kapitel wird diskutiert, inwiefern die angestrebten Ziele erreicht worden sind und welche Schlussfolgerungen aus den Resultaten gezogen werden können.

10.1.1 Notwendige Funktionalität und Randbedingungen

In Zusammenarbeit mit Fachpersonen aus den Bereichen Web- und Multimediakartographie sind Anforderungen an ein solches Kommunikationsmittel ermittelt worden. Daraus wurde eine Anforderungsspezifikation für den Prototyp erstellt. Die zentralen Funktionalitäten sind:

- Ein- und ausschaltbare Kartenebenen
- Zoom, Pan, Referenzkarte
- Zugriff auf Zusatzinformationen zur Hangstabilität
- Klassierung von Eingangsparametern der Gefahrenhinweiskarte
- Anzeigen von Attributwerten

Die Ausprägungen der graphischen Variable Farbe für die Themen der Gefahrenhinweiskarte wurden in der Anforderungsgewinnung ebenfalls berücksichtigt. Für die Hangneigung wurde eine Gelb-Braun-Abstufung verwendet. Die geotechnischen Eigenschaften wurden gemäss der GEOWARN Standard-Legende eingefärbt. Für Gebiete mit Schadenpotenzial wurde die Farbe Rot verwendet. Hangneigung und Konfliktzonen wurden als Übergang von Grün-Gelb-Rot-Violett dargestellt.

Der gewählte Ansatz zur Integration dieser Anforderungen in eine Benutzerschnittstelle weist in eine erfolgsversprechende Richtung. Dies ergab die abschliessende Evaluierung.

Die Beurteilung über die angestrebten Ziele ist in Abb. 10.1 zusammengefasst. Sie zeigt, dass der Prototyp für alle Kriterien positiv beurteilt wurde und im Bereich "gut" liegt. Nachfolgend werden für jedes Kriterium die wichtigsten Erkenntnisse aus der Resultatdiskussion der Benutzerbefragung erwähnt.

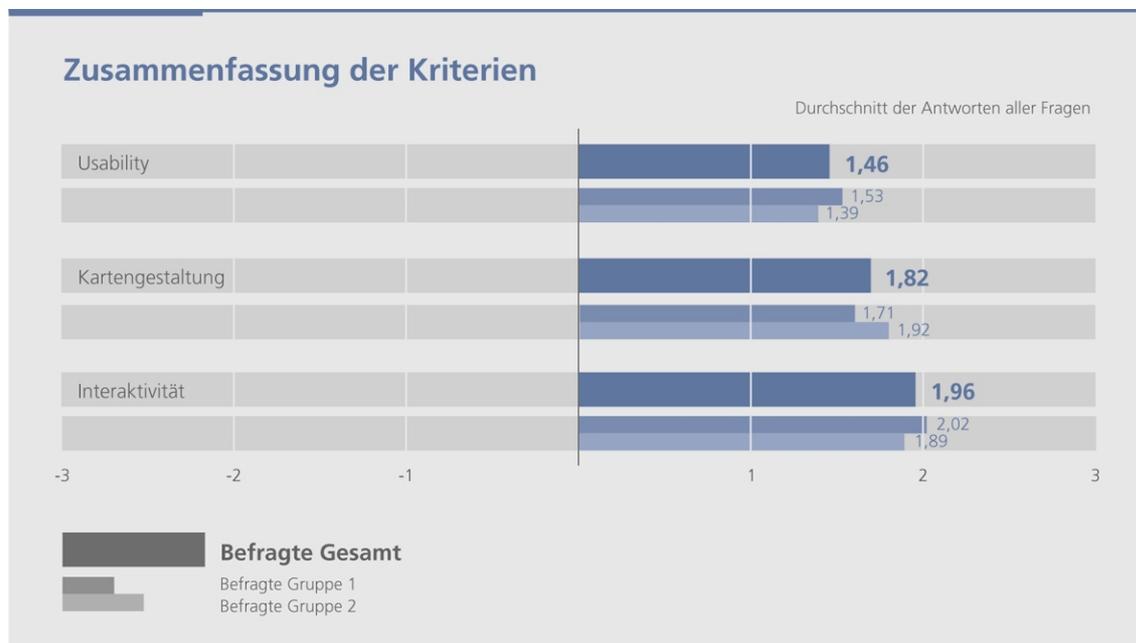


Abb. 10.1: Zusammenfassende Beurteilung der Kriterien.

10.1.2 Benutzerfreundliche Umsetzung

Der ISONORM-Beurteilungsbogen liefert erste Hinweise auf die Gebrauchstauglichkeit einer Software. Die Beurteilung des Prototyps ist bezüglich aller Teilkriterien positiv ausgefallen. Die durchschnittlichen Beurteilungswerte von fünf der sieben Teilkriterien liegen im Bereich "gut". Die Aufgabenangemessenheit wurde am besten bewertet, knapp gefolgt von der Steuerbarkeit und der Erwartungskonformität. Die Fehlertoleranz und die Individualisierbarkeit können auf Grund des hohen Anteils von Weiss-nicht-Antworten als nicht relevant betrachtet werden. Die beiden Befragtengruppen (die eine mit erfahrenen, die andere mit unerfahrenen Kartenlesern) waren sich am ehesten in Bezug auf die Lernförderlichkeit uneinig. Weniger erfahrene Testpersonen bekundeten wohl mehr Mühe im Umgang mit der Webapplikation und mit dem Erfassen des dargestellten Themas.

10.1.3 Ansprechende Kartengestaltung

Die Gestaltung der Karte hat einen wesentlichen Einfluss auf die Verständlichkeit des dargestellten Themas. Aus der Beurteilung der *Kartengestaltung* können konkrete Verbesserungsvorschläge für die gewählte Umsetzung abgeleitet werden:

- Das Kartenbild sollte – wie in der Webapplikation realisiert – im Layout den Hauptteil einnehmen.
- Bei der Verwendung von Farben muss darauf geachtet werden, dass sie klar unterscheidbar sind. Dies ist beim entwickelten Prototyp vereinzelt nicht der Fall.

- Trotz nicht vollständig optimierter Implementierung ist die automatische Kartensymbolisierung des Prototyps gut gelungen.
- Die Schriftgrösse im Kartenbild und im übrigen Teil der Benutzerschnittstelle ist an der unteren Grenze der Lesbarkeit.

10.1.4 Sinnvolle Interaktivität

Bei der Implementierung der Interaktivität wurde darauf geachtet, dass das Wesentliche zuerst umgesetzt sowie auf wenig relevante Funktionen verzichtet wurde. Die Beurteilung der Interaktivität hat ergeben, dass dieser Ansatz zu einer erfolgreichen Umsetzung geführt hat. Folgende Bestandteile der Benutzerschnittstelle sind unbestritten:

- verschiebbare Legende
- Navigationsinstrumente
- Referenzkarte
- Attributanzeige
- Hilfsfunktionen (Tool-Tipps)
- Bidirektionaler Bezug zwischen Legende und Karte

Bei der Umsetzung der thematischen Navigation und Orientierung in den Zusatzinformationen wurde zwar auf ein einheitliches Bedienungsprinzip geachtet, darunter litt jedoch der Überblick über das Funktionsangebot vor allem in Bezug auf die Gefahrenhinweiskarte. Für die Befragten war nicht auf den ersten Blick erkennbar, wo sich der Erstellungsablauf für die Gefahrenhinweiskarte befindet. Die thematische Navigation könnte folgendermassen verbessert werden: Der Erstellungsablauf wird im Menü für Zusatzinformation an erster Stelle aufgeführt und erscheint gleich von Anfang an, oder er wird komplett losgelöst von den Zusatzinformationen angeboten.

10.1.5 Erweiterungsmöglichkeiten

Erweiterungsmöglichkeiten bestehen vor allem im Bereich Interaktivität. Interaktionen, die einen Beitrag zum Verständnis des Themas leisten könnten, sind nachfolgend aufgelistet:

- Werkzeug zur gleichzeitigen Abfrage mehrerer Kartenebenen
- Werkzeug, dass es ermöglicht, Variablen gleichzeitig zu betrachten und zueinander in Bezug zu setzen (Multidimensionalität)
- Erweiterte Geländemodellanalysen
- Berechnung und Anzeige von statistischen Parametern und Visualisierung in Form von Diagrammen
- Selektionswerkzeug zur Detektion von gefährdeten Objekten oder Zonen (Markieren in einer Tabelle oder graphisches Hervorheben)
- Implementierung des bidirektionalen Bezugs für Raster- und Vektordaten

Der Erstellungsablauf für die Gefahrenhinweiskarte könnte durch den Einbezug weiterer Inputparameter zur Modellierung der Hangstabilität erweitert werden. Eine Erweiterungsmöglichkeit besteht ausserdem in der Online-Berechnung von Zwischen- und Endresultaten des Erstellungsablaufs. Im Übrigen könnte das Ausdrucken von Karten, Texten und Bildern

ermöglicht werden. Eine thematische Erweiterung ist mit der Datengrundlage von GEOWARN ebenfalls möglich.

10.1.6 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die angestrebten Ziele der Arbeit zu einem sehr grossen Teil erreicht worden sind. Die Implementierung eines Kommunikationsmittels, das Erkenntnisse aus dem GEOWARN-Projekt Personen zugänglich macht, die nicht über spezifisches Fachwissen über Bildschirmkarten und GIS verfügen, ist erfolgreich realisiert worden. Dabei war weniger die technische Umsetzung eine Herausforderung, als vielmehr die Präsentation der relevanten Daten und der Zugriff darauf. Inhaltliche Fehlschlüsse im Bezug auf Naturgefahren sind heikel.

10.2 Ausblick

Nach [HOLLENSTEIN, 1996] versucht man im *Risikomanagement* bestehende Risiken auf ein akzeptiertes Mass zu bringen. Dazu werden entweder bestehende Risiken reduziert oder deren Akzeptanz erhöht. Meistens wird ein wissenschaftlich-technischer Ansatz bevorzugt, da die Veränderung eines Wertesystems, und somit von individuellen und sozialen Präferenzen, schwierig zu planen ist.

Zukünftige Forschung im Bereich Risikomanagement sollte untersuchen, wie Gefahrenkarten generell und in Form von interaktiven Webapplikationen die Akzeptanz von Risiken, Massnahmen und Strategien tatsächlich beeinflussen können.

Dazu müsste abgeklärt werden, zwischen welchen beteiligten Parteien Karten als Kommunikationsmittel zum Einsatz kommen könnten. Im Weiteren müsste untersucht werden, für welche Szenarien und Benutzergruppen sich ein Kommunikationsmittel wie der entwickelte Prototyp eignet. Anschliessend müsste der Frage nachgegangen werden, welche Anpassungen für die verschiedenen beteiligten Parteien vorgenommen werden müssten. Die Benutzergruppe der Planer ist auf genaue Daten angewiesen. Weitere Benutzergruppen wären die Immobilien- und Versicherungsbranche mit ähnlichen Ansprüchen. Darüber hinaus könnte ein solches Kommunikationsmittel auch in der Politik oder für die Öffentlichkeitsarbeit eingesetzt werden. Dafür sind jedoch weniger genaue Daten und weniger komplexe Werkzeuge erforderlich. Der Fokus für letztere Zielgruppen muss klar auf der einfachen Bedienung liegen.

Erst nach einer derartigen Untersuchung kann definitiv beurteilt werden, ob sich ein solches Kommunikationsmittel auch tatsächlich eignet. Im *konkreten Anwendungsfall* wie der Situation von Nisyros müssten die Erkenntnisse aus diesen Untersuchungen in ein sicherheitswissenschaftliches Konzept einfliessen. Es müsste genau festgelegt werden, welche Daten zu welchem Zweck des Risikomanagements visualisiert und zugänglich gemacht werden sollen. Die Datengrundlage von GEOWARN lässt eine thematische Erweiterung grundsätzlich zu.

Gefahrenkarten liegen meistens in gedruckter Form vor. Interaktive oder gar multimediale Benutzungsumgebungen sind selten [CHESNEAU, 2004]. Zukünftige Forschung im Bereich Kartographie für Naturgefahren müsste abklären, welchen Nutzen neue Technologien, wie

beispielsweise Animationen und Interaktivität gegenüber den herkömmlichen Gefahrenkarten bringen.

Zentral für diese Abklärungen ist sicher das Thema Medienkombination. Inwiefern kann die Medienkombination zur Vermittlung eines Themas eingesetzt werden? Wie geht der Benutzer bei der Informationsbeschaffung mit einer derartigen Webapplikationen um? Bisherige Erfahrungen zeigten meist, dass viele Benutzer mit dem Bedienen und Interpretieren von Webapplikationen rasch überfordert sind.

Im Bereich Software-Entwicklung und -Ergonomie fehlt es an einer geeigneten Methode zur Evaluierung von kartographischen Systemen. Wie in dieser Diplomarbeit ersichtlich, eignet sich der ISONORM-Beurteilungsbogen nur begrenzt für eine Webapplikation wie sie in dieser Diplomarbeit entwickelt wurde. Er gibt nur vage Hinweise und keine konkreten Verbesserungsvorschläge. Interaktive kartographische Systeme könnten von einem massgeschneiderten Evaluierungsinstrument profitieren.

11 Referenzen

[ADS, 2004]

Bundesamt für Landestopographie swisstopo (Hrsg.) (2004). Atlas der Schweiz 2. DVD. swisstopo, Wabern.

[ANNEN, 2005]

Annen, A. (2005). Open Geospatial Consortium OGC. GML, WMS und WFS. Online http://www.gis.ethz.ch/Interoperability2005/Text/Interop_05_DE.pdf, Zugriff am 26.08.2005.

[BÄR & SIEBER, 1997]

Bär, H. R. und Sieber, R. (1997). Atlas of Switzerland – Multimedia Version. Concepts, Functionality and Interactive Techniques. Proceedings of the 18th International Cartographic Conference, Stockholm. 1141-1149.

[BEHR, 2005]

Behr, F. J. (2005). XML-basierte Visualisierung von Geodaten mittels SVG. Online <http://www.gis-management.de/papers/vermingtag2005.pdf>, Zugriff am 22.08.2005.

[BILL & ZEHNER, 2001]

Bill, R. und Zehner, M. L. (2001). Lexikon der Geoinformatik. Wichmann, Heidelberg.

[BOLLMANN & KOCH, 2001]

Bollmann, J. und Koch, W. G. (Hrsg.) (2001). Lexikon der Kartographie und Geomatik. Spektrum, Heidelberg.

[BRABB, 1995]

Brabb, E. E. (1995). The San Mateo County California GIS project for predicting the consequences of hazardous geologic processes. In Carrara A. und Guzzetti F. (Hrsg.). Geographical information systems in assessing natural hazards. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

[BRP ET AL., 2001]

Bundesamt für Raumplanung BRP, Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (Hrsg.) (2001). Empfehlungen 1997. Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Online <http://www.bwg.admin.ch/themen/natur/d/empfbm.htm>, Zugriff am 29.03.2005.

[BUCKSCH, 1997]

Bucksch, H. (1997). Dictionary Geotechnical Engineering – Wörterbuch Geotechnik. Springer, Berlin.

[BUWAL, 1998]

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (Hrsg.) (1998). Begriffsdefinitionen zu den Themen: Geomorphologie, Naturgefahren, Forstwesen, Sicherheit, Risiko. BUWAL, Bern.

[BUWAL, 1994]

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (Hrsg.) (1994). Anleitungsentwurf zur Durchführung einer Risikoanalyse. Kreisschreiben 20. Online <http://www.umwelt->

schweiz.ch/imperia/md/content/forstdirektion/wh_waldundholz/wh10_vollzugwag/wh10_02_ks16_20/7.pdf, Zugriff am 14.01.2005.

[CARTO.NET URL, 2005]

<http://www.carto.net>, Zugriff am 02.09.2005.

[CARTWRIGHT ET AL., 2002]

Cartwright, W., Peterson, M. P. und Gartner, G. (Hrsg.) (1999). *Multimedia Cartography*. Springer, Berlin.

[CHANG & CHUANG, 2003]

Chang, Y. und Chuang, T. (2003). Embedding Domain Semantics in SVG. Proceedings of the 2nd SVG Open, Vancouver. Online

<http://www.svgopen.org/2003/papers/embeddingDomainSemanticsInSVG/index.html>, Zugriff am 16.9.2005.

[CHAPMAN & CHAPMAN, 2000]

Chapman, N. und Chapman, J. (2000). *Digital Multimedia*. Wiley, Chichester.

[CHESNEAU, 2004]

Chesneau, E. (2004). Propositions pour une cartographie du risque. *Le monde des cartes*. 181: 55-70.

[COLEY URL, 2005].

<http://www.coleyconsulting.co.uk/moscow.htm>, Zugriff am 03.09.2005.

[CROSS, 1998]

Cross, M. (1998). Landslide susceptibility mapping using the matrix assesment approach: a Derbyshire case study. In Maund, J. und Eddleston, M. (Hrsg.). *Geohazards in Engineering Geology*. Engineering Geology Special Publications. 15: 247-261.

[DIETRICH, 2005a]

Mündliches Interview mit Prof. Dr. V. J. Dietrich, Mitglied des GEOWARN-Konsortiums, Institut für Mineralogie und Petrographie ETH Zürich. 30.05.2005.

[DIETRICH, 2005b]

Photos von Prof. V. J. Dietrich, Mitglied des GEOWARN-Konsortiums, Institut für Mineralogie und Petrographie ETH Zürich. 01.06.2005.

[FETTES & MANSFIELD, 2004]

Fettes, A. und Mansfield, P. (2004). SVG-Based User Interface Framework. Proceedings of the 3rd SVG Open, Tokio. Online <http://www.svgopen.org/2004/papers/SPARK/>, Zugriff am 28.08.2005.

[FIBINGER, 2002]

Fibinger, I. (2002). *SVG – Scalable Vector Graphics*. Markt + Technik, München.

[FREIMARK, 2002]

Freimark, H. (2002). *Geovisualisierung im Rahmen eines Warnsystems für Vulkane*. Diplomarbeit. Institut für Kartographie, ETH Zürich.

[GEOWARN SCHLUSSBERICHT 4, 2003]

Information Society Technologies IST Programme (2003). *GEOWARN Geo-spatial warning systems, Nisyros volcano (Greece). An emergency case study. Final Deliverables. D 4: Seismic activity models of the Nisyros/Kos volcanic field*. Unveröffentlicht.

[GEOWARN SCHLUSSBERICHT 10, 2003]

Information Society Technologies IST Programme (2003). GEOWARN Geo-spatial warning systems, Nisyros volcano (Greece). An emergency case study. Final Deliverables. D 10: Geological and tectonic map of the Kos-Nisyros region. Unveröffentlicht.

[GEOWARN SCHLUSSBERICHT 11, 2003]

Information Society Technologies IST Programme (2003). GEOWARN Geo-spatial warning systems, Nisyros volcano (Greece). An emergency case study. Final Deliverables. D 11: Volcanological map and 3D model of Nisyros. Unveröffentlicht.

[GEOWARN SCHLUSSBERICHT 15, 2003]

Information Society Technologies IST Programme (2003). GEOWARN Geo-spatial warning systems, Nisyros volcano (Greece). An emergency case study. Final Deliverables. D 15: Volcano educational, socio-economic, prevention and protection programs. Unveröffentlicht.

[GEOWARN SYNTHESE, 2003]

Information Society Technologies IST Programme (2003). GEOWARN Geo-spatial warning systems, Nisyros volcano (Greece). An emergency case study. Synthesis Report. Unveröffentlicht.

[GEOWARN URL, 2005]

www.geowarn.org, Zugriff am 03.08.2005.

[GHEZZI ET AL., 2003]

Ghezzi, C., Jazayeri, M. und Mandrioli, D. (2003). Fundamentals of Software Engineering. 2. Auflage. Pearson Education International, Upper Saddle River.

[GLINZ, 2004]

Glinz, M. (2004). Vorlesungsskript Software Engineering I. Institut für Informatik, Universität Zürich.

[GOGU, 2005]

Handnotizen von Dr. R. C. Gogu, Mitarbeiter des GEOWARN-Projekts, Institut für Kartographie, ETH Zürich. 12.08.2005.

[GOGU ET AL., 2005]

Gogu, R. C., Dietrich, V. J., Jenny, B., Schwandner, F. M, und Hurni, L. (2005). A geo-spatial data management system for potentially active volcanoes – GEOWARN project. In Computers and Geosciences. Im Druck.

[HAEBERLI ET AL., 2000]

Haeberli, W., Holzhauser, H. und Maisch, M. (2000). Unterlagen zur Vorlesung Grundzüge der Geomorphologie. Geographisches Institut, Universität Zürich.

[HAKE ET AL., 2002]

Hake, G., Grünreich, D. und Meng, L. (2002). Kartographie. 8. Auflage. De Gruyter, Berlin.

[HARROWER URL, 2005]

<http://www.geography.wisc.edu/~harrower/>, Zugriff am 13.09.2005.

[HERMANN & PLEISSNER, 2003]

Hermann, F. und Pleissner, M. (2003). Usability kartographischer Visualisierungen: Methoden und Verfahren. Kartographische Nachrichten. 6: 260-265.

[HIGGINS & HIGGINS, 1996]

Higgins, M. D. und Higgins, R. (1996). A Geological Companion to Greece and the Aegean. Cornell University Press, New York.

[HOLLENSTEIN, 1996]

Hollenstein, K. (1997). Analyse, Bewertung und Management von Naturrisiken. Dissertation. ETH Zürich. Hochschulverlag vdf, Zürich.

[KIENHOLZ, 2005]

Kienholz, H. (2005). Analyse und Bewertung alpiner Naturgefahren – eine Daueraufgabe im Rahmen des integralen Risikomanagement. Geographica Helvetica. 1: 3-15.

[KRAAK & BROWN, 2001]

Kraak, M. J. und Brown, A. (2001). Web cartography. Developments and prospects. Taylor & Francis, London.

[KRÖGER, 2003]

Kröger, W. (2003). Unterlagen zur Vorlesung Risiko und Sicherheit. Institut für Energietechnik, ETH Zürich.

[NDK RISIKO UND SICHERHEIT, 2004]

Renn, O. (2004). Unterlagen zum Nachdiplomkurs Risiko und Sicherheit 2004. Wahrnehmung technischer Risiken. ETH Zürich, Universität St. Gallen, EPFL Lausanne.

[MAPSERVER URL, 2005]

<http://mapserver.gis.umn.edu/>, Zugriff am 26.08.2005.

[NEUMANN, 2003]

Neumann, A. (2003). Delivering Interactive Topographic Web-maps using Open-Source Database Technology. Proceedings of the 2nd SVG Open, Vancouver. Online <http://www.svgopen.org/2003/proceedings.html>, Zugriff am 26.08.2005.

[NEUMANN & WINTER, 2003a]

Neumann, A. und Winter, A. M. (2003). Webkartographie und Vektorgraphik – Formate, Standards und Beispiele mit SVG. In Asche, H. und Herrmann, C. (Hrsg.). Web.Mapping 2. Telekartographie, Geovisualisierung und mobile Geodienste. Wichmann, Heidelberg.

[NEUMANN & WINTER, 2003b].

Neumann, A. und Winter, A. (2003). Webmapping with Scalable Vector Graphics (SVG): Delivering the promise of high quality and interactive web maps. In Peterson, M. (Hrsg.). Maps and the internet. Elsevier, Amsterdam.

[OGC ISO/DIS, 2005]

<http://www.opengeospatial.org/specs/?page=specs>, Zugriff am 26.08.2005.

[OPENFACTS URL, 2005]

<http://openfacts.berlios.de>, Zugriff am 05.09.2005.

[PETERSON, 2003]

Peterson, M. (Hrsg.) (2003). Maps and the internet. Elsevier, Amsterdam.

[PETRASCHKEK & KIENHOLZ, 2003]

Petraschek, A. and Kienholz, H. (2003). Hazard assessment and mapping of mountain risks in Switzerland. In Rickenmann, D. und Chen, C. L. (Hrsg.). Debris-flow hazard mitigation: mechanics, prediction and assessment. Millpress, Rotterdam.

[PLANAT, 2004]

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT (2004). Sicherheit vor Naturgefahren – Vision und Strategie. Online http://www.cenat.ch/ressources/planat_product_de_367.pdf, Zugriff am 29.03.2005.

[PETERSON, 2003]

Peterson, M. (Hrsg.) (2003). Maps and the internet. Elsevier, Amsterdam.

[POSTGRES URL, 2005]

<http://www.postgresql.org/>, Zugriff am 05.09.2005.

[POSTGIS URL, 2005]

<http://postgis.refractory.net/>, Zugriff am 05.09.2005.

[PRESS & SIEVER, 1995]

Press, F. und Siever R. (1995). Allgemeine Geologie. Spektrum, Heidelberg.

[RÄBER & JENNY, 2003]

Räber, S. und Jenny, B. (2003). Karten im Netz – ein Plädoyer für mediengerechte Kartengrafik. In Asche, H. und Herrmann, C. (Hrsg.). Web.Mapping 2. Telekartographie, Geovisualisierung und mobile Geodienste. Wichmann, Heidelberg.

[REDTENBACHER URL, 2005]

<http://www.redtenbacher.de/swergo/swergo.htm>, Zugriff am 10.08.2005.

[RENN & ZWICK, 1997]

Renn, O. und Zwick, M. M. (1997). Risiko- und Technikakzeptanz. Springer, Berlin.

[SCHNABEL, 2005]

Schnabel, O. (2005). Unterlagen zur Vorlesung Multimedia- und Webkartographie. Einführung in PHP. Institut für Kartographie, ETH Zürich.

[SCHNEIDER, 2002]

Schneider, B. (2002). GIS-Funktionen in Atlas-Informationssystemen. Dissertation. ETH Zürich.

[SELFHTML URL, 2005]

<http://de.selfhtml.org/xml/intro.htm#datenfreiheit>, Zugriff am 05.09.2005.

[SIEBER, 2005]

Sieber, R. (2005). Unterlagen zur Vorlesung Multimedialkartographie. Institut für Kartographie, ETH Zürich.

[SOZIALNETZ URL, 2005]

<http://www.sozialnetz-hessen.de/ca/ph/het>, Zugriff am 03.05.2005

[SPARK URL, 2005]

<http://spark.sourceforge.net/resources/faq/createatom.html> Zugriff am 05.09.2005

[USABILITY NET URL, 2005]

<http://www.usabilitynet.org>, Zugriff am 05.09.2005

[USGS, 2004]

U.S. Geological Survey USGS (2004). Landslide Types and Processes. Online <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072>, Zugriff am 29.03.2005.

[USGS HAZARD MAPS URL, 2005]

<http://earthquake.usgs.gov/hazmaps/interactive/>, Zugriff am 03.08.2005.

[VOUGIOUKALAKIS, 1998]

Vougioukalakis, G. E. (1998). Blue volcanoes: Nisyros. Nisyros Regional Council, o. O.

[VAN KREVELD ET AL., 1999]

Van Kreveld, M., Strijk, T. und Wolff, A. (1999). Point labeling with sliding labels. PDF-Datei: <http://www.cs.uu.nl/~marc/research/cartography.html>, Zugriff am 02.09.2005.

[Ryter, 2001]

Ryter U. (2001). Der Jahrhundertwinter 1999 im Berner Oberland. Ein Bericht der Abteilung Naturgefahren. Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern, Amt für Wald. Online <http://www.vol.be.ch/kawa/d/naturgefahren/>, Zugriff am 13.09.2005.

[W3 URL, 2005]

www.w3.org, Zugriff am 26.08.2005.

[WEIBEL, 2002]

Weibel, R. (2002). Unterlagen zur Vorlesung Geographische Informationssysteme. Geographisches Institut Universität Zürich.

[WILLIAMS, 2005a]

Williams, J. (2005). Interactive Hiking Map of Yosemite National Park. Proceedings of the 4th SVG Open, Enschede. Online http://www.svgopen.org/2005/papers/abstract_williams_yosemite_national_park/, Zugriff am 27.08.2005.

[WILLIAMS, 2005b]

Williams, J. (2005). Interaktive Wanderkarte des Yosemite National Parks. Diplomarbeit. Institut für Kartographie, ETH Zürich.

[ZEVENBERGEN UND THORNE, 1987]]

Zevenbergen, L W and Thorne, C R (1987). Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*. 12: 47-56.

12 Anhang

A	Fragenkatalog Anforderungen	117
B	Beurteilungsunterlagen	123
	B.1 Einführung.....	125
	B.2 Einarbeitung und Testaufgaben	126
	B.3 Beurteilungsbogen ISONORM 9241/10	128
	B.4 Kartographische Beurteilung	137
	B.5 Allgemeines	144
C	Beurteilungsergebnisse zur Usability	145
	C.1 Aufgabenangemessenheit.....	147
	C.2 Selbstbeschreibungsfähigkeit	148
	C.3 Steuerbarkeit	149
	C.4 Erwartungskonformität	150
	C.5 Fehlertoleranz	151
	C.6 Individualisierbarkeit	152
	C.7 Lernförderlichkeit.....	153
D	Daten-DVD	155

A Fragenkatalog Anforderungen

Anforderungen an den Prototyp wurden in Zusammenarbeit mit Fachleuten aus den Bereichen Kartographie, GIS und Sicherheitswissenschaft mit dem nachfolgenden Fragenkatalog ermittelt. Er behandelt Erfahrung der Mitwirkenden mit Bildschirm- und Risikokarten, Varianten zum Erstellungsablauf der Gefahrenhinweiskarte, die Funktionalität der Webapplikation und die Randbedingung Farbe in der Gefahrenhinweiskarte.

Teilnehmer:

Datum:

Dauer:

Erfahrungen

Haben sie Erfahrungen mit ...? Wenn ja, welche?

- Risikokarten

- Bildschirmkarten

- GIS-Programmen?

Was ist ihre Arbeit?

Layout

Wie eignen sich die drei Layoutvarianten, um die Überlagerung von verschiedenen Kartenthemen darzustellen? Bringen sie diese in die Reihenfolge "beste", "zweitbeste" und "schlechteste" Lösung.

Variante 1 Vorteile:

Nachteile:

Variante 2 Vorteile:

Nachteile:

Variante 3 Vorteile:

Nachteile:

Funktionalität

Welche Interaktionen soll das System aufweisen? Bitte Priorität zuweisen: 1 muss, 2 sollte vorhanden sein, 3 wünschenswert, 4 für weiterführende Arbeiten

<i>Navigation</i>	1	2	3	4
Zoom	0	0	0	0
Information über Zoomfaktor	0	0	0	0
Pan	0	0	0	0
Ganzer Kartenausschnitt anzeigen	0	0	0	0
Übersichtskarte	0	0	0	0
Referenzkarte	0	0	0	0
Kartenebenen ein- und ausschalten	0	0	0	0
Koordinatenangabe (x, y, z, Hangneigung, Exposition)	0	0	0	0
graphischer Massstab	0	0	0	0
Länge und Breite des Kartenausschnitts	0	0	0	0
 <i>Analysewerkzeug</i>	 1	 2	 3	 4
Freie Klassierung der Hangneigung	0	0	0	0
Vorgegebene Klassierung Hangneigung	0	0	0	0
Freie Klassierung von geotechnischen Eigenschaften	0	0	0	0
Vorgegebene Klassierung von geotechnischen Eigenschaften	0	0	0	0
Statistiken anzeigen	0	0	0	0
Höhenprofil erzeugen	0	0	0	0
Abfrage von Attributwerten (z. B. Hangneigung, Geologie)	0	0	0	0
Lokalisieren von Orten	0	0	0	0
Routen anzeigen	0	0	0	0
Highlighting in der Legende	0	0	0	0
Weitere Analysewerkzeuge (räumliche Verschneiden, Buffer)	0	0	0	0
 <i>Visualisierungsfunktionen</i>	 1	 2	 3	 4
Reliefschattierung verändern	0	0	0	0
Farbwahl ändern	0	0	0	0
Opazität von Kartenebenen verändern	0	0	0	0
 <i>Zusatzinformationen</i>	 1	 2	 3	 4
Zusatzinformationen zu Risiko	0	0	0	0
Zusatzinformationen zu GIS-Funktionen	0	0	0	0

Welche Interaktionen müsste berücksichtigt werden, die nicht auf der Liste steht? Mit welcher Priorität?

Farbwahl

Welche Darstellungsart (Farben, Abstufungen, Verläufe etc.) assoziieren Sie mit

- Hangneigung?

- geotechnischen Eigenschaften?

- Hangstabilität?

- Schadenpotenzial?

-Konfliktzonen?

Herzlichen Dank für Ihre Mithilfe!

Layoutvariante 1

Kartenebenen auswählen

- Landnutzung
- Situation
- Gewässer
- Relief
- Konturen
- Vulkanismus
- ...

Referenzkarte

Inputebene 1

Hangneigung

Inputebene 2

Gesteinsart

Eintretenswahrscheinlichkeit berechnen & anzeigen

Inputebene 1

- Schadenpotenzial Mensch
- Schadenpotenzial Infrastruktur

Inputebene 2

Eintretenswahrscheinlichkeit

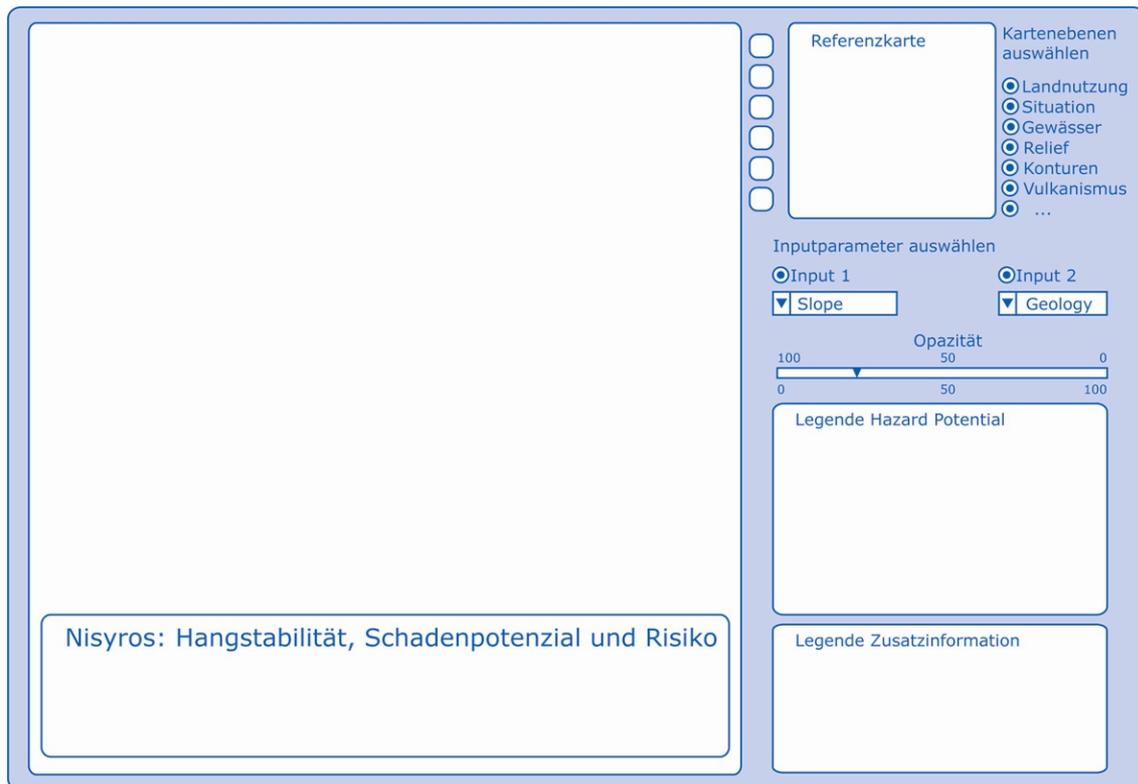
Risiko berechnen & anzeigen

Zusatzinformationen

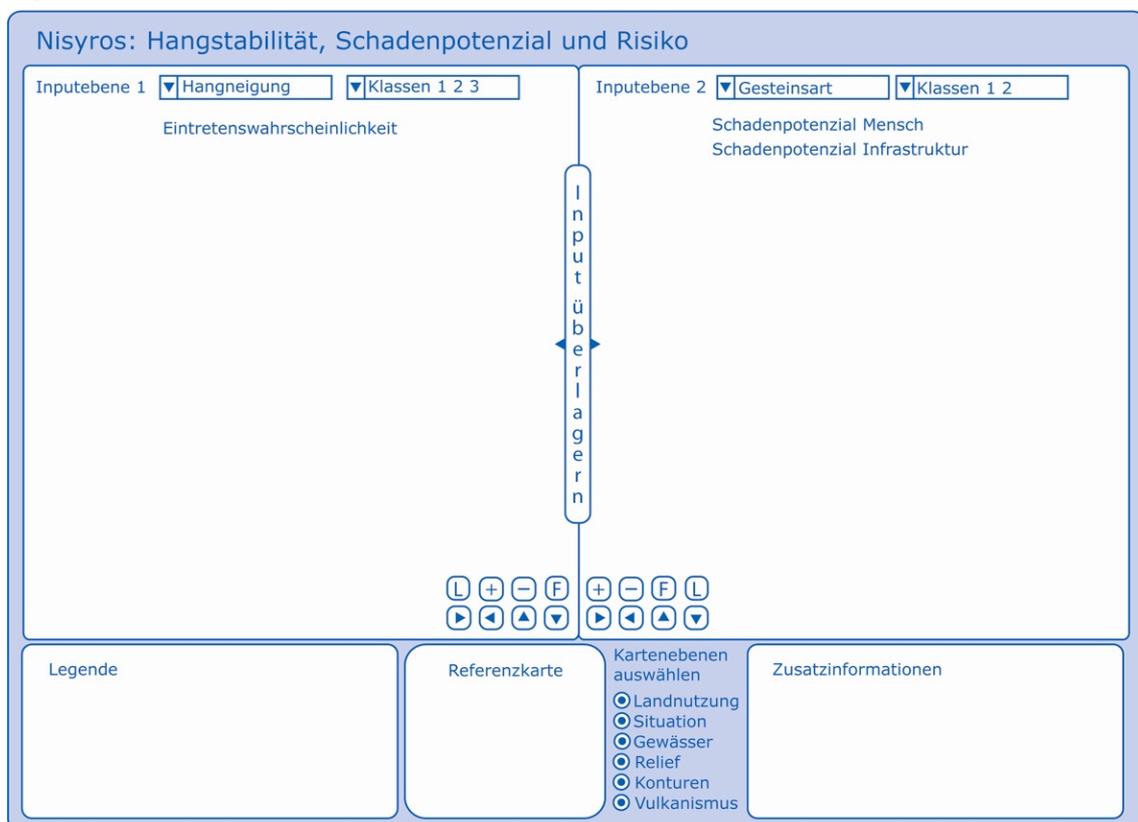
Nisyros: Hangstabilität, Schadenpotenzial und Risiko

Legende

Layoutvariante 2



Layoutvariante 3



B Beurteilungsunterlagen

Die Beurteilung der Webapplikation umfasst folgende vier Schritte:

- Einarbeitung
- Testaufgaben
- Beurteilungsbogen ISONORM
- Kartographischer Beurteilungsbogen

Mit dem standardisierten Fragebogen zur ISONORM 9241/10 von Joachim Prümper und Michael Anft wurde die Benutzerfreundlichkeit der Webapplikation ermittelt. Die Vorlage des Fragebogens kann auf der Webseite [SOZIALNETZ URL, 2005] bezogen werden. Der zweite Teil der Beurteilung basiert auf Aspekten der Multimediakartographie von [Sieber, 2005] und behandelt vor allem die Kartengestaltung und Interaktivität. Fragen diesbezüglich wurden nachträglich formuliert.

B.1 Einführung

Liebe Mitwirkende

Die Beurteilung der Webapplikation *Slope Stability on Nisyros Island, Greece* besteht aus vier Teilen, die Sie in der folgenden Reihenfolge bearbeiten sollten:

- Einarbeitung ca. 15 Minuten
- Testaufgaben
- Beurteilungsbogen ISONORM 9241/10
- Beurteilungsbogen kartographische Kriterien.

In der Einarbeitung dürfen Sie die Anwendung ca. 15 Minuten lang ausprobieren. Versuchen Sie dabei, einen Überblick über die Funktionen und die Anordnung der graphischen Benutzerschnittstelle zu gewinnen.

Danach sollten Sie mehrere Testaufgaben lösen. Um zu kontrollieren, ob Sie sie richtig gelöst haben, sind Kontrollfragen vorhanden. Bitte schreiben Sie die Antwort direkt auf das Aufgabenblatt.

Nach dem praktischen Teil sollten Sie den Beurteilungsbogen der internationalen Ergonomie-Norm ISO-Norm 9241/10 ausfüllen. Falls Ihnen eine Fragen in Bezug auf die untersuchte Webapplikation nicht relevant erscheinen sollte, können Sie diese mit 'Weiss nicht' beantworten.

Zum Schluss sollten Sie die Kartographie spezifischen Beurteilungsbogen ausfüllen.

Hier ein paar Wörter, die Ihnen vielleicht unbekannt sind:

Graphische Benutzerschnittstelle (GUI):	bietet eine Methode zum Bedienen des Computers, bei der bildliche Schaltflächen und Befehlsleisten mit der Maus gesteuert werden.
Tool-Tipps	Hilfefunktion in Form von Fensterchen, die z.B. beim Überfahren eines Symbols neben dem Cursorpfeil erscheinen. Der darin enthaltene Text erklärt die Funktion des Symbols.
Schriftschnitt	normal, fett , <i>kursiv</i> , <u>unterstrichen</u> etc.
Interaktivität	bezeichnet das Wechselspiel zwischen Benutzer und Computer.
Multimediaelemente	Text, Bild, Ton, Film...
Zoomregler	Schieberegler, mit dem die Grösse bzw. Zoomstufe des Kartenausschnitts verändert werden kann.

Herzlichen Dank für Ihre Hilfe.

Isabella Flüeler

B.2 Einarbeitung und Testaufgaben

Einarbeitung

Nehmen sie sich etwa 10 bis 15 Minuten Zeit, um die Applikation kennen zu lernen.

Testaufgaben

Kartenebenen und Legende

Toggle Map Layers

Blenden sie folgende Map Layers ein: Volcanic Features, Geology, Names, Roads, Settlement, Heights, Relief

Set Transparency

Verändern sie die Transparenz des Map Layers Geology so, dass das Relief durchschimmert.

Toggle Legend

Blenden sie die Legende des Map Layers Geology ein und verschieben sie sie an einen geeigneten Ort.

Schliessen sie das Menü zur Steuerung der Map Layers wieder.

Legend and Map Information

Finden sie heraus, worum es sich bei den verschieden eingefärbten Flächen des Map Layers Geology handelt.

Finden sie heraus, wo sich die zu den Legendeneinträgen gehörigen Flächen auf der Karte befinden.

Toggle Map Layers

Blenden sie die Legende des Map Layers Geology wieder aus.

Kontrolle: In welcher Region der Insel findet man den 'Nikia Rhyolite'?

Navigation und Profil

Drag Zoom Rectangle / Zoom in

Zoomen sie in das Kartenbild rein und verschieben sie den dargestellten Kartenausschnitt so, dass der fast nur noch das Dorf Mandraki auf dem Kartenbild zu sehen ist.

Map Attributes

Finden sie heraus, worum es sich bei den verschiedenen Signaturen und Symbole der Map Layers Geology, Volcanic Features, Settlement und Roads handelt, ohne die Legende einzuschalten.

Kontrolle: Wie hoch ist der Berg Profitis Ilias?

Define New Map Center

Definieren sie ein neues Kartenzentrum.

Set Map to Full View / Zoom Out

Setzen sie die Karte auf full view, so dass die ganze Insel wieder auf dem Kartenbild erscheint.

DTM Attributes

Aktivieren sie die DTM Attributes und finden sie heraus, wo sich die höchsten Punkte und steilsten Partien auf der Insel befinden.

Create Profile

Generieren sie ein Höhenprofil von einem Inselquerschnitt. Zeichnen sie zuerst die Profillinie in der Karte und lassen sie nachher das Profil berechnen.

Verändern sie die Profillinie in der Karte so, dass sie den Stefanos Krater, den grössten Krater im Kraterfeld im Inneren der Nisyros-Caldera, schneidet und lassen sie ein neues Höhenprofil zeichnen

Kontrolle: Auf wie viel m. ü. M. befindet sich der Stefanoskrater ungefähr?

Informationsmenü

Tabs (Reiter)

Verschaffen sie sich einen Überblick über die Themen im Menü für Zusatzinformationen. Betrachten und lesen sie, was sie interessiert.

Change Tab (Reiter)

Schauen sie sich den Film im Reiter Volcanism, Kapitel 2.2 Nisyros Island an

Create a Slope Stability Index Map

Wechseln sie in den Reiter Index Map zum Kapitel 5.1 Creating a Slope Stability Index Map und spielen sie den ganzen Ablauf durch.

Überprüfen sie dann ihr Modell an der Stelle Stefanos Crater.

Kontrolle: Wo könnte an dieser Stelle Steinschlag ausgelöst werden?

B.3 Beurteilungsbogen ISONORM 9241/10

Im Folgenden geht es um die Beurteilung von Softwaresystemen auf Grundlage der Internationalen Norm ISO 9241/10.

Das Ziel dieser Beurteilung ist es, Schwachstellen bei Softwaresystemen aufzudecken und konkrete Verbesserungsvorschläge zu entwickeln.

Um dies zu bewerkstelligen, ist Ihr Urteil als Kenner des Softwaresystems von entscheidender Bedeutung! Grundlage Ihrer Bewertung sind Ihre individuellen Erfahrungen mit dem Software-Programm, das Sie beurteilen möchten.

Dabei geht es nicht um eine Beurteilung Ihrer Person, sondern um Ihre persönliche Bewertung der Software mit der Sie arbeiten.

Am besten bearbeiten Sie den Beurteilungsbogen, während Sie das zu bewertende Softwaresystem vor sich am Bildschirm haben. Dadurch haben Sie die Möglichkeit, bei der Beantwortung der einzelnen Fragen die eine oder andere Sache noch einmal zu überprüfen.

Bitte machen Sie im folgenden Kasten zunächst einige Angaben zu der Software, auf die sich Ihre Beurteilung im Folgenden beziehen wird.

Auf welches Software-Programm bezieht sich Ihre Beurteilung? (Beurteilen Sie bitte lediglich ein Software-Programm!)

Name der Software:	Slope Stability on Nisyros Island, Greece
Versionsnummer:	Prototyp
Hersteller:	Isabella Flüeler
Teilanwendung / Modul:	-

Noch ein Hinweis zur Beantwortung des Beurteilungsbogens

Die einzelnen Normen werden über Beschreibungen konkretisiert. Diese Beschreibungen weisen immer folgende Form auf.

Beispiel Nr.1:

<i>Die Software ...</i>	---	--	-	-/+	+	++	+++	<i>Die Software ...</i>
ist schlecht.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ist gut.				

Im ersten Beispiel wird danach gefragt, wie gut, bzw. wie schlecht die Software ist.

Der Benutzer beurteilt in diesem Fall die Software zwar als gut, sieht jedoch noch Verbesserungsmöglichkeiten.

Beispiel Nr.2:

<i>Die Software ...</i>	---	--	-	-/+	+	++	+++	<i>Die Software ...</i>
ist langsam.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ist schnell.				

Im zweiten Beispiel beurteilt der Benutzer die Software als ziemlich langsam.

Füllen Sie bitte den Beurteilungsbogen äußerst sorgfältig aus und lassen Sie keine der Fragen aus! Die Auswertung der Daten erfolgt anonym.

Aufgabenangemessenheit

Unterstützt die Software die Erledigung Ihrer Arbeitsaufgaben, ohne Sie als Benutzer unnötig zu belasten?

<i>Die Software ...</i>	---	--	-	-/+	+	++	+++	<i>Die Software ...</i>	Weiss nicht	
ist kompliziert zu bedienen.	<input type="checkbox"/>	ist unkompliziert zu bedienen.	<input type="checkbox"/>	1.1						
bietet nicht alle Funktionen, um die anfallenden Aufgaben effizient zu bewältigen.	<input type="checkbox"/>	bietet alle Funktionen, um die anfallenden Aufgaben effizient zu bewältigen.	<input type="checkbox"/>	1.2						
bietet schlechte Möglichkeiten, sich häufig wiederholende Bearbeitungsvorgänge zu automatisieren.	<input type="checkbox"/>	bietet gute Möglichkeiten, sich häufig wiederholende Bearbeitungsvorgänge zu automatisieren.	<input type="checkbox"/>	1.3						
erfordert überflüssige Eingaben.	<input type="checkbox"/>	erfordert keine überflüssigen Eingaben.	<input type="checkbox"/>	1.4						
ist schlecht auf die Anforderungen der Arbeit zugeschnitten.	<input type="checkbox"/>	ist gut auf die Anforderungen der Arbeit zugeschnitten.	<input type="checkbox"/>	1.5						

Selbstbeschreibungsfähigkeit

Gibt Ihnen die Software genügend Erläuterungen und ist sie in ausreichendem Maße verständlich?

<i>Die Software ...</i>	---	--	-	-/+	+	++	+++	<i>Die Software ...</i>	Weiss nicht	
bietet einen schlechten Überblick über ihr Funktionsangebot.	<input type="checkbox"/>	bietet einen guten Überblick über ihr Funktionsangebot.	<input type="checkbox"/>	2.1						
verwendet schlecht verständliche Begriffe, Bezeichnungen, Abkürzungen oder Symbole in Masken und Menüs.	<input type="checkbox"/>	verwendet gut verständliche Begriffe, Bezeichnungen, Abkürzungen oder Symbole in Masken und Menüs.	<input type="checkbox"/>	2.2						
liefert in unzureichendem Maße Informationen darüber, welche Eingaben zulässig oder nötig sind.	<input type="checkbox"/>	liefert in zureichendem Maße Informationen darüber, welche Eingaben zulässig oder nötig sind.	<input type="checkbox"/>	2.3						
bietet auf Verlangen keine situationsspezifische Erklärungen, die konkret weiterhelfen.	<input type="checkbox"/>	bietet auf Verlangen situationsspezifische Erklärungen, die konkret weiterhelfen.	<input type="checkbox"/>	2.4						
bietet von sich aus keine situationsspezifische Erklärungen, die konkret weiterhelfen.	<input type="checkbox"/>	bietet von sich aus situationsspezifische Erklärungen, die konkret weiterhelfen.	<input type="checkbox"/>	2.5						

Steuerbarkeit

Können Sie als Benutzer die Art und Weise, wie Sie mit der Software arbeiten, beeinflussen?

<i>Die Software ...</i>	---	--	-	-/+	+	++	+++	<i>Die Software ...</i>	Weiss nicht	
bietet keine Möglichkeit, die Arbeit an jedem Punkt zu unterbrechen und dort später ohne Verluste wieder weiterzumachen.	<input type="checkbox"/>	bietet die Möglichkeit, die Arbeit an jedem Punkt zu unterbrechen und dort später ohne Verluste wieder weiterzumachen.	<input type="checkbox"/>	3.1						
erzwingt eine unnötig starre Einhaltung von Bearbeitungsschritte.	<input type="checkbox"/>	erzwingt keine unnötig starre Einhaltung von Bearbeitungsschritte.	<input type="checkbox"/>	3.2						
ermöglicht keinen leichten Wechsel zwischen einzelnen Menüs oder Masken.	<input type="checkbox"/>	ermöglicht einen leichten Wechsel zwischen einzelnen Menüs oder Masken.	<input type="checkbox"/>	3.3						
ist so gestaltet, daß der Benutzer nicht beeinflussen kann, wie und welche Informationen am Bildschirm dargeboten werden.	<input type="checkbox"/>	ist so gestaltet, daß der Benutzer beeinflussen kann, wie und welche Informationen am Bildschirm dargeboten werden.	<input type="checkbox"/>	3.4						
erzwingt unnötige Unterbrechungen der Arbeit.	<input type="checkbox"/>	erzwingt keine unnötigen Unterbrechungen der Arbeit.	<input type="checkbox"/>	3.5						

Erwartungskonformität

Kommt die Software durch eine einheitliche und verständliche Gestaltung Ihren Erwartungen und Gewohnheiten entgegen?

<i>Die Software ...</i>	---	--	-	-/+	+	++	+++	<i>Die Software ...</i>	Weiss nicht	
erschwert die Orientierung, durch eine uneinheitliche Gestaltung.	<input type="checkbox"/>	erleichtert die Orientierung, durch eine einheitliche Gestaltung.	<input type="checkbox"/>	4.1						
läßt einen im Unklaren darüber, ob eine Eingabe erfolgreich war oder nicht.	<input type="checkbox"/>	läßt einen nicht im Unklaren darüber, ob eine Eingabe erfolgreich war oder nicht.	<input type="checkbox"/>	4.2						
informiert in unzureichendem Maße über das, was sie gerade macht.	<input type="checkbox"/>	informiert in ausreichendem Maße über das, was sie gerade macht.	<input type="checkbox"/>	4.3						
reagiert mit schwer vorhersehbaren Bearbeitungszeiten.	<input type="checkbox"/>	reagiert mit gut vorhersehbaren Bearbeitungszeiten.	<input type="checkbox"/>	4.4						
läßt sich nicht durchgehend nach einem einheitlichen Prinzip bedienen.	<input type="checkbox"/>	läßt sich durchgehend nach einem einheitlichen Prinzip bedienen.	<input type="checkbox"/>	4.5						

Fehlertoleranz

Bietet Ihnen die Software die Möglichkeit, trotz fehlerhafter Eingaben das beabsichtigte Arbeitsergebn ohne oder mit geringem Korrekturaufwand zu erreichen?

<i>Die Software ...</i>	---	--	-	-/+	+	++	+++	<i>Die Software ...</i>	Weiss nicht	
ist so gestaltet, daß kleine Fehler schwerwiegende Folgen haben können.	<input type="checkbox"/>	ist so gestaltet, daß kleine Fehler keine schwerwiegenden Folgen haben können.	<input type="checkbox"/>	5.1						
informiert zu spät über fehlerhafte Eingaben.	<input type="checkbox"/>	informiert sofort über fehlerhafte Eingaben.	<input type="checkbox"/>	5.2						
liefert schlecht verständliche Fehlermeldungen.	<input type="checkbox"/>	liefert gut verständliche Fehlermeldungen.	<input type="checkbox"/>	5.3						
erfordert bei Fehlern im großen und ganzen einen hohen Korrekturaufwand.	<input type="checkbox"/>	erfordert bei Fehlern im großen und ganzen einen geringen Korrekturaufwand.	<input type="checkbox"/>	5.4						
gibt keine konkreten Hinweise zur Fehlerbehebung.	<input type="checkbox"/>	gibt konkrete Hinweise zur Fehlerbehebung.	<input type="checkbox"/>	5.5						

Individualisierbarkeit

Können Sie als Benutzer die Software ohne großen Aufwand auf Ihre individuellen Bedürfnisse und Anforderungen anpassen?

<i>Die Software ...</i>	---	--	-	-/+	+	++	+++	<i>Die Software ...</i>	Weiss nicht	
läßt sich von dem Benutzer schwer erweitern, wenn für ihn neue Aufgaben entstehen.	<input type="checkbox"/>	läßt sich von dem Benutzer leicht erweitern, wenn für ihn neue Aufgaben entstehen.	<input type="checkbox"/>	6.1						
läßt sich von dem Benutzer schlecht an seine persönliche, individuelle Art der Arbeitserledigung anpassen.	<input type="checkbox"/>	läßt sich von dem Benutzer gut an seine persönliche, individuelle Art der Arbeitserledigung anpassen.	<input type="checkbox"/>	6.2						
eignet sich für Anfänger und Experten nicht gleichermaßen, weil der Benutzer sie nur schwer an seinen Kenntnisstand anpassen kann.	<input type="checkbox"/>	eignet sich für Anfänger und Experten gleichermaßen, weil der Benutzer sie leicht an seinen Kenntnisstand anpassen kann.	<input type="checkbox"/>	6.3						
läßt sich - im Rahmen ihres Leistungsumfangs – vom Benutzer schlecht für unterschiedliche Aufgaben passend einrichten.	<input type="checkbox"/>	läßt sich - im Rahmen ihres Leistungsumfangs – vom Benutzer gut für unterschiedliche Aufgaben passend einrichten.	<input type="checkbox"/>	6.4						
ist so gestaltet, daß der Benutzer die Bildschirmdarstellung schlecht an seine individuellen Bedürfnisse anpassen kann.	<input type="checkbox"/>	ist so gestaltet, daß der Benutzer die Bildschirmdarstellung gut an seine individuellen Bedürfnisse anpassen kann.	<input type="checkbox"/>	6.5						

Lernförderlichkeit

Ist die Software so gestaltet, daß Sie sich ohne großen Aufwand in sie einarbeiten konnten und bietet sie auch dann Unterstützung, wenn Sie neue Funktionen lernen möchten?

<i>Die Software ...</i>	---	--	-	-/+	+	++	+++	<i>Die Software ...</i>		
erfordert viel Zeit zum Erlernen.	<input type="checkbox"/>	erfordert wenig Zeit zum Erlernen.	<input type="checkbox"/>	7.1						
ermutigt nicht dazu, auch neue Funktionen auszuprobieren.	<input type="checkbox"/>	ermutigt dazu, auch neue Funktionen auszuprobieren.	<input type="checkbox"/>	7.2						
erfordert, daß man sich viele Details merken muß.	<input type="checkbox"/>	erfordert nicht, daß man sich viele Details merken muß.	<input type="checkbox"/>	7.3						
ist so gestaltet, daß sich einmal Gelerntes schlecht einprägt.	<input type="checkbox"/>	ist so gestaltet, daß sich einmal Gelerntes gut einprägt.	<input type="checkbox"/>	7.4						
ist schlecht ohne fremde Hilfe oder Handbuch erlernbar.	<input type="checkbox"/>	ist gut ohne fremde Hilfe oder Handbuch erlernbar.	<input type="checkbox"/>	7.5						

B.4 Kartographische Beurteilung

Kartengestaltung

Layout	---	--	-	-/+	+	++	+++	Weiss nicht
Die Karte sollte einen geringeren Anteil der graphischen Benutzerschnittstelle (GUI) einnehmen.	<input type="checkbox"/> 8.1							
Die Werkzeuge sind nicht sinnvoll gruppiert und angeordnet.	<input type="checkbox"/> 8.2							
Die frei wählbare Platzierung der Legende wertet die graphische Benutzerschnittstelle (GUI) ab.	<input type="checkbox"/> 8.3							
Von der graphischen Massstabsleiste lassen sich mit grossem Aufwand Distanzen ablesen.	<input type="checkbox"/> 8.4							
Die Karte sollte einen Anteil der grösseren graphischen Benutzerschnittstelle (GUI) einnehmen.								
Die Werkzeuge sind sinnvoll gruppiert und angeordnet.								
Die frei wählbare Platzierung der Legende wertet das graphische Benutzerschnittstelle (GUI) auf.								
Von der graphischen Massstabsleiste lassen sich mit geringem Aufwand Distanzen ablesen.								

Farben	---	--	-	-/+	+	++	+++	Weiss nicht
Die verwendeten Farben tragen wenig zur Verständlichkeit der dargestellten Themen bei.	<input type="checkbox"/> 8.5							
Das Zusammenspiel der verwendeten Farben in der Kartengraphik ist ungünstig gelöst.	<input type="checkbox"/> 8.6							
Die verwendeten Farben tragen viel zur Verständlichkeit der dargestellten Themen bei.								
Das Zusammenspiel der verwendeten Farben in der Kartengraphik ist gut gelöst.								

Symbolisierung	---	--	-	-/+	+	++	+++		Weiss nicht	
Lineare Kartenelemente sind nicht klar erkennbar und von einander unterscheidbar.	<input type="checkbox"/>	Lineare Kartenelemente sind klar erkennbar und von einander unterscheidbar.	<input type="checkbox"/>	8.7						
Flächenhafte Kartenelemente sind optisch nicht eindeutig trennbar.	<input type="checkbox"/>	Flächenhafte Kartenelemente sind optisch eindeutig trennbar.	<input type="checkbox"/>	8.8						
Punktobjekte können nicht eindeutig identifiziert werden.	<input type="checkbox"/>	Punktobjekte können eindeutig identifiziert werden.	<input type="checkbox"/>	8.9						
Die Kartenelemente kollidieren miteinander; Die Karte ist daher schlecht leserlich.	<input type="checkbox"/>	Die Kartenelemente kollidieren nicht miteinander; Die Karte ist daher gut leserlich.	<input type="checkbox"/>	8.10						

Schriften	---	--	-	-/+	+	++	+++		Weiss nicht	
Die verwendete Schriftart in der Karte ist schwer lesbar.	<input type="checkbox"/>	Die verwendete Schriftart in der Karte ist gut lesbar.	<input type="checkbox"/>	8.11						
Die verwendeten Schriftgrößen sind schwer lesbar.	<input type="checkbox"/>	Die verwendeten Schriftgrößen sind gut lesbar.	<input type="checkbox"/>	8.12						
In der Karte werden zu wenige Schriftschnitte (normal, fett , <i>kursiv</i> , <u>unterstrichen</u> etc.) verwendet.	<input type="checkbox"/>	In der Karte werden zu viele Schriftschnitte (normal, fett , <i>kursiv</i> , <u>unterstrichen</u> etc.) verwendet.	<input type="checkbox"/>	8.13						

Interaktivität

Allgemeines	---	--	-	-/+	+	++	+++	Weiss nicht	
Der Benutzer kann die zur Verfügung stehenden Informationen in geringem Masse seinen Wünschen entsprechend abrufen.	<input type="checkbox"/>	9.1							
Der Benutzer kann die zur Verfügung stehenden Informationen in hohem Masse seinen Wünschen entsprechend abrufen.								<input type="checkbox"/>	
Nach dem Gebrauch eines Werkzeugs erfolgt ein Feedback verzögert.	<input type="checkbox"/>	9.2							
Nach dem Gebrauch eines Werkzeugs erfolgt ein Feedback unmittelbar.								<input type="checkbox"/>	
Die zur Verfügung stehenden Werkzeuge sind nicht intuitiv bedienbar.	<input type="checkbox"/>	9.3							
Die zur Verfügung stehenden Werkzeuge sind intuitiv bedienbar.								<input type="checkbox"/>	
Die Interaktionsmöglichkeiten sind nicht notwendig, um die anfallenden Aufgaben zu erledigen.	<input type="checkbox"/>	9.4							
Die Interaktionsmöglichkeiten sind notwendig, um die anfallenden Aufgaben zu erledigen.								<input type="checkbox"/>	
Die zur Verfügung stehenden Werkzeuge sind unzureichend, um das Thema Hangstabilität zu erfassen.	<input type="checkbox"/>	9.5							
Die zur Verfügung stehenden Werkzeuge sind ausreichend um das Thema Hangstabilität zu erfassen.								<input type="checkbox"/>	
Die Software ist nur für Geologie-Experten verwendbar.	<input type="checkbox"/>	9.6							
Die Software ist auch für Laien verwendbar.								<input type="checkbox"/>	

Folgende(s) Werkzeuge, Hilfestellungen oder Informationsangebote würden das Thema zusätzlich zu den existierenden Werkzeugen verständlicher machen.

.....

.....

.....

.....

Generelle Funktionen	---	--	-	-/+	+	++	+++		Weiss nicht
Die Anzahl Tool-Tipps ist nicht ausreichend, damit die graphische Benutzerschnittstelle (GUI) verständlich ist.	<input type="checkbox"/>	Die Anzahl Tool-Tipps ist ausreichend, damit die graphische Benutzerschnittstelle (GUI) verständlich ist.	<input type="checkbox"/> 9.7						
Damit die Software verständlich ist, sind zusätzliche Hilfsfunktionen notwendig.	<input type="checkbox"/>	Damit die Software verständlich ist, sind zusätzliche Hilfsfunktionen nicht notwendig.	<input type="checkbox"/> 9.8						

Thematische Navigation und Orientierung	---	--	-	-/+	+	++	+++		Weiss nicht
Das Informationsmenu (Tabs) ist unübersichtlich und schwierig zu bedienen.	<input type="checkbox"/>	Das Informationsmenu (Tabs) ist übersichtlich und einfach zu bedienen.	<input type="checkbox"/> 9.9						
Aus der Erstellung einer Gefahren-Hinweiskarte geht nicht deutlich hervor, wie die Hangstabilität und die Konfliktzonen berechnet werden.	<input type="checkbox"/>	Aus der Erstellung einer Gefahren-Hinweiskarte geht deutlich hervor, wie die Hangstabilität und die Konfliktzonen berechnet werden.	<input type="checkbox"/> 9.10						

Räumliche Navigation und Orientierung	---	--	-	-/+	+	++	+++		Weiss nicht
Der Zoomregler belastet das GUI unnötig.	<input type="checkbox"/>	Der Zoomregler erleichtert die Navigation	<input type="checkbox"/> 9.11						
Der dargestellte Kartenausschnitt kann mittels Navigationswerkzeug mit grossem Aufwand den individuellen Bedürfnissen angepasst werden.	<input type="checkbox"/>	Der dargestellte Kartenausschnitt kann mittels Navigationswerkzeug mit geringem Aufwand den individuellen Bedürfnissen angepasst werden.	<input type="checkbox"/> 9.12						
Die Referenzkarte erschwert die Orientierung in der Karte.	<input type="checkbox"/>	Die Referenzkarte erleichtert die Orientierung in der Karte.	<input type="checkbox"/> 9.13						

Visualisierung	---	--	-	-/+	+	++	+++		Weiss nicht
Der Karteninhalt kann vom Benutzer in geringem Masse an seine individuellen Bedürfnisse angepasst werden.	<input type="checkbox"/>	Der Karteninhalt kann vom Benutzer sehr gut an seine individuellen Bedürfnisse angepasst werden.	<input type="checkbox"/> 9.14						
Die frei wählbare Transparenz der Kartenebenen hindert die Lesbarkeit der Karte.	<input type="checkbox"/>	Die frei wählbare Transparenz der Kartenebenen fördert die Lesbarkeit der Karte.	<input type="checkbox"/> 9.15						
Die Kartenqualität ist unterschiedlich für verschiedene Massstäbe.	<input type="checkbox"/>	Die Kartenqualität ist einheitlich für die verschiedenen Massstäbe.	<input type="checkbox"/> 9.16						

Analysefunktionen	---	--	-	-/+	+	++	+++		Weiss nicht	
Der Bezug zwischen Legende und Karte ist für andere Kartenebenen als die Geologie und Landnutzung unnötig.	<input type="checkbox"/>	Der Bezug zwischen Legende und Karte ist auch für andere Kartenebenen als die Geologie und Landnutzung wünschenswert.	<input type="checkbox"/>	9.17						
Die Attributanzeigen tragen wenig zur Verständlichkeit des Hauptthemas Hangstabilität bei.	<input type="checkbox"/>	Die Attributanzeigen tragen viel zur Verständlichkeit des Hauptthemas Hangstabilität bei.	<input type="checkbox"/>	9.18						
Die Funktion Create profile trägt wenig zur Verständlichkeit des Hauptthemas Hangstabilität bei.	<input type="checkbox"/>	Die Funktion Create profile trägt viel zur Verständlichkeit des Hauptthemas Hangstabilität bei.	<input type="checkbox"/>	9.19						

Medienkombination

	---	--	-	-/+	+	++	+++		Weiss nicht	
Die Kombination verschiedenartiger Multimediaelemente (z.B. Text, Bild, Film) fördert das Verständnis für das Hauptthema nicht.	<input type="checkbox"/>	Die Kombination verschiedenartiger Multimediaelemente (z.B. Text, Bild, Film) fördert das Verständnis für das Hauptthema.	<input type="checkbox"/>	10.1						

B.5 Allgemeines

Sind sie vertraut mit dem Lesen von Papierkarten?	sehr schlecht	<input type="radio"/>	sehr gut
Sind sie vertraut mit dem Lesen von Bildschirmkarten?	sehr schlecht	<input type="radio"/>	sehr gut
Haben sie selber schon Bildschirmkarten erstellt?	keine	<input type="radio"/>	viele
Welche Erfahrungen haben sie mit GIS-Programmen (z.B. ESRI ArcGIS, Intergraph GeoMedia etc.)?	keine	<input type="radio"/>	viel

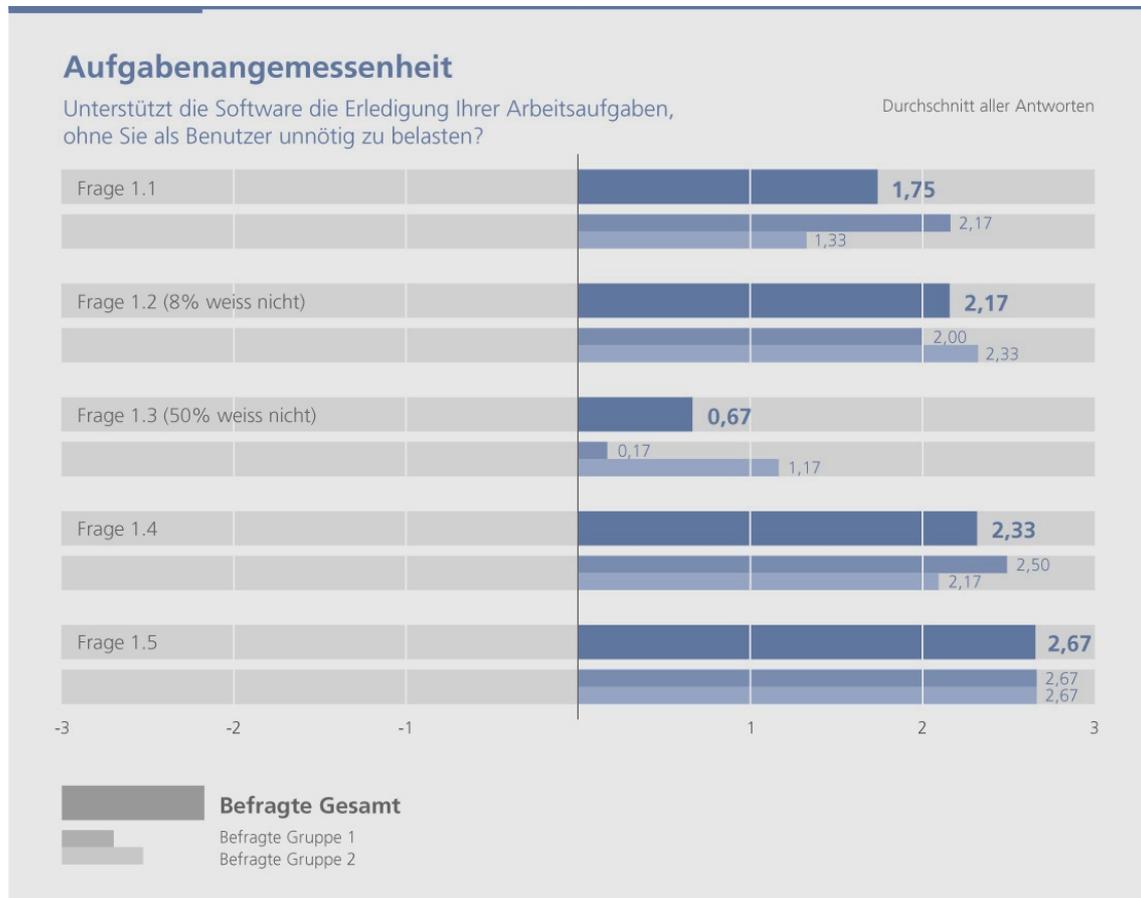
Seit wievielen Jahren arbeiten Sie überhaupt schon mit Computern?		Jahre
Wie oft arbeiten sie mit Computern?	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	gar nicht täglich Tage/Woche Tage/Monat Tage/Jahr
Wie gut schätzen sie ihre Beherrschung der beurteilten Software nach dem Lösen der Testaufgaben ein?	sehr schlecht	<input type="radio"/> sehr gut
Mit wievielen Programmen arbeiten Sie derzeit?		Programme
Davon:		PC-Programme

Was ist Ihr Beruf?	
Wie alt sind Sie?	Jahre
Ihr Geschlecht?	m/w

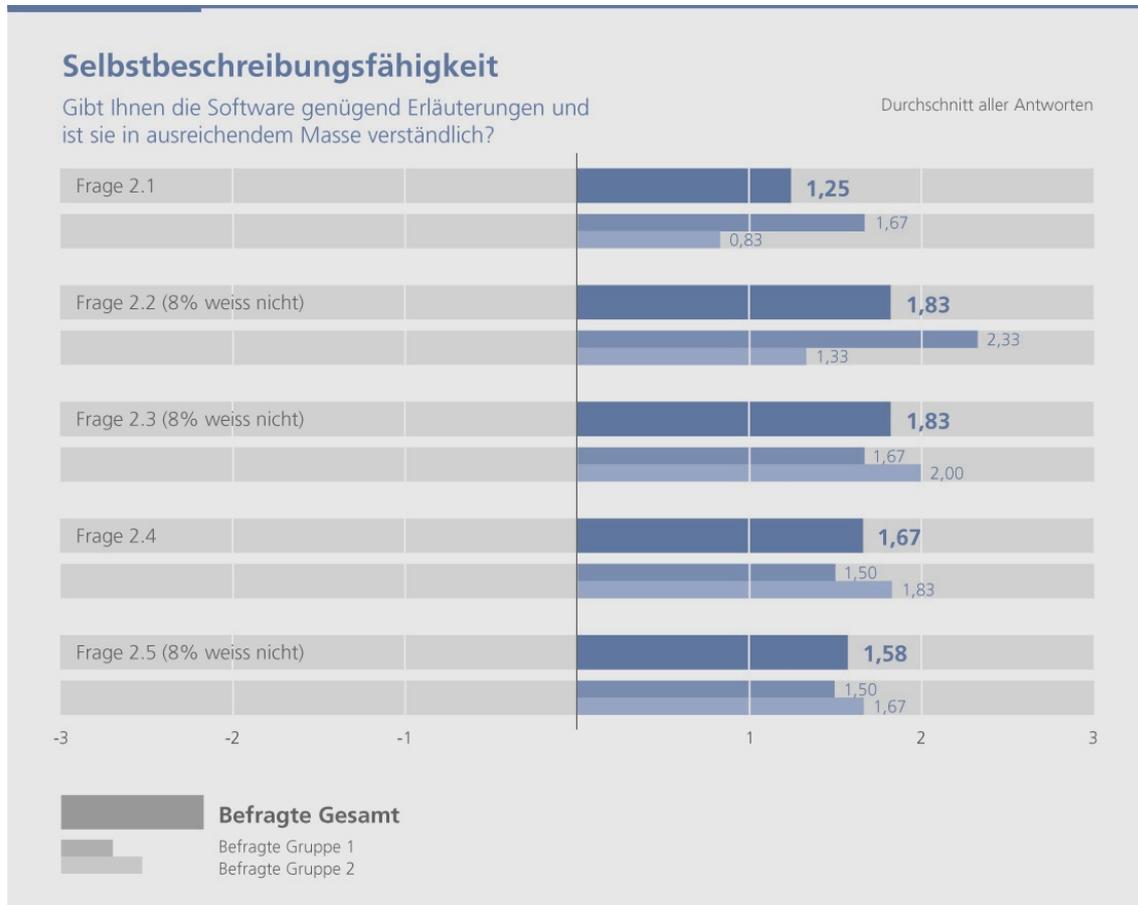
C Beurteilungsergebnisse zur Usability

Im Hauptteil dieser Diplomarbeit wird auf die Teilkriterien des Beurteilungsbogens ISONORM nicht im Detail eingegangen. Die nachfolgenden Diagramme geben Aufschluss über die einzelnen Fragen der Benutzerfreundlichkeit.

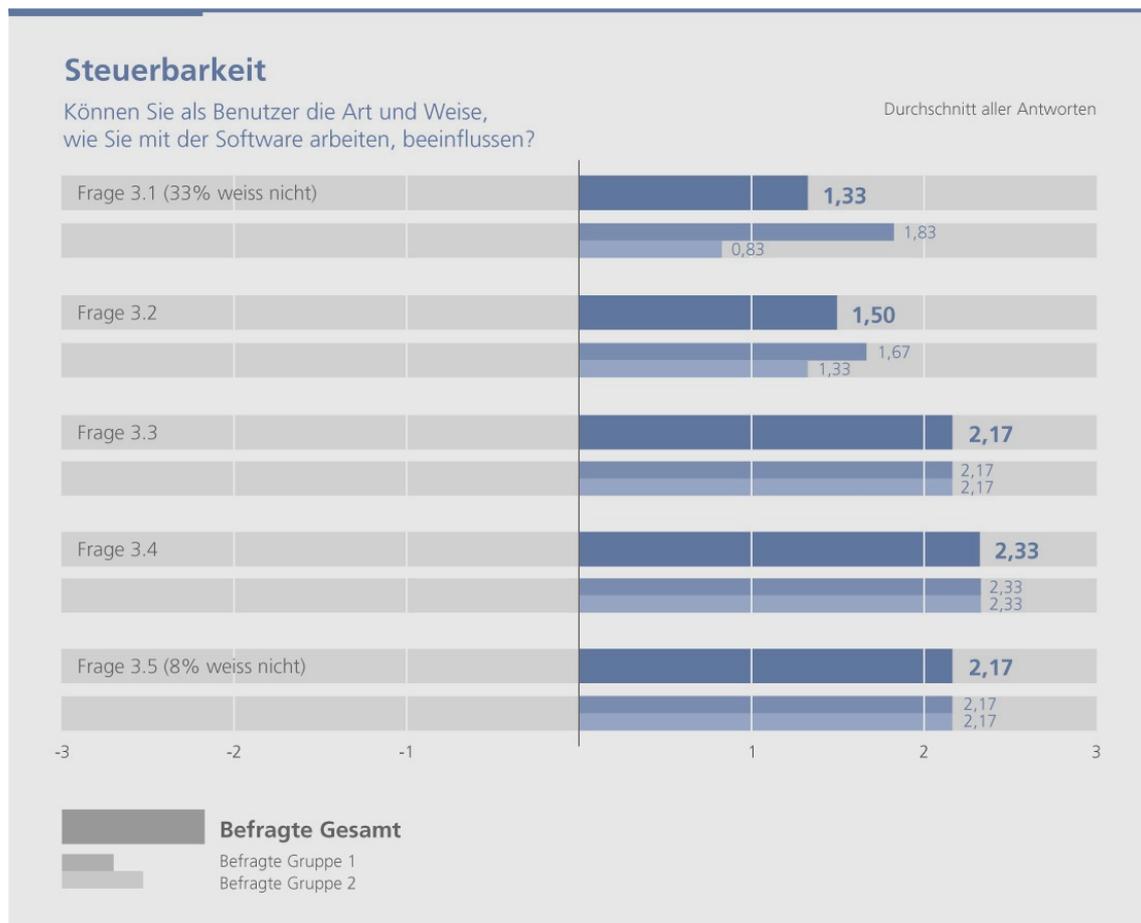
C.1 Aufgabenangemessenheit



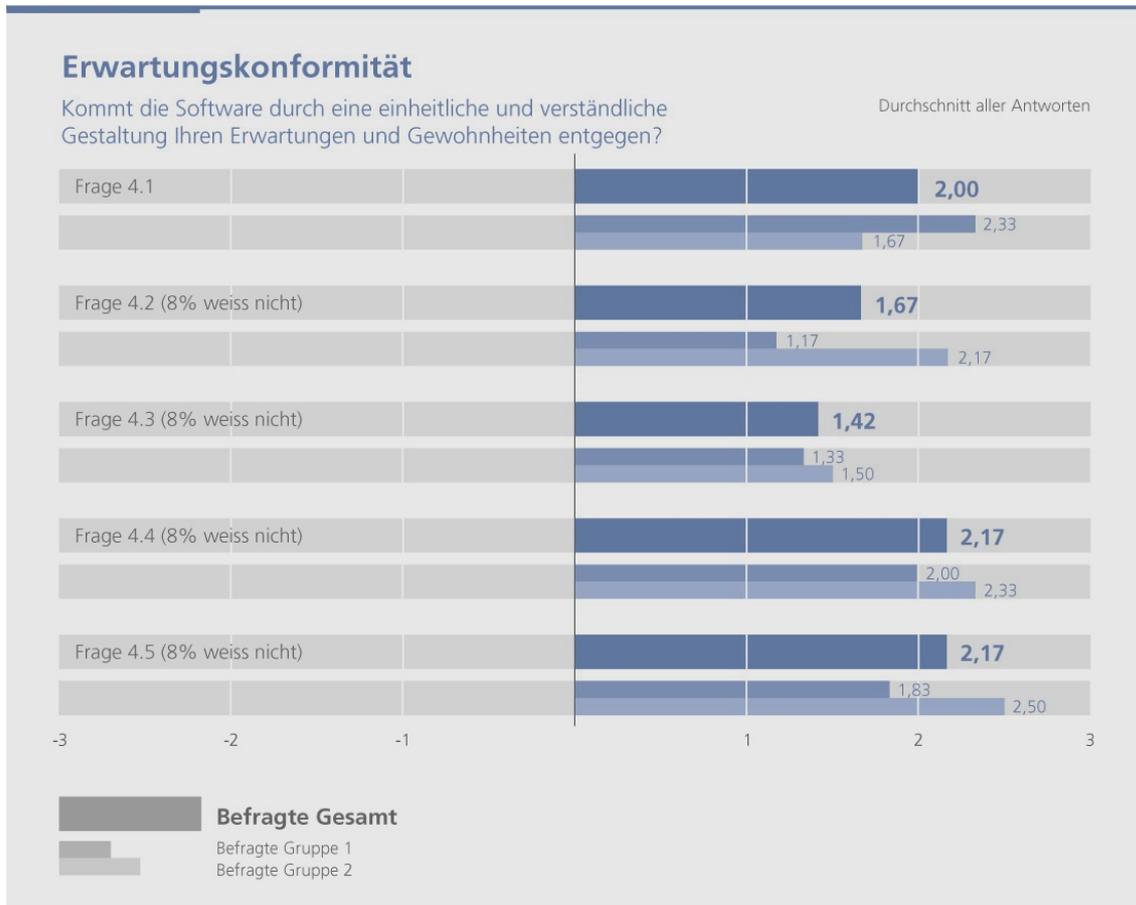
C.2 Selbstbeschreibungsfähigkeit



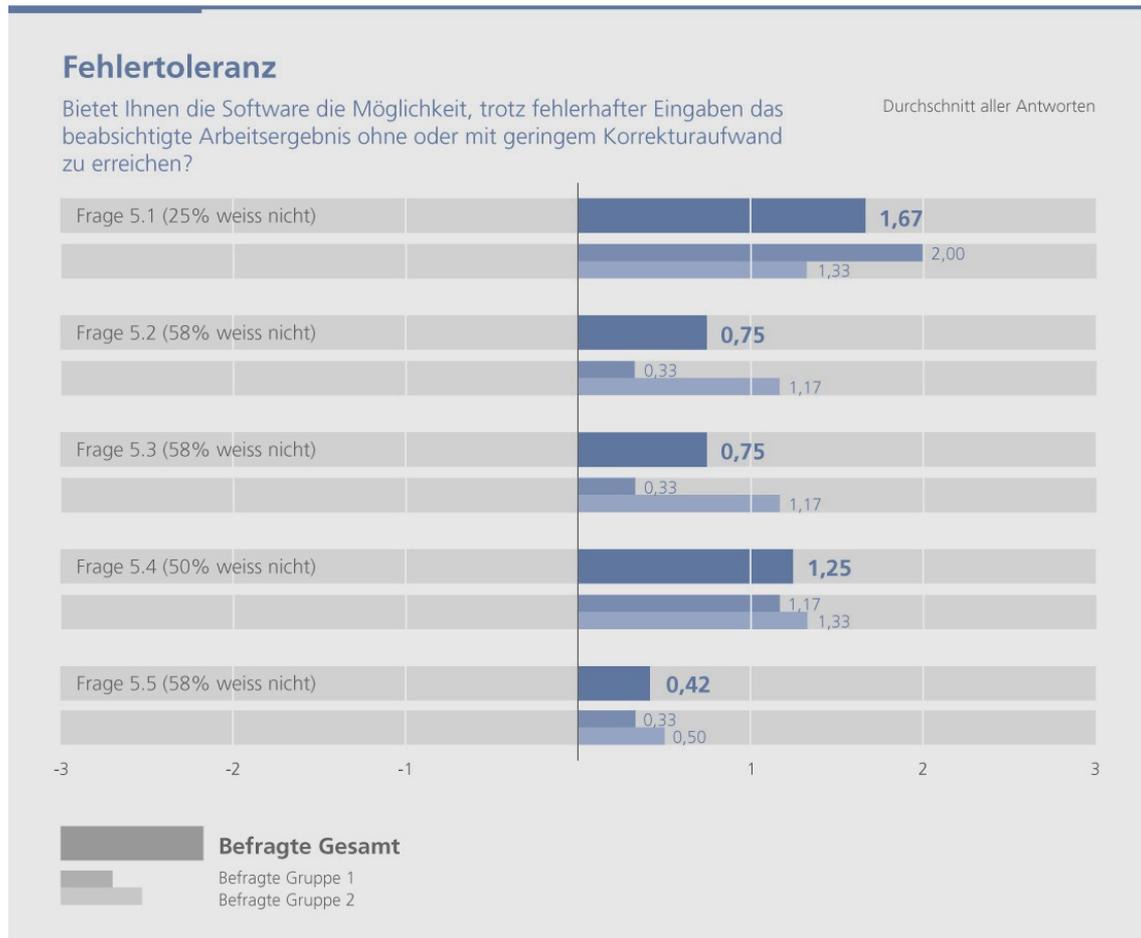
C.3 Steuerbarkeit



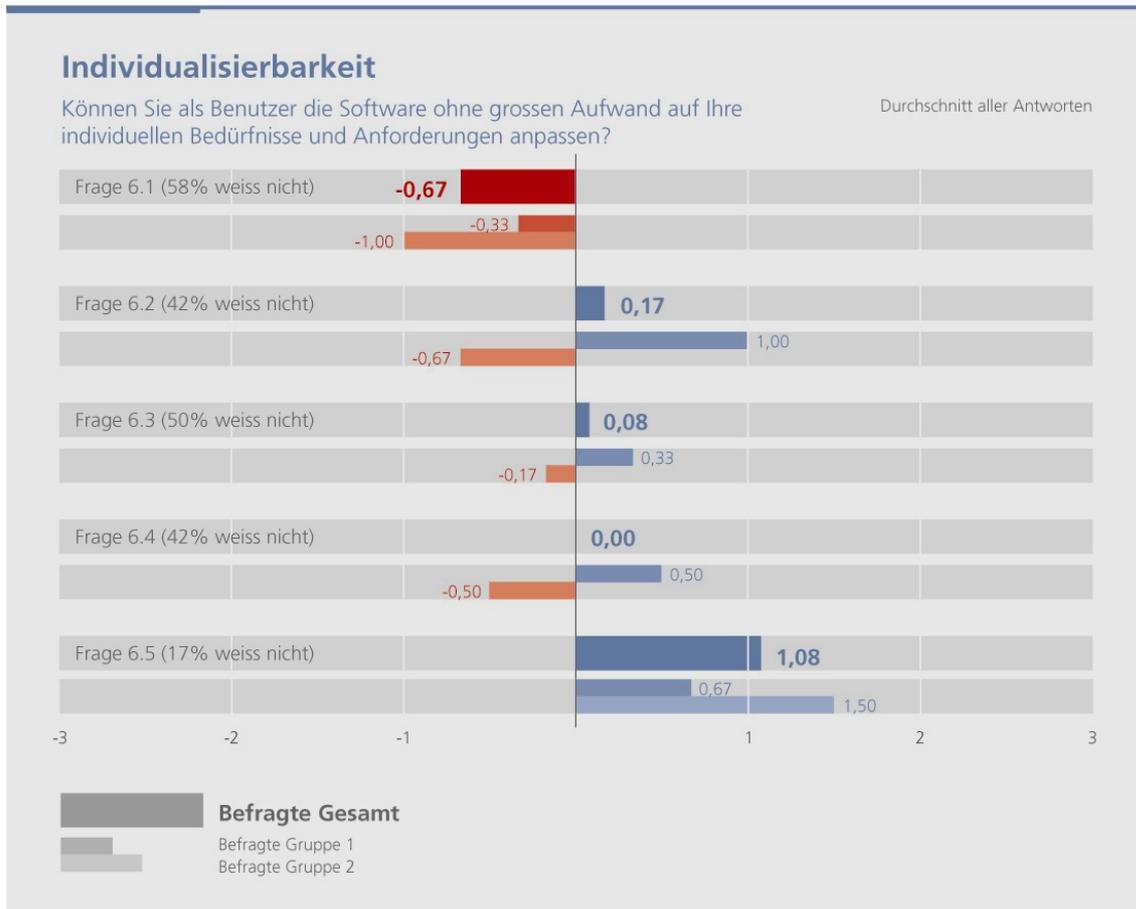
C.4 Erwartungskonformität



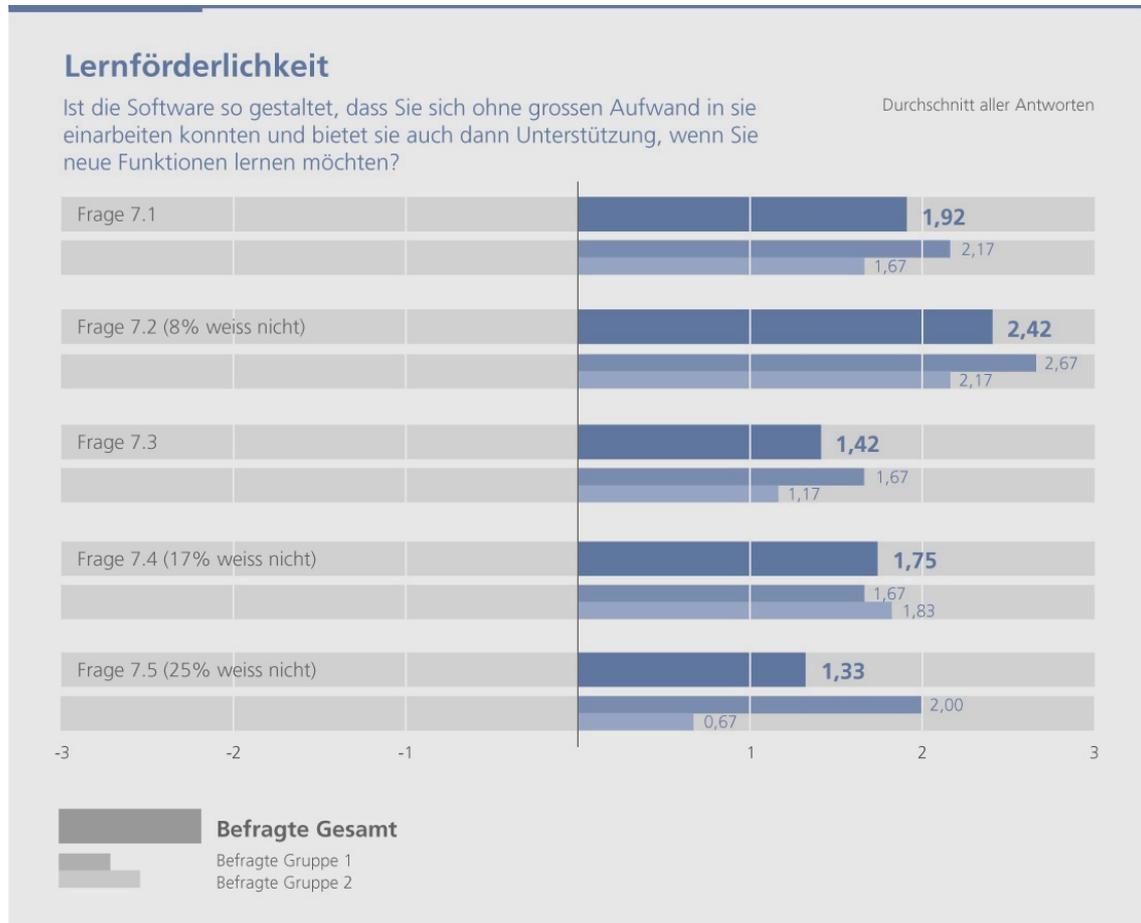
C.5 Fehlertoleranz



C.6 Individualisierbarkeit



C.7 Lernförderlichkeit



D Daten-DVD

