Internationales Symposion
INTERPRAEVENT 1988 — GRAZ
Tagungspublikation, Band 1, Seite 161—174

RIGI NORDLEHNE

(Schutzwald der Schweizerischen Bundesbahnen)

BEURTEILUNG DER NATURGEFAHREN UND WALDBAULICHE PRIORITÄTENFESTLEGUNG

ASSESSMENT OF NATURAL HAZARDS AND PRIORITIES OF FOREST MANAGEMENT

H. KIENHOLZ, P. MANI, M. KLÄY

ZUSAMMENFASSUNG

An der Rigi (12 km E von Luzern), einem der niederschlagsreichsten Gebiete der schweizerischen Alpennordseite (Staulage) mit extremen Starkregen ist die Gotthardbahn mit sehr hoher Zugsdichte vor allem durch Steinschlag und Wildbäche bedroht. Die von der Bundesbahn bewirtschafteten Schutzwälder weisen z.T. starke Schäden auf, und ihre Schutztauglichkeit ist in Frage gestellt.

Vor allem auf der Basis von detaillierten Geländeerhebungen werden in einem stufenweisen, gut nachvollziehbaren Verfahren gewichtete Gefahrenkarten erarbeitet, welche den Wirkungsweg der einzelnen Prozesse und die Länge der bedrohten Streckenabschnitte der Bahn berücksichtigen. Mit Hilfe eines geographischen Informationssystems werden die jederzeit aktualisierbaren Informationen über den Zustand der einzelnen Waldparzellen berücksichtigt und aus dieser Verknüpfung die Prioritäten und Konzepte für forstliche und weitere (z.B. bauliche) Massnahmen abgeleitet. Die Umsetzung der Vorschläge in konkrete waldbauliche Massnahmen ist Gegenstand weiterer Abklärungen.

SUMMARY

The area surrounding the Rigi mountain, about 15 km to the East of Lucerne, Switzerland, is one of heavy precipitation to the North of the Swiss Alps. Thus, the Gotthard railroad with very dense traffic is endangered by rockfall and torrents. The protection forests, under the management and care of the Federal railroad show extended damage due to pollution and effective protection is jeopardized.

With very detailed field observations, a step by step procedure, leading to a high degree of objectivity, hazard maps have been drawn up. They show not only the whole section of the endangered railway track but point out the possible dangerous occurrencies along the slope or indirectly through the gully system. By means of a geographical information system with respect to the state of each forest plot and its damage, detailed and easily updated information is available. In this way, priorities are given and concepts for protective measures can be derived.

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die Rigi (1798 m ü.M.) ist Teil des schweizerischen Alpennordrandes ca. 12 km östlich von Luzern. Der Forstdienst der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) sorgt sich um die langfristige Schutzwirkung des in ihrem Besitze stehenden Waldes entlang der steilen Rigi-Nordlehne, an deren Fuss, auf 460-500 m die stark befahrene doppelspurige Gotthardbahn durchführt. In diese Sorge teilen sich seit einem Unwetter mit erheblichen Schäden von 1987 auch die Eigentümer der 4-spurigen Nationalstrasse und weitere Landeigentümer. Erhebungen über den Waldzustand werden seit 1984 im Auftrag der SBB durchgeführt. 1985 wurde eine Studie in Angriff genommen, die aufzeigen soll, aus welchen Bereichen der Rigi-Nordlehne der Bahn und ihrem Betrieb Schäden durch Naturgefahren drohen. Im weiteren soll im Sinne von Vorschlägen aufgezeigt werden, was für Massnahmen mit welcher Priorität gegen die erkannten Gefahren getroffen werden müssen. Diese Vorschläge sollen zugleich auch die notwendige Grundlage bilden, um gegen zu befürchtende Folgewirkungen des Waldsterbens (neu auftretende Gefahrenherde, Zunahme der Gefahren) schnell, gezielt und effizient angehen zu können.

2. DIE RIGI-NORDLEHNE

Die Rigi-Nordlehne präsentiert sich als getreppte Bergflanke. Sie wird durch **Schichtköpfe der subalpinen Molasse** gebildet (generell gegen SE-SSE isoklinal einfallende miocäne Schichtpakete von Nagelfluh, Sandstein und Mergel). Der Wechsel von harten und weichen Schichten führt zu einer Abfolge von annähernd senkrechten Wänden und steilen Hängen.

Die Rigi stellen sich mit ihrem Steilaufschwung den von NW herangeführten, in der Regel feuchten Luftmassen als erstes bedeutendes Hindernis entgegen. Grosse Höhendifferenzen und Kontraste in der Bodenbedeckung tragen zur Konvektion und Gewitterbildung bei. Die **Jahres-Niederschlagsmittel** (1931-1960) betragen für

Rigi-Kulm (1794 m ü.M.) 2119 mm und für
Walchwil (449 m ü.M.) 1289 mm

Aufgrund der von Zeller et al. (1978) publizierten Werte für die Stationen Rigi Kulm, Walchwil und Immensee ist im Untersuchungsgebiet mit folgenden Niederschlags-Ergiebigkeiten für 20' Dauer zu rechnen:

- 30-jährlich: 50- 60 mm
- 100-jährlich: 90-120 mm

Wie dies im Untersuchungsgebiet die Katastrophenjahre 1934 und 1987 belegen, sind für die Rutschungsaktivität und weitere Prozesse in den Hängen lange Niederschlagsperioden vor dem auslösenden Gewitterregen/Hagel von entscheidender Bedeutung.

Bei den **Schneeverhältnissen** ist die relativ geringe Höhenlage zu berücksichtigen:

- Im Extremfall (bei Föhneinwirkung) setzt die Schneeschmelze Wasser in der Grössenordnung des 30-jährlichen 1-Tages-Niederschlages frei (120-140 mm).
- Lawinen erreichen den Talbereich äusserst selten; einzelne Abgänge mit Schäden sind jedoch bekannt.

3. DIE GEFAHRENBEURTEILUNG

3.1 GEFÄHRLICHE PROZESSE AN DER RIGI-NORDLEHNE

Die klimatischen und geologisch-strukturellen Voraussetzungen sowie Unterschiede in der Verwitterungsanfälligkeit und Durchlässigkeit des Gesteins und die Akkumulation von viel Blockschutt in kolluvialen Hängen beinflussen die zu beurteilenden gefährlichen Prozesse grundsätzlich wie folgt:

- Relativ grosse Neigung der Nagelfluh zur **Ablösung von Steinen und Blöcken** wegen der Klüftigkeit und wegen der häufigen Unterschneidung infolge Verwitterung und Erosion der liegenden Mergel.
- **Erosionsempfindlichkeit**
  - in den Bereichen mit anstehender Nagelfluh gering,
  - in den kolluvialen Hängen an sich gross, jedoch räumliche Begrenzung durch die regelmässig auftretenden Erosionsbasen (Nagelfluhbänke).
- **Rutschungsneigung** des Gesteins (Wechsellagerung mit Mergelschichten) und der ton- und siltreichen Böden mit gehemmter Wasserdurchlässigkeit gross. Vielerorts jedoch Stabilität infolge allgemein günstiger, hangeinwärts fallender Schichtung der Gesteinsserien.

3.2 DAS BEURTEILUNGSKONZEPT

Die Sicherheit des Bahnbetriebs an der Rigi Nordlehne ist zum Teil entlang von längeren Streckenabschnitten (z.B. durch Steinschlag direkt aus dem Hang oberhalb der Bahnstrecke), zum Teil eher punktuell (z.B. Brücken über Wildbäche) tangiert. In jedem Falle finden sich entscheidende Voraussetzungen für gefährliche Prozesse in der Fläche (in den Hängen). Dies bedeutet, dass sich die Grundlagen, die Interpretationen und auch Massnahmen auf konkrete Teilflächen beziehen und deshalb so weit als möglich auf Karten dargestellt werden müssen. Aus diesen Gründen wurde für die zu bearbeitenden Gebiete an der Rigi-Nordlehne eine Sequenz von verschiedenen Kartentypen er-

stellt, so beispielsweise: Grundlagenkarten, Gefahrenkarten, Massnahmen-Prioritätenkarten (gewichtete Gefahrenkarten unter Berücksichtigung des Waldbestandes und Waldzustandes).

Die in der Kartensequenz enthaltenen Informationen dienen der Begründung von Massnahmenprioritäten und der Ableitung von konkreten Massnahmenvorschlägen. Weil die Massnahmen primär spezifisch auf die einzelnen gefährlichen Prozesse ausgerichtet sind, wird die Kartensequenz grundsätzlich für die einzelnen Prozesse getrennt erstellt. Andererseits müssen die Massnahmen zur Vermeidung kontraproduktiver Wirkungen aufeinander abgestimmt werden. Dies wird durch die Möglichkeit der Aggregation der Karten unter Einsatz der EDV und der EDV-mässigen Bildverarbeitung erleichtert[1] und letztlich durch gezielte Feldkontrollen sichergestellt.

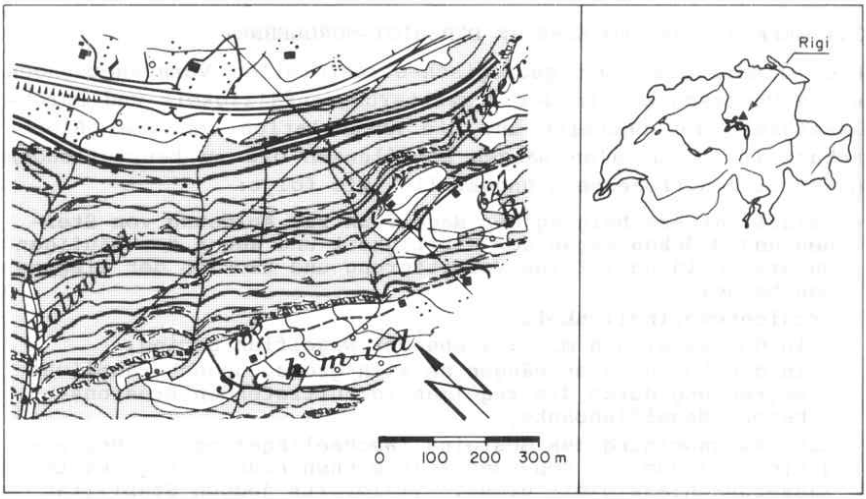

Abb. 1 Das Gebiet Bohli an der Rigi-Nordlehne
(Reproduktion bewilligt vom Bundesamt für Landestopographie, 22.9.1987)
The Bohli area at the Rigi north-face

3.3 ZUR BEURTEILUNG DER EINZELNEN PROZESSE
(Beispiel der Sturzgefahr im Teilgebiet Bohli)

3.3.1 Felderhebungen, Aufnahme der Grundlagenkarten

Die Grundlagenkarten 1 : 5000 enthalten eine lagetreue Aufzeichnung der für die Gefahrenbeurteilung nötigen und darstellbaren Erscheinungen und Sachverhalte mit Einzelsignatu-

[1] Die auf Feldaufnahmen basierenden Grundlagenkarten sind konventionell, mit lagetreuen Signaturen gezeichnet, während für die Abspeicherung der interpretierten Daten eine Geländerastersystem mit 20 m Maschenweite verwendet wurde.

ren. Im Gelände wurden Merkmale zur **Ablösung**, zum **Transit** und zur **Ablagerung** von Sturzmaterial erhoben, u.a.:

- Felswände (unterschieden nach Gesteinsart)
- aktivierbare Blöcke "Grossblöcke" (Ø 2m), "Blöcke" (Ø 0,5m) und "Steine" (Ø<0,5m), die im kolluvialen Steilhang mobilisiert werden können (Informationen zur Ursache der möglichen Mobilisierung finden sich u.a. in den Grundlagenkarten zur Erosions- und Rutschgefahr)
- Anteil der durch Sturzmaterial beschädigten Bäume (Hinweise auf die Sprunghöhe der Blöcke und Steine)
- abgelagertes Sturzmaterial (Komponentengrösse wie oben, Ursache der Abbremsung)
- Bodenrauhigkeit, Fallböden und künstliche Hindernisse

3.3.2 Gefahrenkarten (vgl. Abb. 2)

Die Gefahrenkarten zeigen für die einzelnen Teilflächen die Gefahrenstufe (Intensität und Häufigkeit der sich dort abspielenden oder möglichen Prozesse).
Tab. 1 zeigt die verwendeten Kriterien für die Festlegung der **Intensitätsstufen** bezüglich Sturzgefahr. Die kritischen Hangwinkel finden sich in der Literatur (u.a. John, Spang, 1979) bzw. werden durch eigene Untersuchungen bestätigt (Gsteiger, Zinggeler 1988). Als weitere massgebliche Kriterien wurden die im Gelände feststellbaren bzw. aufgrund der Klüftung an den Nagelfluhwänden zu erwartenden Komponentengrössen berücksichtigt.

Tab. 1 Vorläufige Kriterien zur Ermittlung der Intensität von Felssturz- und Steinschlagprozessen
Preliminary criteria for the assessment of rockfall intensity

ABLÖSUNGS-GEBIETE	**Intensitätsstufe** Basiswert bei Neig. >34°	30-34°	<30°
max. Block-Ø			
> 2 m	3	1	0
< 2 m	2	1	0

TRANSIT- UND ABLAGERUNGS-GEBIETE	**Intensitätsstufe** Basiswert bei Neig. >45°	<45°	Korrekturwert
max. Block-Ø			
> 2 m	3	3	
< 2 m	3	2	
Bremswirkung			
Stopp an Bäumen			-1
Rauhe Oberfläche			-1

Die Ermittlung der Wahrscheinlichkeit bzw. **Häufigkeit** ist ohne längere Beobachtungen problematisch. Deshalb wurde im Rahmen dieser Untersuchung pragmatisch[2] von einfachen Grundannahmen ausgegangen, soweit möglich jedoch von der Auswertung "stummer Zeugen" Gebrauch gemacht (Korrekturwerte in Tab. 2).

Tab. 2 Vorläufige Annahmen zur Ermittlung der Häufigkeit von Felssturz- und Steinschlagprozessen
Preliminary criteria for the assessment of rockfall frequency

ABLÖSUNGS-GEBIETE	**Häufigkeitsstufe** Basiswert Blöcke mit Ø		Korrekturwert bei Neigung		
	>2m	0.5m-2m	40°	35-39°	30-34°
Felswand	2	2			
Kolluv. Steilhang	1	2			
Rutschungen/ Erosion:					
sehr aktiv			+2	+2	+1
aktiv			+2	+1	+1
wenig aktiv			+1	0	0

TRANSIT- UND ABLAGERUNGSGEB.	**Häufigkeitsstufe** Basiswert	Korrekturwert
	wie in den entspr. Ablösungsgebieten, bezogen auf die grössten Block-Ø	
von Sturzmaterial beschädigte Bäume:		
>25% viele		+2
5-25% mehrere		+1
<5% einzelne		0

Die Sturzgefahr in den einzelnen Teilflächen (Abb. 2) wurde schliesslich durch Verknüpfung der Intensitäts- und Häufigkeitsstufen mit Hilfe der Kombinationsmatrix zur Bestimmung der Gefahr (Tab. 3) ermittelt.

[2] Im Rahmen z.Z. laufender Untersuchungen wird das Verfahren verfeinert.

Tab. 3 Kombinationsmatrix zur Bestimmung der Gefahrenstufe aus Intensität und Häufigkeit des Prozesses
Determination of degree of hazard by intensity and frequency

			Häufigkeit			
			häufig	mittel	selten	kaum
			3	2	1	0
Intensität:	gross	3	3	3	2	0
	mittel	2	3	2	1	0
	mässig	1	1	1	1	0

3 = grosse Gefahr
2 = mittlere Gefahr
1 = mässige Gefahr
0 = nach menschlichem Ermessen keine Gefahr

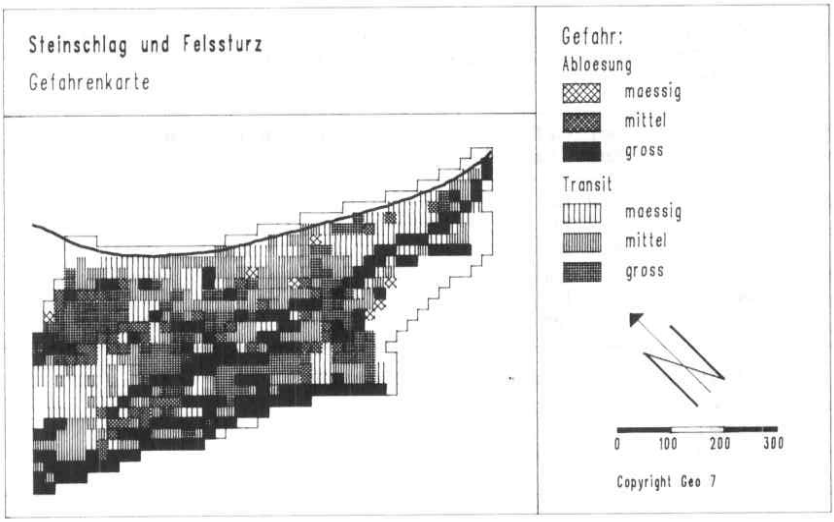

Abb. 2 Gefahrenkarte: Steinschlag- und Felssturzgefahr (Ablösungs- und Transit-/Ablagerungsbereiche) im Gebiet Bohli (Gefälle vom unteren Kartenrand zur Bahnlinie am oberen Kartenrand)
Map of rockfall hazards

Bei der synoptischen Betrachtung verschiedener Gefahrenarten wird jeweils von der grössten resultierenden Gefahr ausgegangen. Dabei wird berücksichtigt, dass sich die einzelnen Prozesse (je für sich allein genommen) in ihren maximalen Auswirkungen unterscheiden. So ist beispielsweise im Untersuchungsgebiet "grosse Erosionsgefahr" in einem bestimmten Hang für sich allein genommen weniger gravierend als grosse Felssturzgefahr. Dies lässt sich bereits bei der Intensitätseinstufung der einzelnen Prozesse berücksichtigen: Während die

Stufenskala bei der Sturzgefahr bis 3 reicht, beschränkt sie sich bei der Erosionsgefahr auf die Stufen 0-2. Eine Korrektur im Hinblick auf die möglichen gravierenden Auswirkungen auch der Erosion, erfolgt dann durch die Gewichtung.

3.3.3 Massnahmen-Prioritätenkarten (Abb. 3 und 4)

Die in den Gefahrenkarten für die einzelnen Teilflächen ausgewiesenen Gefahrenstufen werden nach folgenden 2 Kriterien gewichtet:

- **Wirkungsweg:** Direkt aus dem Hang auf die Bahnlinie (keine Vorwarnzeit) oder via Bachrunse (Wassertransport usw.).
- **Grösse und Bedeutung des Wirkungsgebietes:** Für die Bahnlinie an der Rigi: Anzahl der aus der betrachteten Fläche bedrohten Bahn-Hektometer-Abschnitte.

Tab. 4 Kombinationsmatrix zur Gewichtung der Gefahrenstufe
Degree of hazard weighted with respect to its possible effects

Wirkungs-weg	**betroffene Anz. Bahn-hm**	**Gefahrenstufe (aus Tab. 3)** 3	2	1	0
direkt	> 2 hm	3	3	2	0
	2 hm	3	2	2	0
	< 2 hm	3	1	1	0
indirekt (via Bach)	> 2 hm	2	2	1	0
	2 hm	2	1	1	0
	< 2 hm	2	0	0	0

	Bedeutung	Massnahmen-Priorität
3 =	gross	hoch
2 =	mittel	mittel
1 =	mässig	niedrig
0 =	± keine	-

Mit der Gewichtung nach diesen beiden Kriterien (vgl. Tab. 4) erhält man somit für jede Teilfläche eine Aussage über die Gefährlichkeit und Bedeutung der sich dort abspielenden Prozesse an sich und über die Bedeutung dieser Prozesse für das betrachtete Wirkungsgebiet.

Eine praktisch relevante Aussage wird jedoch erst gewonnen, wenn diese Hinweise in weiteren Schritten mit dem 1984 erhobenen Waldbestand (Abb. 3) und schliesslich auch mit dem aktuellen bzw. einem künftig möglichen Waldzustand verbunden werden (Abb. 4).

Es gilt somit, die erhobenen ortsspezifischen Angaben über die gefährlichen Prozesse mit den konkreten Angaben zum Waldbestand und -zustand in Beziehung zu setzen, wobei die verfügbaren Kenntnisse über die Auswirkungen des Waldsterbens auf die

einzelnen Prozesse anzuwenden sind. Ein mögliches Vorgehen kann für das Gebiet Bohli anhand der Felssturz- und Steinschlaggefahr illustriert werden, wobei die Reduktion der Bremswirkung infolge reduzierter Stammzahl und geschwächter Bäume im Vordergrund steht. Zu berücksichtigen ist zusätzlich auch das häufigere Herauslösen von Blöcken und Steinen aus dem Kolluvium durch verstärkte Rutschungs- und Erosionsaktivität.

Tab. 5 Vorläufige Bewertung von wichtigen Waldbestandestypen hinsichtlich ihrer Tauglichkeit zur Verhinderung und Dämpfung von Sturzprozessen
(Bewertungsgrundlagen nach Gsteiger, Zinggeler, 1988)
Appraisal of the effect of different types of forest stands against rockfall hazards

Waldbestand Entwicklungsstufe	Deckungsgrad >90%		60-90%		30-60%		<20%	
	Ablös.	Transit	Ablös.	Transit	Ablös.	Transit	Ablös.	Transit
Dickung	-2	-1	-1	-1	0	0	0	0
Stangenholz	-1	-2	-1	-2	0	-1	0	0
Schwaches Baumholz	-1	-2	-1	-2	0	-1	0	0
Mittleres Baumholz	0	-1	0	-1	0	0	0	0
Starkes Baumholz	0	-1	0	0	0	0	0	0
Stufiger Geb.plenterw.	0	-1	0	-1	0	-1	0	0

Gefahrenminderung

-3 = gross
-2 = mittel
-1 = mässig
0 = keine

Ablös. = im Bereich der Ablösungsgebiete
Transit = in den Transit- und Ablagerungsgebieten

Abb. 3 zeigt, wo und mit welcher Priorität Massnahmen gegen Steinschlag- und Felssturzgefahr ergriffen werden müssten, wenn vom heutigen Waldbestand ausgegangen wird und ein gesunder Zustand desselben unterstellt werden könnte.

Mit Hilfe von Tab. 6 kann schliesslich die Wirkung des aktuellen bzw. eines künftig möglichen Waldzustandes auf dessen Tauglichkeit als Schutz gegen die Sturzgefahr beurteilt werden. Abb. 4 zeigt die gewichtete Gefahrenkarte bzw. daraus direkt abgeleitet die Priorität von Massnahmen unter Berücksichtigung eines künftig möglichen Waldzustandes, wobei eine allgemeine Zunahme der Waldschäden angenommen wurde (Höherstufung um je 1 Schadenklasse gegenüber der Erhebung 1984). Die heute zu berücksichtigenden Massnahmen-Prioritäten sind aus dieser Zukunftsprojektion abzuleiten.

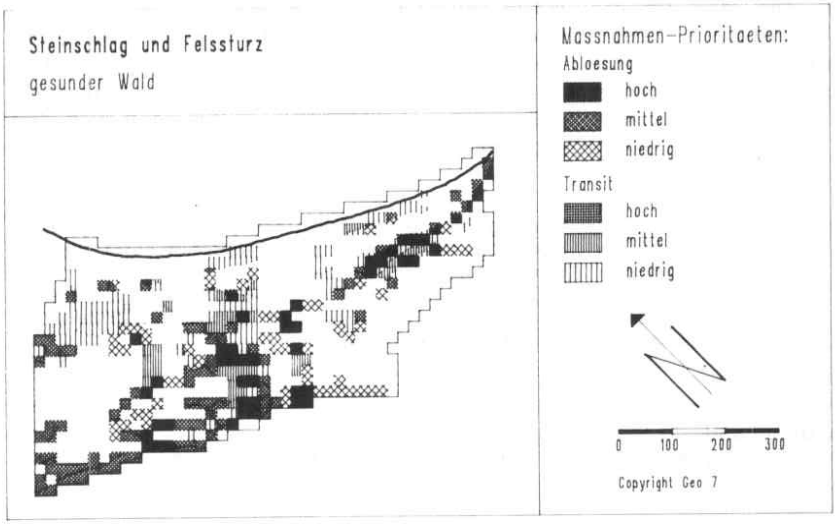

Abb. 3 Massnahmen-Prioritätenkarte gegen Steinschlag- und Felssturzgefahr im Gebiet Bohli
Berücksichtigung der unterschiedlichen Wirkung verschiedener Waldbestandestypen in gesundem Zustand. (Gefälle vom unteren Kartenrand zur Bahnlinie am oberen Kartenrand)
Map of priorities for measures against rockfall hazards with respect to different types of healthy forest stands

4. WALDSCHÄDEN UND ANGEPASSTES MASSNAHMENKONZEPT

4.1 WALDSCHÄDEN UND KÜNFTIGE BEDROHUNG DER BAHNLINIE AN DER RIGI-NORDLEHNE

Die Waldschäden wurden für das Untersuchungsgebiet detailliert erhoben (Scherrer 1984) und im Geographischen Informationssystem abgespeichert. Das Gebiet Bohli weist zum grössten Teil ältere Buchenbestände (mittleres Baumholz) auf. Stufige Bestände finden sich nur in 2 Hangpartien und unmittelbar entlang der Bahnstrecke. Die aufgrund von Infrarot-Aufnahmen (30.7.84) erstellte Waldschadenkarte weist für grosse Hangpartien über 70% geschädigte Bäume nach. Ueberalterung und Krankheit in grossen Teilen der Hangpartien, aus welchen eine direkte Bedrohung der Bahnlinie durch Felssturz, Rutschungen und Erosion besteht, bedeuten künftig eine alarmierende Verschärfung der Gefährdung der Bahnlinie.

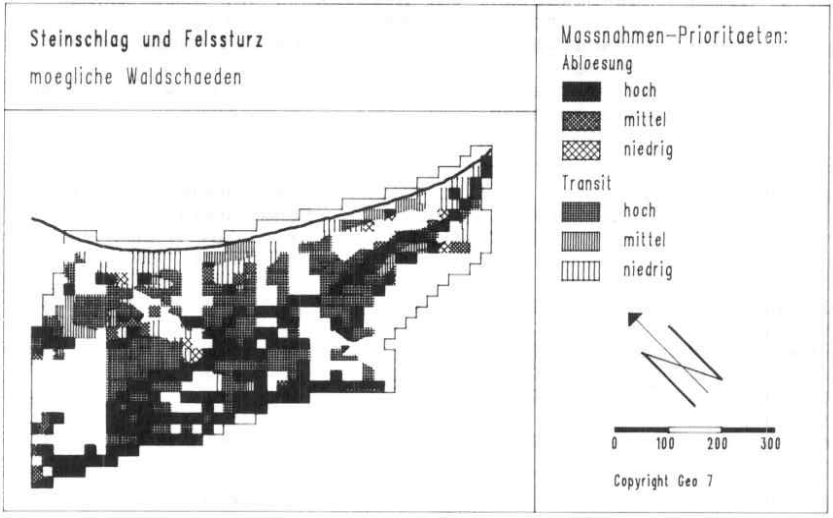

Abb. 4 Massnahmen-Prioritätenkarte gegen Steinschlag- und Felssturzgefahr im Gebiet Bohli
Wie Abb. 3 jedoch Berücksichtigung einer möglichen Entwicklung der Waldschäden.
(Gefälle vom unteren Kartenrand zur Bahnlinie am oberen Kartenrand)
Map of priorities for measures against rockfall hazards (like fig. 3, but possible decline of forest assumed)

4.2 DAS ABGELEITETE MASSNAHMENKONZEPT AM BEISPIEL DER STEINSCHLAG- UND FELSSTURZGEFAHR IM GEBIET BOHLI

Wo und in welcher Priorität Massnahmen zu ergreifen sind, lässt sich somit weitgehend direkt aus der Massnahmen-Prioritätenkarte gegen Steinschlag- und Felssturzgefahr im Gebiet Bohli (Abb. 4) ableiten. Bei verschiedenen Massnahmen sind mögliche Zielkonflikte zu beachten. In Felssturz- und Steinschlag-Transitgebieten ist beispielsweise ein dichter Bestand (hohe Stammzahl) erwünscht. Ein solcher Wald mit dichtem Kronenschluss verhindert jedoch unter Umständen das Aufkommen von erosionshemmendem Unterwuchs und erschwert die Verjüngung des Bestandes, die ja aus Gründen der nachhaltigen Schutzwirkung erforderlich ist. Solche Widersprüche müssen deshalb im Einzelfall abgewogen und die Massnahmenziele sowie die konkreten Massnahmen an Ort und Stelle geklärt werden.

Tab. 6 Vorläufige Bewertung der Auswirkung der Waldschäden hinsichtlich der Tauglichkeit von wichtigen Waldbestandestypen zur Verhinderung und Dämpfung von Sturzprozessen
Appraisal of the effect of forest decline with respect to rockfall hazards

Waldbestandestyp	HFS [m]	BHD [cm]	Flächenanteil mit Schadenklasse 3 od. 4			
			0%	10- <30%	30- <50%	50%
Dickung	25	0-10	0	0	+1	+3
Stangenholz	40	8-20	0	+1	+2	+3
Schwaches Baumholz	40	20-35	0	+1	+2	+3
Mittleres Baumholz	50	35-50	0	+2	+3	+3
Starkes Baumholz	60	>50	0	+1	+1	+1
Stufiger Gebirgsplenterwald	60	-	0	+1	+1	+1

Gefahren Verschärfung:

+3 gross
+2 mittel
+1 mässig
0 keine

Wald-Schadenklassen:

0 gesunde Bäume
1 Vergilbung/Verfärbung
2 leichter Nadel-/Blattverlust
3 starker Nadel-/Blattverlust
4 tote Bäume

HFS = Hindernisfreie Strecke (schiefe Länge)
BHD = Brusthöhendurchmesser

5. ABSCHLIESSENDE BEMERKUNGEN

Die Richtigkeit der Gefahrenbeurteilung und die Zweckmässigkeit des Massnahmenkonzeptes wurden durch das Schadenbild des Unwetterereignisses vom 1. Juli 1987 weitgehend bestätigt. Die Aktualisierung der Beurteilung und der Massnahmenvorschläge unter Berücksichtigung neuer Waldschadenerhebungen ist vorgesehen. Die Umsetzung der Vorschläge in konkrete waldbauliche Massnahmen ist Gegenstand weiterer Diskussionen. Dabei sind sich die Autoren bewusst, dass mit einer optimalen Waldpflege zwar die Tauglichkeit der Bestände langfristig in eine günstige Richtung gelenkt werden kann, die Lösung akuter Probleme jedoch z.T. mit andern Massnahmen angestrebt werden muss.

Im weiteren ist vorgesehen, die flächenbezogenen Angaben über die frühere Waldnutzung der Gefahrensituation gegenüberzustellen. Ausserdem wird das Massnahmenkonzept auch im Hinblick auf die Sicherheit der Autobahn und der betroffenen Landwirtschaftsgüter ausgedehnt.

Tab. 7 Uebersicht über die grundsätzlichen Massnahmen gegenüber der Sturzgefahr
Basic measures against rockfall hazards

Situation	Massn. Typ	Aktion/ Folgeaktion	Probleme
ABLÖSUNGS-GEBIETE	Observativ	Kontrollgänge	Fusswege
	Aktiv	Sichern, u.a. der von Bäumen gestoppten Blöcke, Ablösen, Sprengen	
TRANSIT UND ABLAGERUNGS-GEBIETE	Aktiv	hohe Stammzahl, hohe Strünke stehen lassen, einfacher Ausbau der natürlichen und künstlichen Fallböden, auch Querlegen von Stammholz	in Steilhängen Akkumulation von zuviel Erd- und Gesteinsmaterial vermeiden!
		Strauchgürtel (Hasel, Erlen) oberhalb von oder auf Fallböden und oberhalb des Bahnkörpers, Behandeln gestoppter Blöcke wie in den Ablösungsgebieten, Unterhalten, z.T. Erneuern von Dämmen und Schutzwänden	

Das hier am Beispiel der Felssturz- und Steinschlaggefahr skizzierte Vorgehen hat sich vom Ansatz her grundsätzlich bewährt, obschon bei künftigen Arbeiten gewisse Modifikationen vorzusehen sind. Die Verwendung von einfachen Kombinationsmatrizen trägt den Makel eines groben, nicht allen Einzelfällen gerecht werdenden Vorgehens. Dieser Einwand ist richtig. Zu bedenken ist jedoch, dass die Kenntnisse über konkrete Zusammenhänge zwischen Umweltparametern, Waldschäden und einzelnen Prozessen z.T. nach wie vor rudimentär sind, und dass es somit äusserst schwierig ist (bei den Rutsch- und Erosionsgefahren noch wesentlich ausgeprägter als bei der hier diskutierten Sturzgefahr), allgemeingültige Modelle aufzustellen. Somit halten es die Autoren für ehrlicher, mit einfachen Modellen zu arbeiten, die dem rudimentären Kenntnisstand adäquat sind und die dafür dank ihrer Einfachheit leichter nachvollziehbar und somit auch direkter überprüfbar und korrigierbar sind. Einfache Modelle erleichtern ausserdem die Anpassung an lokal-spezifische oder an bisher unbekannte Gegebenheiten. Das an der Rigi konsequent durchexerzierte mehrstufige Vorgehen hat allerdings auch gezeigt, dass die Zahl der Entscheidungsstufen (die Zahl der Kombinationsmatrizen,

die für jede Beurteilungsfläche durchlaufen werden) beschränkt werden muss, weil sonst die Uebersichtlichkeit des Verfahrens und somit wiederum die Nachvollziehbarkeit darunter leiden.

Die Vorteile, welche die modernen Informationssysteme bezüglich Verknüpfung, Darstellung und Nachführung von Daten bringen, dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass Gefahrenbeurteilung und Massnahmenplanung nach wie vor nur durch seriöse, umsichtige und detaillierte Arbeit im Gelände angegangen werden können. Und schliesslich sind alle mit solchen Verfahren erzielten Ergebnisse an kritischen Stellen und stichprobenweise zu verifizieren und allenfalls zu korrigieren. Dabei ist die Korrektur im Sinne der Nachvollziehbarkeit zu protokollieren und zu begründen.

LITERATUR

Gsteiger, P., Zinggeler, A., 1988: Steinschlag in Waldgebieten, Methodik der Feldaufnahme und Modellierung. Dipl.Arb., Geogr. Inst. d. Univ. Bern (in Vorb.)

John, K.W., Spang, R.M., 1979: Steinschläge und Felsstürze Voraussetzungen - Mechanismen - Sicherungen. Tagungspubl. UIC Unterausschuss K 7, Tagung in Kandersteg vom 10. bis 12.9.1979

Scherrer, H.U., 1984: Schadenerhebungen in den SBB-Waldungen an der Rigi-Lehne. Gutachten, Forstdienst SBB, Luzern

Zeller, J., Geiger, H., Roethlisberger, G., 1978: Starkniederschläge des schweiz. Alpen- und Alpenrandgebietes. Bd. 3. Eidg. Anst. f. forstl. Versuchswesen, Birmensdorf

Adresse der Autoren:

Dr. Hans Kienholz
Geographisches Institut der Univ. Bern
Hallerstr. 12
CH-3012 Bern (Switzerland)

Peter Mani
GEO 7
Weberstr. 9
CH-3007 Bern (Switzerland)

Max Kläy
Forstdienst SBB
CH-6002 Luzern (Switzerland)