Zeitschrift: Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft Bern

Herausgeber: Geographische Gesellschaft Bern

Band: 55 (1983)

Artikel: Naturgefahren : Entwicklung eines Modells durch visuellen Kartenvergleich : Erfahrungen aus dem MAB-Testgebiet Davos

Autor: Kienholz, Hans / Grunder, Martin

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-960260

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Naturgefahren: Entwicklung eines Modells durch visuellen Kartenvergleich

Erfahrungen aus dem MAB-Testgebiet Davos[1]

HANS KIENHOLZ*, MARTIN GRUNDER*

1.0 Einleitung und Problemstellung

Die Schweiz beteiligt sich am weltweiten UNESCO-Programm «Man and the Biosphere (MAB)» im Rahmen eines Nationalen Forschungsprogrammes. Dabei konzentriert man sich auf den Problemkreis «Mensch und Biosphäre in Gebirgsregionen». In 4 verschiedenen Testgebieten (Pays d'Enhaut, Aletsch, Grindelwald und Davos) werden die Wechselbeziehungen zwischen den wirtschaftlichen Aktivitäten, der Landnutzung und den natürlichen Ressourcen untersucht. Es wird angestrebt, diese Zusammenhänge und Prozesse besser zu verstehen, so dass daraus Einflussmöglichkeiten im Hinblick auf eine nachhaltige Nutzung der Ressourcen abgeleitet und durch Simulation von verschiedenen Szenarien überprüft werden können.

Im Rahmen des MAB-Testgebietes Davos wurden verschiedene Themen multidisziplinär angegangen, so dass schlussendlich zahlreiche Daten aus den Bereichen Klima, Vegetation, Wald, Wildfauna, Bodenkunde, Landnutzungs- und Siedlungsgeschichte, Wirtschaft usw. zur Verfügung standen. Im Hinblick auf die oben formulierte Zielsetzung müssen diese vorerst nebeneinanderstehenden Daten auf geeignete Weise verknüpft werden. Für das Testgebiet Davos wurden die Daten in einem Geographischen Informationssystem (GIS) des Instituts für Kommunikationstechnik an der ETH Zürich gespeichert und für verschiedene Auswertungen verfügbar gemacht.

Die Informationen aus den einzelnen Disziplinen wurden in bezug auf Rasterzellen von 50 m Seitenlänge digitalisiert und in geeigneter Form (fotomechanisches Abtasten mit Trommelscanner, manuell am Digitalisiertisch oder auch durch Erfassung der Koordinatenwerte und der zugehörigen Informationen für die einzelnen Rasterzellen in Tabellenform) in das GIS eingegeben. Auf diese Weise wurden die verschiedenen Informationsebenen über demselben räumlichen Raster und Bezugssystem angeordnet (vgl. Abb. 1). Mit Hilfe von entsprechenden Programmen können die Informationen auf verschiedene Weise verknüpft und statistisch oder visuell und raumbezogen ausgewertet werden (vgl. dazu KELLER, SEIDEL 1984, BINZ et al. 1985 und ADE 1985).

1 Mit Unterstützung durch
den Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung und
die Schweizerische Mobiliar Versicherungsgesellschaft

* Dr. Hans KIENHOLZ, Lektor am Geographischen Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern
* Dr. Martin GRUNDER, Soil Conservation Research Project, P.O. Box 2597, Addis Abeba, Ethiopia

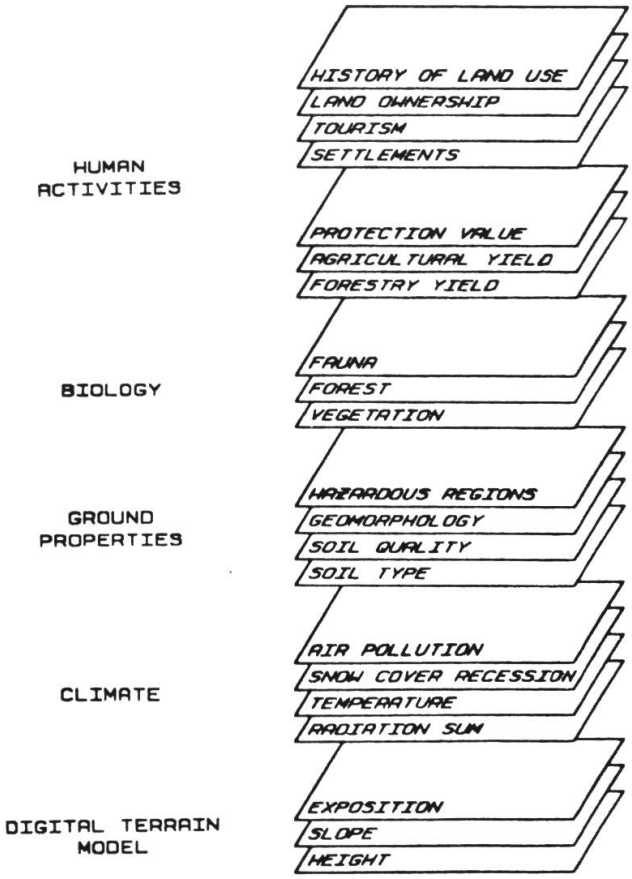


Abbildung 1: Informationsebenen des GIS für das MAB-Testgebiet Davos (aus: KELLER, SEIDEL 1984)

2.0 Das MAB-Testgebiet Davos

(vgl. dazu GRUNDER 1984)
Das im Kanton Graubünden gelegene Testgebiet Davos (46° 50' N, 9° 50' E) umfasst mit zirka 90 km² einen Teil der Gemeinde Davos (Strela-/ Parsenngebiet, Siedlungsgebiet von Davos-Dorf und Davos-Platz sowie Dischmatal). Das Haupttal (ca. 1600 m ü.M.) mit den Siedlungen verläuft von NNE nach SSW. Zur Hauptsache wird es durch das Landwasser, das dem Tal den Namen gibt, nach Süden in Richtung Albula entwässert. Nördlich des Wolfgangpasses (1631 m ü.M.) wird das Wasser vom Stützbach Richtung Landquart abgeführt. Eine Gipfelflur um 2600 m ü.M. krönt die westliche Talflanke.

Das Dischma erstreckt sich von Davos-Dorf in südöstlicher Richtung praktisch gradlinig bis zum Piz Grialetsch. Dieses gut 12 km lange Tal wird von einer Gipfelflur von rund 2500 bis 3200 m ü.M. umrahmt.

Klimatisch kann der Raum als gemässigt zentralalpin oder kontinental angesprochen werden. Einige Kennwerte sind in Tabelle 1 angegeben.
Die im Hinblick auf die beurteilung der Lawinengefahr und des Einflusses der Schneeschmelze wichtigen Schneehöhen sind in Tabelle 2 angegeben.

Gemäss ZELLER et al. (1976) sind die Niederschlags-Intensitäten für 30' Dauer bei hundertjähriger Wiederkehrperiode mit 52 mm/h bzw. 48 mm/h für beide Stationen praktisch gleich.

Tabelle 1: Klimatische Daten, gemessen in Davos-Platz und auf Weissfluhjoch (z.T. nach ZINGG 1961)

Station	Davos-Platz (1561 m)	Weissfluhjoch (2540 m)
Jahresniederschlag (mm)	1037	2540
Temperaturmittel: kältester Monat (Jan.) (°C)	-7	-9
wärmster Monat (Jul., Aug.) (°C)	+12	+5
Frosttage	192	261
Eistage	60	181
Frostwechseltage	132	80

Tabelle 2: Mittlere monatliche Schneehöhe in m (aus WALDER 1983:106)

Station	Periode	Monatsmittel					extreme Mittel(grösstes/kleinstes)			
		Dez	Jan	Febr	März	April	Jan	Febr	März	April
Weiss-	1940–1970	96	138	178	201	211	-	-	-	-
fluh-	1950–1960	91	144	180	201	206	205/106	268/130	261/151	284/153
joch	1959/60	89	136	152	178	171	-	-	-	-
Davos	1940–1970		67	92	89		-	-	-	-
	1950–1960		72	91	89		112/49	144/58	134/57	-
	1959/60		71	74	75		-	-	-	-

Die *tektonischen Verhältnisse* sind recht kompliziert und die *Geologie* in diesem Raum ist sehr vielfältig, treffen wir doch vom Dolomit bis zu ultrabasischem Serpentin die verschiedensten Gesteine an. Das Silvretta-Kristallin, ein alter, herzynischer Grundgebirgsblock mit Orthogneisen, Paragneisen und Amphiboliten liegt von Süden her steil aufgerichtet (Dischma–Küpfenfluh) auf tektonisch tieferen Einheiten, nämlich der Decke der Aroser Dolomiten (Strela, Schiahorn), der Silvretta-Kristallin-Schuppe mit Amphibolit und Mischgneisen (Grünturm), der Davoser Dorfbergdecke mit Kalken, Tonschiefern, Dolomiten und Verrucano, Gneisen, Gabbro und Turmalinpegmatiten (Salezerhorn, Davoser Dorfberg) und der Aroser Schuppenzone mit Totalserpentin, Ophicalcit, Dolomit und Radiolarien (Weissfluhjoch–Gotschna).

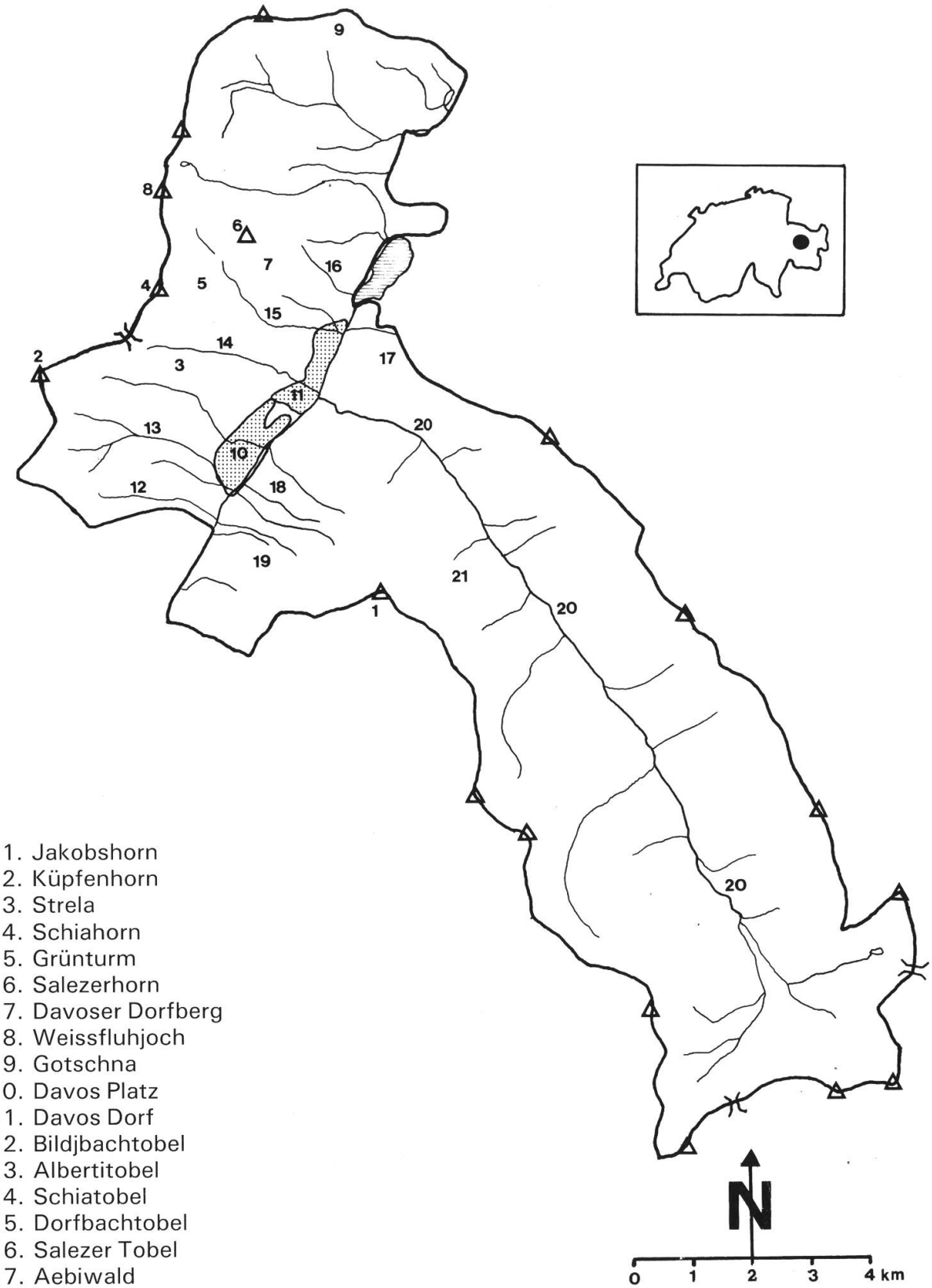
Im übrigen sei hier auf GRUNDER (1984) verwiesen, wo auch die neuere geologische Literatur aufgeführt ist.

3.0 Die konventionell erhobene Gefahren-Hinweiskarte

Bei den Untersuchungen für das MAB-Testgebiet Davos ging es nicht zuletzt darum, das Wirkungsgefüge Nutzung–Naturhaushalt zu analysieren, wobei auch der Beurteilung der Naturgefahren grosse Bedeutung zukam.

Im wesentlichen erfolgte die Aufnahme der Gefahren-Hinweiskarte 1:25 000 über das MAB-Testgebiet Davos nach dem Verfahren, das durch KIENHOLZ (1980) vorbereitet, von GRUNDER weiterentwickelt und operationell angewandt (GRUNDER 1980, GRUNDER, LANGENEGGER 1983) und schliesslich von HIRSCH (1984) in eine systematische Risikobeurteilung eingebettet wurde.

Aufgrund dieser Erfahrungen, aber auch unter Berücksichtigung von spezifischen Anforderungen durch das MAB-Programm (Betrachtung der Naturgefahren als Teil



1. Jakobshorn
2. Küpfenhorn
3. Strela
4. Schiahorn
5. Grünturm
6. Salezerhorn
7. Davoser Dorfberg
8. Weissfluhjoch
9. Gotschna
10. Davos Platz
11. Davos Dorf
12. Bildjbachtobel
13. Albertitobel
14. Schiatobel
15. Dorfbachtobel
16. Salezer Tobel
17. Aebiwald
18. Bolgenwald
19. Spinnelenwald
20. Dischma
21. Stillberg

Abbildung 2: Kartenskizze des MAB-Testgebietes Davos

des gesamten Beziehungsgefüges Naturhaushalt–Nutzung–Mensch, EDV-gerechte Darstellung der Ergebnisse in einem Rastersystem als formale Vorgabe) wurde das Verfahren noch etwas modifiziert.

3.1 Zum Vorgehen

Im einzelnen wurde wie folgt vorgegangen (vgl. GRUNDER 1984: 26ff.):

1. Die massgeblichen morphodynamischen Prozesse werden u.a. über die verschiedenen, aus ihnen resultierenden Formen identifiziert. Zu jeder Gefahrenart wird demnach ein entsprechender Formenkatalog zusammengestellt. Daraus entsteht ein Beurteilungsblatt, das als Protokollblatt dient (vgl. GRUNDER 1984: 28).
2. Die Erhebung und Beurteilung der Naturgefahren erfolgt mit dem obgenannten Beurteilungsformular flächendeckend, aufgeteilt in sog. *Beobachtungsflächen* (1 Formular pro Fläche). Die Grösse der Beurteilungsflächen kann den jeweiligen Gegebenheiten angepasst werden und variiert zwischen 1–20 ha. Die Beurteilung kann ab Luftbild oder direkt im Feld erfolgen.
   Das Verfahren mit diesen Beobachtungsflächen gewährt eine gute Systematisierung und Führung der Gefahren im Gelände.
3. Eine Befragung Ortskundiger und die Auswertung historischer Quellen und bei Luftbildinterpretation eine Feldkontrolle sichern die Gefahrenbeurteilung ab.

In der erhobenen Gefahrenhinweiskarte wird neben den nicht gefährdeten Gebieten zwischen solchen mit *erwiesener* und solchen mit *potentieller* Gefahr unterschieden:

«Erwiesen»: Es gibt Hinweise, dass das gefährliche Ereignis schon einmal unter ähnlichen Verhältnissen (Vegetationsbedeckung usw.) wie heute stattgefunden hat und sich wiederholen könnte. Die Einschränkung auf «ähnliche Verhältnisse wie heute» soll die zahlreichen unmittelbar postglazialen Ereignisse, die sich unter ganz anderen Bedingungen als heute abgespielt haben, als Kriterium ausschliessen.
«Potentiell»: Die entsprechende Gefahr kann im betreffenden Gebiet aufgrund der Geologie, der Steilheit, der Höhenlage usw. nach menschlichem Ermessen auftreten.

3.2 Ergebnisse

Die Lawinengefahr als Beispiel
Von den erhobenen Gefahrenarten Lawinen, Felssturz und Steinschlag, Rutschungen sowie Wildbäche wird im folgenden die Lawinengefahr besprochen. Im Raum Davos stellt sie heutzutage die wesentlichste Bedrohung dar. Sie schränkt vor allem den Siedlungsraum ein und trifft abseits kontrollierter Skipisten häufig Variantenfahrer. Dabei hat nicht die Lawinentätigkeit zugenommen, sondern der Mensch ist immer stärker in Lawinengebiete eingedrungen (Siedlung, Verkehr, Skitourismus).

Wie für die andern Gefahrenarten ist das Ergebnis der Erhebungen in Form von Rasterkarten (Rastergrösse 50 × 50 m) festgehalten (Abb. 3).

In GRUNDER (1984) sind die verschiedenen Gefahrenarten ausserdem kombiniert in einer Gefahren-Hinweiskarte 1:25 000 (mit ausführlichem Bericht) dargestellt.

4.0 Modellierung der Naturgefahren durch visuellen Kartenvergleich

Wie wir im einleitenden Abschnitt bereits vermerkt haben, sollen im Rahmen des MAB-Testgebietes Davos die vielfältigen multidisziplinär erhobenen Daten über die wirtschaftlichen Aktivitäten des Menschen, die Landnutzung und die natürlichen Ressourcen mit Hilfe von Simulationsmodellen für verschiedene Szenarien durchgespielt werden. Die Simulationsmodelle müssen so aufgebaut werden, dass sie in gleicher oder ähnlicher Weise auch in andern Regionen verwendet werden können.

Die Modellierung der MAB-Datensätze im Hinblick auf solche Simulationen erfordert die Formulierung von stark vereinfachten Regeln zur Entstehung der Gefahren. Dabei standen folgende Daten (jeweils bezogen auf eine Rasterfläche von 50×50m) zur Verfügung:
(*Kursivgedruckt:* für die Gefahrensimulierung effektiv verwendete Daten.)

- *Digitales Geländemodell* (manuell erhoben durch Prof. Olivier, Universität Lausanne): Höhe, Neigung, Exposition
- Strahlung: Sonnenscheindauer Januar und Juli, direkte Strahlung (16. Mai–15. Juli bzw. 16. Mai–30. Sept.)
- Ausaperung (Zustand anlässlich verschiedener Bildflüge)
- *Boden:* Bodentypen, Untertypen, Sondertypen, Muttermaterial (Geologie), Skelettgehalt, Feinerdekörnung, pflanzenutzbare Gründigkeit (Vernässungen)
- *Morphotope:* Reliefgrundtyp, Einzelformen, Gliederung
- *Einzugsgebiete* der Bäche
- *Skipisten-Planien*
- *Vegetation:* Pflanzengesellschaften in 6 Komplexitätsklassen, Zusatzbemerkungen (z.B. «anthropogene Störungen», «Jungwuchs, aufkommende Sträucher und Bäume», «verbesserungswürdige Magerweiden» usw.), (Vernässungen)
- Ertragswert
- Naturschutzwert
- *Wald:* Standortstypen, Entwicklungsstufen, Holzartenmischung, Schlussgrade
- Wild
- *Nutzungsgeschichte:* Besitzverhältnisse, Landnutzung, Skipisten
- Gebäudefunktion und *Bebauungsdichte*
- Lufthygiene

In einem ersten Schritt wurden nun einfache Hypothesen für die Entstehung der Gefahren formuliert, wobei auf die verfügbaren, oben aufgelisteten Daten Rücksicht zu nehmen war. Diese Hypothesenbildung ist fundamental wichtig, wenn das Modell nicht einfach durch ein Trial-and-Error Verfahren angenähert werden soll. Nur eine aufgrund des Fachwissens aufgestellte Anfangshypothese kann gewährleisten, dass das schliesslich erarbeitete Modell auf einer sachlogischen Basis beruht und nicht etwa allein durch gebietsspezifische Gegebenheiten geprägt wird.

Die ursprünglich als Hypothesen erarbeiteten Vorschläge konnten dabei mit dem Geographischen Informationssystem (GIS) des Instituts für Kommunikationstechnik der ETH Zürich überprüft und modifiziert werden.

4.1 Ausgangshypothese zu Simulation der Lawinengefahr

Hier muss von Anfang an darauf hingewiesen werden, dass die folgende Hypothese eine starke Vereinfachung darstellt. Naturgefahren müssen grundsätzlich als örtliche und individuelle Probleme betrachtet werden und sollten dementsprechend nicht in einem summarischen Verfahren ausschliesslich modellmässig beurteilt werden. Zugunsten der Anforderungen des übergeordneten Projektes wurden aber hier die entsprechenden Konzessionen gemacht, wobei vor allem bei der Rutschgefahr die Grenzen eines solchen Vorgehens sehr deutlich wurden.

Ausser durch die Schneeverhältnisse wird die örtliche Lawinengefahr vor allem durch das Relief (Hangneigung) bestimmt. Letzteres kann über längere Zeiträume als konstant betrachtet werden. Dagegen sind in erster Linie die Vegetationsbedeckung (Waldzustand!) und indirekt die Landnutzung und -pflege in den oberen Einzugsgebieten als kurz- und mittelfristig veränderbare Einflussgrössen zu berücksichtigen.

Das erste Simulationsmodell basierte demnach auf den in Tabelle 3 aufgelisteten Aussagen.

Tabelle 3: Ausgangshypothese für die Simulation der Lawinengefahr

1. A priori sind als Lawinenanrisszonen auszuschliessen:

- Waldgebiete und
- Flächen mit präparierten (gewalzten) Skipisten (Verdichtung der Schneedecke, weniger grosse zusammenhängende potentielle Scherflächen)

2. Folgende Faktoren tragen mehr oder weniger (Punktzahl) zur Disposition einer Fläche für Lawinenanrisse bei:

Kriterium	Begründung	Punkte
30° ≤ Neig. ≤ 45°	häufige Abbrüche	3
Exposition NW–NE	häufige Abbrüche	3
Sonnenschein Januar ≤ 31 h	erleichtert	2
Strauchvegetation	Bildung von	2
Rauhe Oberfläche (Blöcke)	Schwimmschnee	1

Auswertung:

Punktesumme	Disposition für Lawinenanrisse
> 6	stark
1–6	mässig

3. Von Lawinen betroffene Gebiete:

Flächen in der Fallinie unterhalb der Anrissgebiete, bis folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Durchlaufen von 200 m Strecke mit Neigung < 10° oder
- Durchlaufen von 100 m Strecke mit Neigung < 5° oder
- Durchlaufen von 300 m Wald

4.2 Durchführung der Gefahrensimulation

Die Simulationsmodelle für sämtliche Gefahrenarten mussten folgende Prämissen berücksichtigen:

Vergleichsbasis: Die Erstellung eines Simulationsmodelles ist auf eine gute Vergleichsbasis angewiesen. Im Gegensatz zu verschiedenen andern Disziplinen (z.B. Vegetationsaufnahme) stellt die Vergleichsbasis im Falle der Naturgefahren (Gefahrenhinweiskarte) nicht nur sichtbare, im Feld direkt erhebbare Fakten dar, sondern ist in grossem Ausmass ebenfalls bereits eine Interpretation (von stummen Zeugen usw.). So müssen die Simulationsmodelle für die Naturgefahren zwangsläufig an einer Vergleichsbasis geeicht werden, welcher zum Teil Ermessensentscheide zugrunde liegen (vgl. «Die konventionell erhobene Gefahren-Hinweiskarte» auf S. 97).

Vorgegebene Faktoren: Die Simulation muss mit Hilfe eines Satzes von gegebenen Informationen aus den einzelnen Disziplinen, d.h. mit bestimmten vorgegebenen Faktoren und dem digitalen Geländemodell erfolgen.

Dazu ist zu bemerken, dass die erreichbare Qualität eines Simulationsmodelles in entscheidendem Ausmass auch von den erhobenen Faktoren abhängt. Die Art der Faktoren, der erhobenen Merkmale, die Art der Klassifikation usw. beeinflussen das Funktionieren des Modelles. Durch die zeitlichen und finanziellen Einschränkungen, welche den Untersuchungen im MAB-Testgebiet Davos auferlegt waren, konnten nicht alle wünschenswerten Faktoren erhoben werden, so dass bei der Modellierung verschiedene Konzessionen gemacht werden mussten.

Im Hinblick auf die Simulation verschiedener Szenarien für das Untersuchungsgebiet musste bei der Modellierung und bei der Wahl der Faktoren auch darauf geachtet werden, dass mindestens eine beeinflussbare Grösse (z.B. Vegetation, Landnutzung) berücksichtigt wurde.

Abspeicherung und Verfügbarkeit der Informationen: Die Faktoren für die Gefahrensimulation sind in verschiedenen Informationsebenen pixelweise, bezogen auf die Rasterzellen von 50 m Seitenlänge, abgespeichert.

Die letztgenannte Prämisse steuerte die Simulationsverfahren primär auf ein pixelweises Verknüpfen der einzelnen Faktoren zwischen den verschiedenen Informationsebenen. Dies trifft auch für die Entstehungsgebiete von gefährlichen Prozessen (z.B. Lawineneinzugsgebiete) zu. Bei den Wirkungsgebieten dieser Prozesse, besonders bei der Lawinen- und Felssturzgefahr, erwies es sich jedoch als sinnvoll, vor allem die Möglichkeiten des digitalen Geländemodelles auszunützen, sind doch die Auslaufbereiche von Lawinen oder Felsmassen in erheblichem Ausmass durch das Relief bestimmt. Weil jeweils Relationen zu den benachbarten Pixeln (z.B. Abfragen von Exposition und Hangneigung) hergestellt werden müssen, gestaltet sich hier der Programmier- und Rechenaufwand erheblich grösser.

Bei der Simulation der Lawinengefahr (und der übrigen Gefahrenarten) wurde nun konkret folgendermassen vorgegangen:

Die in Tabelle 3 aufgestellte Hypothese zur Simulation der Lawinengefahr wurde in ein Computerprogramm (vgl. Binz, 1985) umgesetzt.

Die so erzeugte Karte der simulierten Lawinengefahr (Abb.4) wurde auf dem Bildschirm direkt mit der im Felde erhobenen Gefahrenhinweiskarte (Abb. 3) verglichen.

Die Überprüfung des Ansatzes erfolgte somit allein durch visuellen Vergleich.

Dieses Verfahren ist gegenüber einem statistischen Verfahren sicher subjektiv. Der visuelle Vergleich hat jedoch den grossen Vorteil, dass die Ergebnisse sinnvoll und direkt gewichtet werden können. So wurde bei der Simulation der Lawinengefahr vor allem darauf geachtet, dass der Bereich von Davos Dorf und Davos Platz (obere Bildhälfte in Abbildung 3 und Abbildung 4 möglichst gut mit den im Feld erhobenen Daten übereinstimmt. Dagegen wurde in Kauf genommen, dass die Übereinstimmung im dünn besiedelten Dischmatal (untere Bildhälfte in Abbildung 3 und Abbildung 4 etwas eingeschränkt ist.

Solche Gewichtungen mit räumlich definiertem Bezug wären mit rein statistischen Methoden nur mit grossem Aufwand zu erzielen. Es ist jedoch möglich, parallel zu der angewendeten visuellen Methode eine statistische Kontrolle zu führen.

Mit diesem Prozedere wurden für jede Gefahrenart bis zu 30 verschiedene Varianten durchgespielt, bis jeweils ein optimal befriedigendes Modell gefunden werden konnte. Das Optimum bezieht sich dabei auf den Ist-Zustand (Zustand 1982) der verschiedenen im MAB-Testgebiet Davos erhobenen Faktoren.

Es versteht sich von selbst, dass diese Prozedur durch die Sachverständigen der einzelnen Teildisziplinen selbst durchgeführt bzw. begleitet werden muss; sie haben die Ergebnisse zu interpretieren und auf Plausibilität zu überprüfen.

Am Ende ergaben sich für die verschiedenen Gefahrenarten unterschiedlich strukturierte Simulationsmodelle, die nach verschiedenen Prinzipien aufgebaut sind. Für die Lawineneinzugsgebiete wurde entsprechend der Ausgangshypothese (Tab. 3) ein Punktesystem mit Summenbildung verwendet, während für die Lawinenauslaufgebiete ein einfaches physikalisches Modell zur Anwendung kam.

4.3 Das resultierende Simulationsmodell für die Lawinengefahr

Ausser durch die Schneeverhältnisse wird die örtliche Lawinengefahr vor allem durch das Relief (Hangneigung) bestimmt. Letzteres kann über längere Zeiträume als konstant betrachtet werden. Dagegen sind in erster Linie die Vegetationsbedeckung (Waldzustand) und indirekt die Landnutzung und -pflege (Vernässungen) in den oberen Einzugsgebieten als kurz- und mittelfristig veränderbare Einflussgrössen zu berücksichtigen.

Die Auslaufstrecken wurden mit Hilfe des digitalen Geländemodelles ermittelt. Anlässlich der verschiedenen Simulationsversuche konnte hier festgestellt werden, dass die Simulation umso besser ausfiel, je mehr man sich an den physikalischen Gesetzmässigkeiten und an üblichen Berechnungsverfahren orientierte.

Das schliesslich vorgeschlagene Teil-Simulationmodell für die Lawinengefahr ist in Tabelle 4 und Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 4: Modell für die Teilsimulation der Lawinengefahr (Anrissgebiet)

1. A priori werden als Lawinenanrisszonen ausgeschlossen:

- Waldgebiete[3],
- Flächen mit präparierten (gewalzten) Skipisten und
- Gebiete mit stark gegliedertem Fels- und Gratsteilrelief

2. Folgende Faktoren tragen mehr oder weniger (Punktzahl) zur Disposition einer Fläche für Lawinenanrisse bei:

Faktor	Kriterium	Punkte
Hangneigung	> 60°	1
	45–60°	3
	30–45°	5
	20–30°	2
Exposition	NW–N–NE	1
Vegetation	Sträucher/Büsche	1
Morphochor	rauhes Relief	1

Auswertung:

Punktesumme	Disposition für Lawinenanrisse
7–8	stark
4–6	mässig
0–3	keine Disposition

3 Falls:
- der Schlussgrad nicht unter 50% beträgt;
- keine Blössen im Wald vorhanden sind;
- die Fläche nicht von einem Wildbachgerinne durchschnitten wird.

Tabelle 5: Modell für die Teilsimulation der Lawinengefahr (Auslaufgebiete)

3. Von Lawinen betroffene Gebiete:

Flächen in der Fallinie und in
lateraler Ausbreitung[4] unterhalb der Anrissgebiete, bis folgende Bedingungen erfüllt sind[5]:

- Durchlaufen von 500 m Strecke mit Neigung < 10° oder
- Durchlaufen von 250 m Strecke mit Neigung < 5° oder
- Durchlaufen von 300 m Wald[3] oder
- Durchlaufen von ... m Siedlung[6]

4 Prinzip des Ausbreitungsmodells:
Eine laterale Ausbreitung innerhalb eines gegebenen Öffnungswinkels von 90° wird als möglich angenommen, wenn der Weg der Lawine über eine konvexe Geländeform (Grundriss entsprechend dem Verlauf der Höhenkurven) führt, welche im digitalen Geländemodell eine minimale Expositionsdifferenz ziwschen 2 benachbarten Rasterflächen bewirkt.
Der Schwellenwert für die Expositionsdifferenz wurde in exponentielle Abhängigkeit (Exponent = 4) von der Neigung gesetzt: Je steiler das Gelände ist, desto stärker muss die konvexe Krümmung der «Höhenkurve» sein.

5 Berücksichtigt wird jeweils der Faktor im Maximum, d.h. die grösstmögliche Bremswirkung bzw. die kürzeste Auslaufdistanz für die einzelnen Ausbreitungsrichtungen.

6 Algorithmus:
$a = 120 \times 25/DB$
- a Auslaufdistanz in m
- DB Bebauungsdichte (Grundrissflächen-Anteil der Gebäude pro Rasterflächeneinheit) in %
Beispiel: a = 120 m bei DB = 25%.

Soweit sie den obengenannten Kriterien entsprechen, werden als «von Lawinen betroffen» nur diejenigen Gebiete bezeichnet, welche nicht auch Anrissgebiet in gleichem oder höherem Grad sind. Der «Gefährdungsgrad» (mässig oder stark) richtet sich nach dem «Gefährdungsgrad» im Anrissgebiet gemäss Tabelle 4. Abbildung 4 zeigt die mit dem gefundenen optimalen Simulationsmodell erzeugte simulierte Lawinengefahrenkarte, die den «Zustand 1982» nachvollzieht. «Zustand 1982» bedeutet, dass für alle im Modell verwendeten Faktoren (gemäss Tab. 4 und Tab. 5, z.B. für die Vegetation) die 1982 im Feld erhobenen Daten eingesetzt wurden.

Wie bereits erwähnt, haben wir bei der Simulation darauf geachtet, dass sich vor allem im Bereich der Siedlungen eine befriedigende Übereinstimmung mit der erhobenen Gefahrenhinweiskarte ergab. Dabei wurden speziell die grossen Lawinenzüge N und NE von Davos Platz und Davos Dorf (Abb. 2) beachtet. Es zeigt sich, dass die Lawinenzüge im Bereich Bildjibachtobel, Albertitobel sowie Schiatobel, Dorfbachtobel und Salezer Tobel recht gut simuliert werden konnten. Allerdings reicht die simulierte Schiatobellawine relativ weit ins Siedlungsgebiet.

Im Gebiet Jakobshorn, Bolgenwald, Spinnelenwald fällt auf, dass die Simulation gegenüber der Felderhebung und somit gegenüber der bisherigen Erfahrung mehr und weiterreichende Lawinenzüge ergibt. Dies kann durch die berücksichtigte Einschränkung der Bremswirkung des verlichteten Waldes erklärt werden (Tab. 5).

Die Simulation der Lawinen im Dischma, besonders der Hinweis auf «starke» Lawinengefahr im Bereich der Hangversteilung unterhalb zirka 2000 m auf der SW Talseite, erscheint gesamthaft nicht als unrealistisch.

Gegenüber der im Feld erhobenen Gefahren-Hinweiskarte (Abb. 3) wirkt die simulierte Lawinengefahrenkarte wilder. Dies erklärt sich erstens aus dem nicht ganz identischen Inhalt (verschiedene Legenden) und zweitens aus den unterschiedlich strukturierten Eingabedaten:

- Zum ersten:
  Die erhobene Lawinengefahrenkarte (Abb. 3) unterscheidet neben den nicht gefährdeten Gebieten zwischen solchen mit erwiesener (orange) und solchen mit potentieller (gelb) Gefahr (vgl. «Zum Vorgehen» auf S. 99). Dabei wird nicht zwischen Anriss- und Auslaufgebieten unterschieden.
  Die simulierte Lawinengefahrenkarte (Abb. 4) kann dagegen naturgemäss nur «potentielle» Lawinengefahr ausweisen. Im Gegensatz zur erhobenen Lawinengefahrenkarte haben wir hier neben den nicht gefährdeten Gebieten (grün) primär eine Unterscheidung zwischen Lawinen-Anrissgebieten (blau) und -Auslaufgebieten (rot) gemacht. Sekundär wird je noch zwischen starkem (kräftiger Farbton) Gefährdungsgrad differenziert.

- Zum zweiten:
  Die Daten für die erhobene Lawinengefahrenkarte wurden gemäss «Zum Vorgehen» auf S. 99 beschafft. Die Erhebung beinhaltet verschiedene Methoden und mündet in eine Bewertung, welche nicht zuletzt die Erfahrung des Bearbeiters sowie Plausibilitätsüberprüfungen im Gelände einschliesst. Allgemein wurden dabei jeweils grössere zusammenhängende Lawinenzüge ausgewiesen.

Abbildung 3: Lawinengefahr im MAB-Testgebiet Davos (direkt erhobene Gefahren-Hinweiskarte, Zustand 1982)

Die Daten für die simulierte Lawinengefahrenkarte wurden dagegen schematisch nach den in Tabelle 4 und Tabelle 5 aufgelisteten Kriterien errechnet. Die «Beschränktheit» der Simulation erklärt sich dabei aus den Vereinfachungen und Zusammenfassungen der Ausgangsdaten, welche sich aus der begrenzten Anzahl berücksichtigter Faktoren (mit vorgegebenen Klassen und Einheiten) und der Verallgemeinerung der Informationen auf eine Fläche von jeweils 50×50 m ergibt. Dabei musste der Programmieraufwand in Grenzen gehalten werden, so dass nicht beliebig viele Plausibilitätsüberprüfungen und Bedingungen in die Programme eingebaut werden konnten. (Allzu komplizierte Programme hätten im übrigen auch die Transparenz der Simulation geschmälert.)
Falls die technischen und personellen Voraussetzungen für weitere Arbeiten mit dem MAB-Datensatz geschaffen werden, liessen sich hier sicher noch gewisse Verbesse-

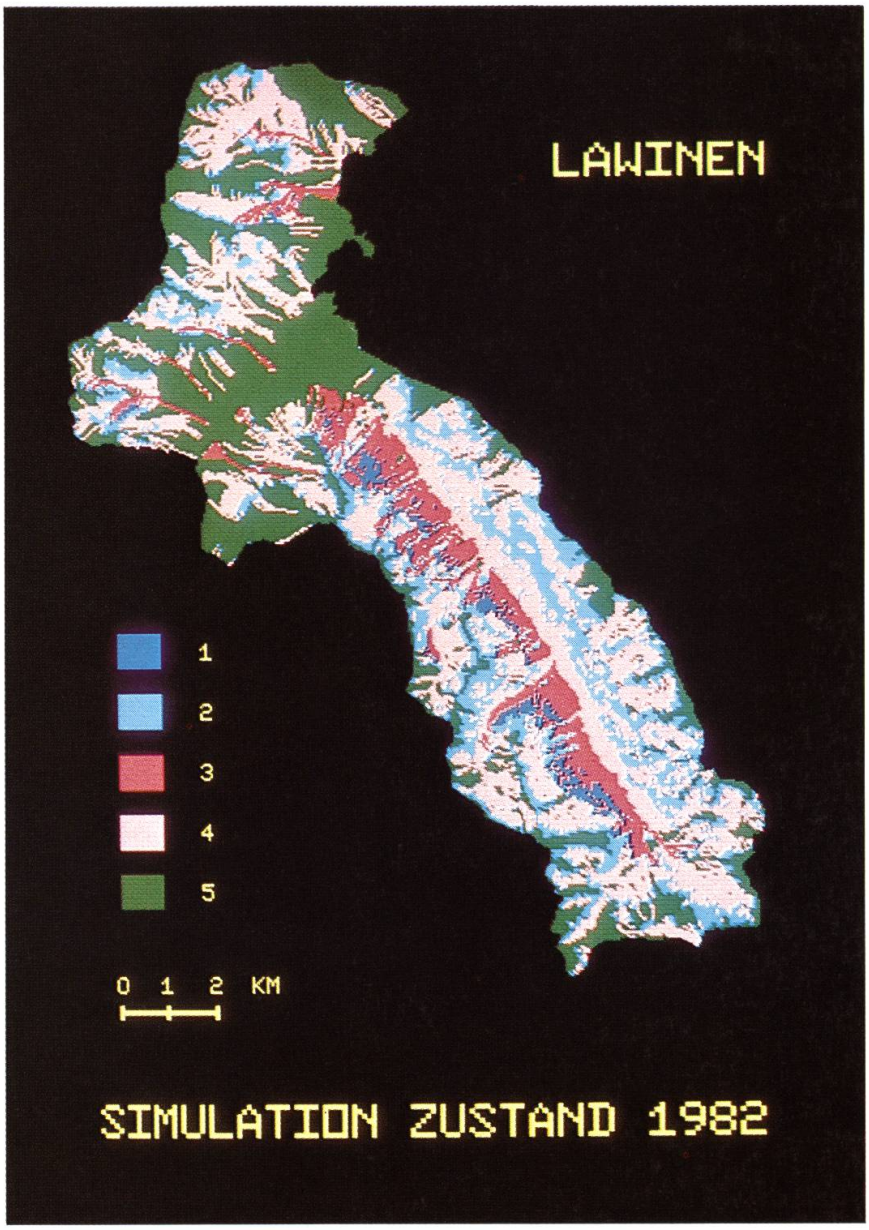


Abbildung 4: Lawinengefahr im MAB-Testgebiet Davos (simulierte Gefahren-Hinweiskarte, Zustand 1982)
1 = starke Gefahr, 2 = mässige Gefahr (Anrissgebiete)
3 = starke Gefahr, 4 = mässige Gefahr (betroffene Geb.)
5 = keine Gefahr

rungen erzielen. So könnte beispielsweise durch eine geeignete Bedingung verhütet werden, dass, wie im Falle der Lawine aus dem Guggersbachtobel, ein einzelnes Pixel, d.h. eine einzige Rasterfläche von 50 × 50 m auf der Schatzalp (Abb. 2) einen Lawinenzug kreiert. (Andererseits kann eben eine solche Fläche, falls sie steil genug und wenig gegliedert ist, durchaus als Anrisszone genügen.)

5.0 Lawinensimulation für verschiedene Szenarien

In der Endphase der bisherigen Untersuchungen im MAB-Testgebiet Davos konnten kurz vor Fertigstellung des vorliegenden Aufsatzes einige Szenarien durchgespielt werden (vgl. dazu Wildi, Ewald 1985):

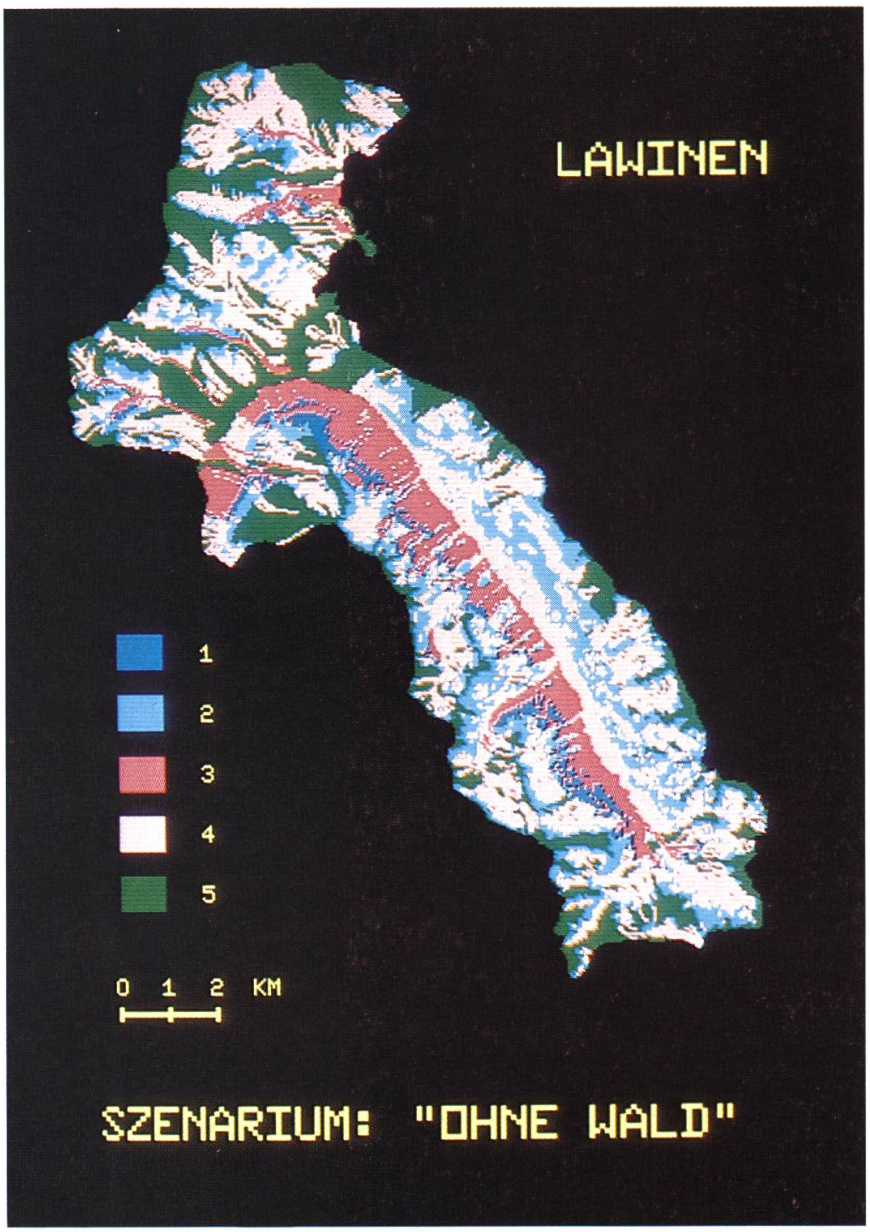


Abbildung 5: Lawinengefahr im MAB-Testgebiet Davos (simulierte Gefahren-Hinweiskarte, Szenarium ohne Wald)
1 = starke Gefahr, 2 = mässige Gefahr (Anrissgebiete)
3 = starke Gefahr, 4 = mässige Gefahr (betroffene Geb.)
5 = keine Gefahr

1. «Urzustand»,
2. «Schonvariante»,
3. «Tourismus»,
4. «Ohne Wald».

Die simulierte Lawinengefahrenkarte zum Szenarium «Ohne Wald» ist in Abbildung 5 wiedergegeben. Dieses Szenarium bedeutet für uns, dass im Gegensatz zur simulierten Lawinengefahrenkarte «Zustand 1982» (Abb. 4) bei den Simulationskriterien gemäss Tabelle 4 und Tabelle 5 statt der Information «Wald» die Information «Weide» oder «Gebüsch» eingegeben wurde.

Bei der Gegenüberstellung dieses Szenariums mit dem Szenarium «Zustand 1982» (Abb. 4) zeigt sich erwartungsgemäss eine erhebliche Zunahme der von Lawinen betroffenen Fläche (weniger «grüne» Gebiete). Der Siedlungsraum von Davos Dorf und Davos Platz wird stark eingeschränkt.

Die weiteren ergeben sich u.a. folgende markante Unterschiede:

- Die Schiatobel- und die Dorfbach-Lawine weiten sich nicht zuletzt im Auslaufgebiet stark aus.
- Neue Lawinengebiete entstehen im Bereich Aebiwald.
- Eine drastische Verschärfung der Lawinensituation zeichnet sich im vorderen Dischma einschliesslich der Gebiete Mattenwald und Bolgenwald ab.

Das hintere Dischma bleibt dagegen im Vergleich mit dem «Zustand 1982» praktisch unverändert, weil ja das Gebiet auch heute weitgehend ohne Wald ist.

6.0 Schlussbemerkungen

Die Arbeiten im Rahmen des MAB-Testgebietes Davos haben uns verschiedene Erkenntnisse und Erfahrungen gebracht:

Als sehr effizient hat sich die Erarbeitung der Simulationsmodelle mit Hilfe der digitalen Bildverarbeitung erwiesen. Die Flexibilität des GIS und der am IKT der ETHZ vorhandenen Infrastruktur haben eine viel problemnähere und vor allem direkt raumbezogene Datenverarbeitung gestattet, als dies mit rein statistischen Verfahren möglich ist. Dass dabei mehr Subjektivität ins Spiel kommt, darf nicht nur als Nachteil, sondern in diesem Falle vielmehr als Vorteil gesehen werden, weil hier der Sachverstand direkt raumbezogen ins Spiel gebracht werden kann. Es muss jedoch nochmals betont werden, dass für das Erzielen guter Resultate mit diesem Verfahren

- geeignete Ausgangsdaten,
- ein genügend feinmaschiger Geländeraster und vor allem
- eine auf sachlogischer Basis begründete Hypothese

für die Modellbildung unabdingbare Voraussetzung sind.

Ähnliches gilt für die Berechnung der Szenarien: Das für das MAB-Testgebiet Davos verwendete und von Binz (1985) beschriebene Simulationsmodell mit seiner rekursiven Simulationsstruktur bedingt ein mehrfaches Durchlaufen der einzelnen Simulationsbeziehungen, wobei die den letzteren zugrundeliegenden Faktoren dadurch laufend verändert werden. Es kann daher nicht von vorneherein ausgeschlossen werden, dass die Simulation der Gefahren in vom heutigen Zustand stark abweichenden Szenarien sachlich nicht mehr plausible Ergebnisse produziert.

Diesem Problem kann jedoch folgendermassen begegnet werden:

1. Die Sachverständigen der einzelnen Teildisziplinen müssen die Simulation der verschiedenen Szenarien begleiten. Sie müssen die Teilsimulationen interpretieren und auf Plausibilität überprüfen.
2. Je besser die Simulationsmodelle sachlogisch aufgebaut und begründet sind, je besser diese Modelle mit entsprechenden herkömmlichen Modellen übereinstimmen, desto immuner gegenüber unvorhergesehenen «Störungen» dürften sie sein.

Dass die Simulation von Szenarien äusserst interessante Möglichkeiten für die Raumbewertung und damit schliesslich für die Raum- und Entwicklungsplanung ermöglicht, dürfte unser Beispiel zumindest angedeutet haben. Dabei sollte nicht nur an die Erarbeitung des Szenariums gedacht werden, sondern auch an die Umsetzungsmöglichkeiten. Solche Szenarien können beispielsweise der betroffenen Bevölkerung und Politikern direkt vorgeführt werden.

An dieser Stelle möchten wir vor allem den Herren Klaus SEIDEL, Hans R. BINZ und Markus KELLER vom Institut für Kommunikationstechnik der ETH Zürich danken. Ohne ihren grossen Beitrag an Know-How und Arbeitseinsatz wäre das Ganze nicht möglich gewesen!

Ebenso wichtig ist es jedoch darauf hinzuweisen, dass die hier vorgestellte Arbeit nur im Rahmen eines grösseren Projektes möglich gewesen ist. Unser Dank geht daher an die Programmleitung des MAB-Projektes, an die Herren O. WILDI und K. EWALD (EAFV) der Programmleitung «Davos» und an sämtliche Kolleginnen und Kollegen, welche die benötigten Ausgangsdaten erhoben und verarbeitet haben.

Ein spezieller Dank geht auch an den Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung und die Schweizerische Mobiliar Versicherungsgesellschaft, welche die Arbeiten finanziert haben.

7.0 Literatur

ADE, F., 1985: Das digitale Geländemodell und dessen Ableitungen. In: WILDI, O., EWALD, K., 1985 (s. unten).

BINZ, 1985. Szenarien: Das Modell. In: WILDI, O., EWALD, K., 1985 (s. unten).

BINZ, H.R., SEIDEL, K., WILDI, O., 1985: Methoden und Organisation des Projektes. In: WILDI, O., EWALD, K., 1985 (s. unten).

GRUNDER, M., 1980: Beispiel einer anwendungsorientierten Gefahrenkartierung 1:25 000 für forstliche Sanierungsprojekte im Berner Oberland (Schweiz). Internat. Symp. «Interprävent 1980» in Bad Ischl, Bd. 4: 353–360.

GRUNDER, M., LANGENEGGER, H. 1983: Beispiel einer anwendungsorientierten Gefahrenkartierung 1:25 000 für integrale Sanierungsprojekte im Berner Oberland. Schweiz. Z. Forstwes. 134 (1983) 4: 271–282, Zürich.

GRUNDER, M., 1984: Ein Beitrag zur Beurteilung von Naturgefahren im Hinblick auf die Erstellung von mittelmassstäbigen Gefahren-Hinweiskarten (mit Beispielen aus dem Berner Oberland und der Landschaft Davos). Diss., Univ. Bern.

HIRSCH, M., 1984: Methodenskizzen zur Sicherheitsplanung bezüglich Naturgefahren (mit einem angewandten Beispiel in der Region Saanenland-Obersimmental. Univ. Bern (unveröff.).

KELLER, M., SEIDEL, K., 1984: Influence of Snow Cover Recession on an Alpine Ecological System. 18th Internat. Symp. on Remote Sensing of Environment, Paris.

KIENHOLZ, H., 1980: Zur Anwendung des Luftbildes bei der mittelmassstäbigen Gefahrenkartierung für regionalplanerische Zwecke in schlecht erschlossenen Gebirgsräumen anhand von Erfahrungen aus Kartierungen in den Colorado Rocky Mountains. Internat. Symposium Interprävent, Tagungspublikation, Bd. 3: 155–171 mit 1 Kartenbeilage, Gesellschaft für vorbeugende Hochwasserbekämpfung, Klagenfurt.

SEIDEL, K., 1985: Aufbau und Unterhalt eines geographischen Informationssystems mit Methoden der digitalen Bildverarbeitung. In Vorbereitung.

WALDER, U., 1983: Ausaperung und Vegetationsverteilung im Dischmatal. Mitt. Eidg. Anst. f. forstl. Versuchswesen, Bd. 59, H. 2: 81–212, Birmensdorf.

WILDI, O., EWALD, K., 1985: Der Naturraum und dessen Nutzung im alpinen Tourismusgebiet von Davos. Ergebnisse des MAB-Projektes Davos. Eidg. Anst. für das forstl. Versuchswesen, Birmensdorf (ZH) (In Vorb.).

ZELLER, J., GEIGER, H., RÖTHLISBERGER, G., 1976: Starkniederschläge des schweiz. Alpen- und Alpenrandgebietes. Bd. 1. Eidg. Anst. f. forstl. Versuchswesen, Birmensdorf.

ZINGG, T., 1961: Beitrag zum Klima von Weissfluhjoch. Winterber. d. Eidg. Inst. f. Schnee- und Lawinenforsch., Nr. 24: 102–107.