

Innovative ingenieurgeologische Methoden im alpintechnologischen Sektor

**Entwicklung und Einsatz eines automatischen Fernüberwachungssystems
basierend auf einem Laserscanner (ALARM)**

**Datenerfassung und Datenbearbeitung geomorphologischer Erhebungen
auf Basis einer prozeßorientierten Standardlegende**

Manfred SCHEIKL, Willi WANKER, Gerhard POSCHER

INHALTSVERZEICHNIS

- 1 **EINLEITUNG**
- 2 **„ALARM“ – ATOMATIC LASER REMOTE MONITORING**
 - 2.1 Allgemeines
 - 2.2 Meßsystem
 - 2.2.1 Lasersensor
 - 2.2.2 Laserserver
 - 2.2.3 Punktmessungen
 - 2.2.4 Kleinflächenmessungen
 - 2.2.5 Großflächenmessungen
 - 2.2.6 Meß-PC mit Laserserver und Auswertesoftware
 - 2.2.7 Entfernungs/Zeit-Diagramm mit Intensitätsfilter
 - 2.2.8 Isolinienauswertung
- 3 **GENERELLE LEGENDE FÜR GEOLOGISCH-GEOMORPHOLOGISCH-HYDROGEOLOGISCHE KARTIERUNGEN**
 - 3.1 Übersicht zum Themenbereich Geomorphologie
 - 3.2 Legende zum Themenbereich Geomorphologie
 - 3.2.1 Abtragsformen
 - 3.2.2 Akkumulation
 - 3.2.3 Allgemeine Morphologie
 - 3.2.4 Anthropogene Formen
 - 3.3 Literaturverzeichnis
- 4 **ZUSAMMENFASSUNG**

1 EINLEITUNG

In dieser Arbeit werden zwei neue Methoden vorgestellt, die im Rahmen der Bearbeitung konkreter ingenieurgeologischer Fragestellungen im Georisikobereich entwickelt wurden. Bei beiden Entwicklungen handelt es sich um Methoden zur Erfassung von Prozessen, die mit Massenbewegungen im Zusammenhang stehen.

„ALARM“ – Automatic Laser Remote Monitoring

Die jüngste, aufgrund des Anlasses (Felssturz-Eiblschrofen) sowie der Entwicklungsgeschwindigkeit (4 Monate) auch spektakuläre, Entwicklung ist ein vollautomatisch arbeitendes Fernüberwachungssystem, das auf einem computergesteuerten Laserscanner basiert (Scheikl et. al. 2000). Das wesentliche Merkmal dieser reflektorlosen Anwendung ist dabei die Generierung von Datensätzen mit Informationen über die dreidimensionalen Verhältnisse des Meßbereichs. Diese Datensätze werden automatisch über 24 Stunden aufgenommen und weiterverarbeitet. So werden 3D-Daten mit einem Raster von $0,018^\circ$ mal $0,018^\circ$ zur Überwachung von Bewegungsvorgängen erhoben, wie zum Beispiel an der Abbruchwand des Eiblschrofen oder an einem Lawinenhang. Diese Daten werden mittels einer eigens entwickelten Software

verwaltet, ausgewertet und visualisiert. Als Ergebnis stehen Informationen wie Verschiebungslängen und Verschiebungsgeschwindigkeiten oder Ausbruch-, Verformungs- und Schneezuwachsvolumina zur Verfügung.

Im Folgenden wird ein Überblick über die Systemkomponenten, den Datenfluß, die Meß- und Auswertestrategie sowie ein Beispiel aus einer laufender Felsüberwachung gegeben.

„GEO-Legende“ - Prozessorientierte Legende zur Erfassung von geomorphologischen Details auf digitaler Basis

Die im Zuge von Feldaufnahmen durchzuführende Erfassung von Prozessen, die für Massenbewegungen bzw. -transporten aller Art typisch und entscheidend sind, erfordert eine übersichtliche und umfassende Kartierungslegende. Der ursprünglich vorliegende Kartierungsschlüssel für die geomorphologischen Untersuchungen von Wildbacheinzugsgebieten mußte inhaltlich im Sinne einer „Prozeßbereinigung“ neu strukturiert werden. Die Überarbeitung geschah im Auftrag der „Geologischen Stelle des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung“ auf Grundlage der generellen Legende für geomorphologische Kartierungen. Bei der Primärerfassung der vor-Ort-Daten ist diese Standardisierung und Strukturierung der erhobenen Informationen wesentlich für die weitere Verarbeitung. Im allgemeinen werden dabei qualitative Parameter quantifiziert. Die überarbeitete Datenstruktur wird einer streng hierarchischen Gliederung unterzogen, wobei die Möglichkeit einer Erweiterung um einzelne Inhalte oder einer zusätzlichen Untergliederung gegeben ist. Aufgrund der – soweit möglich – systemneutralen Vorgaben ist eine breite Akzeptanz und somit die Einführung als Standard gewährleistet. Die Wahl der anzuwendenden Signaturen basiert auf der Beschreibung von aktuellen und reliktschen, prozeßtypischen, morphologischen Phänomenen, die eine gesamthafte Interpretation der zu beurteilenden Situation ermöglichen.

2 „ALARM“ – ATOMATIC LASER REMOTE MONITORING

2.1 Allgemeines

Steile und unzugängliche, aufgrund von Felssturz- oder Lawinengefahr gesperrte Bereiche sind mit konventionellen vermessungstechnischen Anwendungen nur schwer bis gar nicht dreidimensional und innerhalb kurzer Zeiträume zu erfassen.

Das System „ALARM“ besteht aus einem **Meßsystem** und einem **Auswertesystem**.

Diese beiden Teile sind im wesentlichen als zwei voneinander unabhängig arbeitende Komponenten des weitestgehend automatisierten Gesamtsystems zu sehen.

Durch die im Gesamtsystem realisierte Meß- und Auswertestrategie kann die Erfassung von Distanzänderungen im Bereich von $< 1\text{cm/Woche}$ erreicht werden. Die Meß- und Auswertestrategie ermöglicht nicht nur die **Reduktion des gerätespezifischen Meßfehlers**, sondern berücksichtigt auch die zwischen den einzelnen Meßperioden **veränderlichen atmosphärischen Bedingungen**. Kapitel 2.2 beschreibt die Komponenten des Meßsystems und widmet sich der Auswertung von verschiedenen Datensatzarten bzw. der Verwendung einzelner Meßprinzipien im Hinblick auf die Aussagekraft der Ergebnisse.

2.2 Meßsystem

Das Meßsystem besteht aus einem **Lasersensor**, der von einem **Meß-PC** Meßaufträge über ein serielles Schnittstellenkabel erhält. Die vom Lasersensor aufgenommenen Daten werden nach Abschluß des Meßauftrages aus dem sensoreigenen Zwischenspeicher über das serielle Schnittstellenkabel an den Meß-PC weitergeleitet und dort in einem festgelegten Dateiablagesystem gespeichert. Die Generierung sowie die Verwaltung der Meßaufträge sowie die Verwaltung der Meßdaten wird von einer am Meß-PC installierten Software, dem „**Laserserver**“ wahrgenommen. In der untenstehenden Abbildung wird ein schematisches Datenflußdiagramm gezeigt (Abb.1)

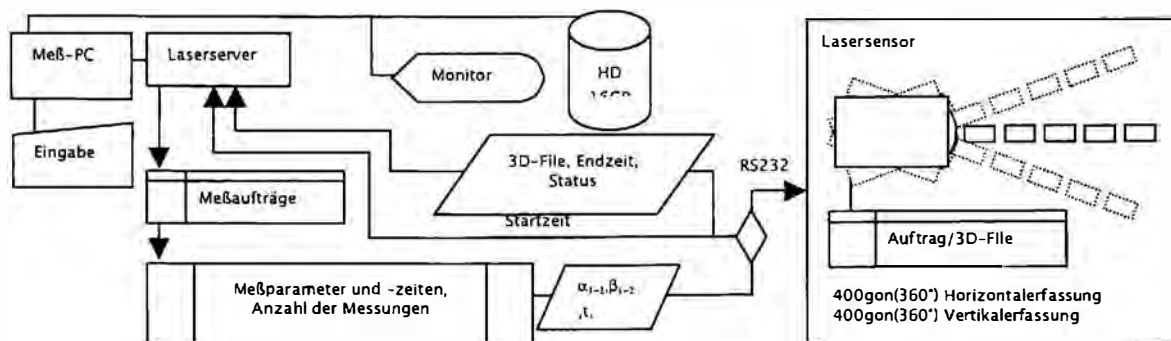


Abb. 1: Schematische Darstellung – Datenfluß, Organisationsdiagramm

2.2.1 Lasersensor

Hardwarekomponenten

Der Lasersensor besteht im wesentlichen aus einem Halbleiteremittor ($\sim 900\text{nm}$) sowie einem dazu zeitlich gekoppelten Halbleitersensor. Die dazugehörige Positioniereinheit besitzt eine schrittmotorgetriebene Horizontalwinkelpositionierungseinheit sowie eine entsprechende Vertikalwinkelpositionierungseinheit. Die kleinsten Positionierungsschritte, die zugleich den feinsten Meßraster definieren, betragen in horizontaler und vertikaler Richtung zur Zeit $0,02\text{gon}$ bzw. $0,018^\circ$. Die beiden Winkelpositionen werden über ein absolutes, internes Referenzsystem bestimmt, das mit Hilfe der Messung von Referenzmarken (Reflex tafeln) bekannter Lage sowie der Auswertungen dieser Messungen mit entsprechenden Bildverarbeitungsmodulen, in ein globales Referenzsystem eingehängt

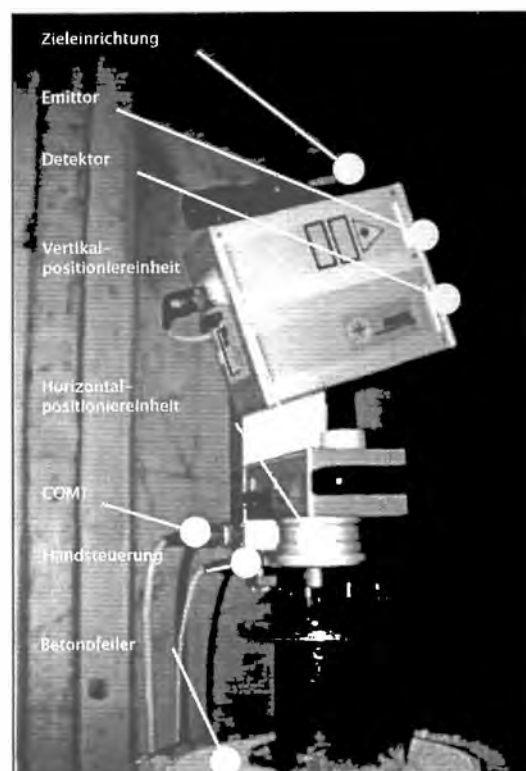


Abb. 2: Bestandteile des Lasersensors

werden kann.

So können 3D-Daten, die sich auf das interne Referenzsystem beziehen, lagerichtig dargestellt bzw. weiterverarbeitet werden. In Abbildung 2 werden die einzelnen Geräteteile an dem am Eiblschrofen installierten Scanner gezeigt.

Meßprinzip - Lasersensor

Die Entfernungsmessung des Lasersensors basiert auf einer einfachen Berechnung der Entfernung über die als konstant angenommene Lichtgeschwindigkeit. Dabei können mehrere Detektionsprinzipien zur Verbesserung der Meßergebnisse bei Auftreten verschiedener Störeinflüsse aktiviert werden. Die Verarbeitungsprozedur (Maximumsuche) der Eingangssignale kann jedoch nicht beeinflusst werden, was im Hinblick auf die Optimierung der Meßgenauigkeit einen wesentlichen Nachteil darstellt.

Zur Entfernungsmessung werden vom Lasersensor rund 5000 Lichtimpulse pro Sekunde mit einer Wellenlänge von $\sim 900\text{nm}$ emittiert, an der Zielfläche (Felswand, Schneeoberfläche usw...) reflektiert und in Richtung Lasersensor zurückgestreut. Der zurückgelegte Weg der Lichtimpulse ist proportional zu deren Gesamtlaufzeit. Der resultierende Entfernungswert wird demnach aus einer Vielzahl von Einzelimpulsmessungen berechnet. Ein Einzelpunktdatum setzt sich schließlich aus einem Entfernungsmittelwert, einer dazugehörigen Standardabweichung des Entfernungsmittelwertes, einem Intensitätsmittelwert sowie aus einem Horizontal- und Vertikalwinkelwert zusammen. Diese (polaren) Daten können über eine vom Gerätehersteller mitgelieferte Software als x,y,z-Koordinaten (bezogen auf das interne Referenzsystem) exportiert werden. In Abb. 3 wird die Ermittlung der Entfernungswerte in Form einer schematischen Darstellung gezeigt.

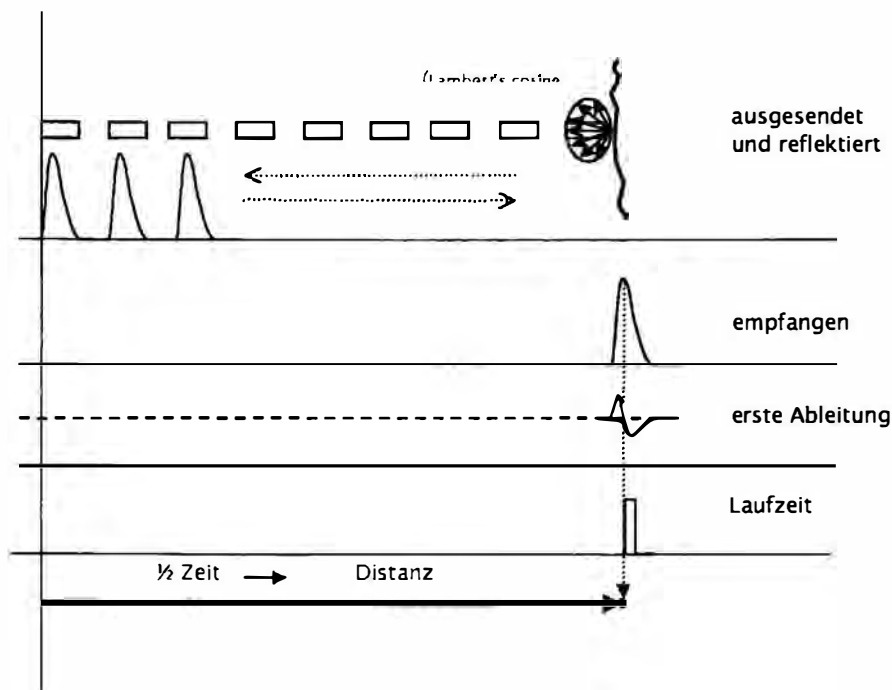


Abb. 3: Schematische Darstellung der Entfernungsmessung

Aufgrund der unterschiedlichen Reflexionseigenschaften natürlicher Materialien bzw. Oberflächen (Material, Rauigkeiten, Wasserfilm oder Staubbelaag) und atmosphärischer Störeinflüsse auf jeden einzelnen Lichtimpuls vor und nach der Reflexion ist anzunehmen, daß nur in seltenen Fällen ein eindeutiges, eingipfeliges, normalverteiltes und vor allem ein symmetrisches Reflexionssignal vom Detektor aufgenommen wird. Zur Zeit wird ein unveränderliches, gerätespezifisches Signalverarbeitungsprinzip (Bildung der ersten Ableitung nach der Zeit; Suche nach Nullstellen, Berechnung der Entfernung) verwendet. Dem tatsächlichen, von der Idealform abweichenden Verlauf der Reflexionsintensität (Peakform) kann somit nicht Rechnung getragen werden. Methoden zur Ermittlung von Flächenschwerpunkten bzw. zur Entflechtung mehrgipfelter Reflexionssignale über die Anwendung von Entflechtungs- und Anpassungsfunktionen sollen in einem weiteren Entwicklungsprogramm umgesetzt werden.

2.2.2 Laserserver

Kompensationsprinzip – System „ALARM“

Bei konventionellen vermessungstechnischen Methoden müssen die bei der Entfernungsmessung vorherrschenden atmosphärischen Bedingungen mitberücksichtigt und mittels rechnerischer Verfahren unter Annahme physikalischer Modelle (Lichtgeschwindigkeits-Temperatur-Luftdruckbeziehung) kompensiert werden. Bei großen Höhenunterschieden zwischen einem Zielpunkt und dem Meßgerät treten jedoch eine Reihe verschiedener Lichtausbreitungsbedingungen auf, die unter anderem durch Luftschichtung und damit verbundene Luftdruck- und Temperaturdiskontinuitäten zustandekommen. Die Summe dieser Effekte kann mittels Luftdruck- und Temperaturmessungen bzw. mit einem vertretbaren Aufwand innerhalb kurzer Zeit (alle 2 Minuten) nicht erfaßt werden.

Beim System „ALARM“ wird ein einfaches Kompensationsprinzip verwendet. Dabei wird vor und nach einer Oberflächenmessung ein Ziel mit bekannter Entfernung (S_0) zur Referenzierung vermessen. So erhält jeder Datensatz zwei zusätzliche Referenzlängendatensätze die bei der Auswertung der Daten zur Kompensationsrechnung herangezogen werden. Die resultierenden Kompensationswerte repräsentieren die bei der Zielflächenmessung vorherrschenden Lichtausbreitungsbedingungen.

In Abbildung 4 wird die am Eiblschrofen installierte Referenzfläche gezeigt. Die am oberen Rand des Rahmens befindlichen Meßprismen dienen zur periodischen Überprüfung der Tafelposition (S_0).

In Abbildung 5 wird das Kompensationsprinzip schematisch dargestellt.



Abb. 4: Referenztafel mit Meßprismen

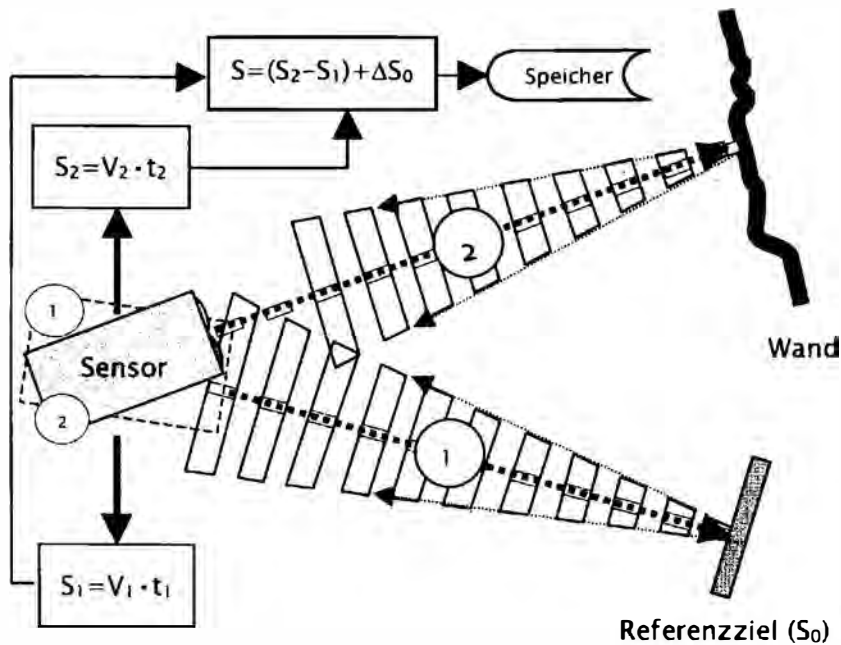


Abb.5: Kompensationsprinzip- 1) Referenzmessung 2) Messung Zielfläche

2.2.3 Punktmessungen

Der Sensor kann sowohl mit der Erzeugung von Punktentfernungsdaten mit räumlicher Zuordnung beauftragt werden als auch mit der Aufnahme vordefinierter Meßflächen. Ein Datenpunkt besitzt vor der Verarbeitung mit der entsprechenden Auswertesoftware folgende (Roh) Informationen:

Tabelle 1: Informationsgehalt von Punktdaten

Information	Abkürzung	Auflösung	Einheit	Meßbereich	Beispiel
Distanz	D	0,001	m	15-2000	1987,098
Horizontalwinkel	α	0,01	gon	0-400	187,78
Vertikalwinkel	β	0,01	gon	0-400	89,01
Reflexionsintensität	I	1	-	0-200	135

Bei der Durchführung von Messungen gilt bezüglich der Reduktion des Meßfehlers das Prinzip der Berechnung eines statistischen Schätzwertes, der dem tatsächlichen Entfernungswert mit zunehmender Meßwiederholrate näher kommt. Bei der Durchführung von Punktmessungen besteht jedoch im Vergleich zu Kleinflächenmessungen der Nachteil, daß die Ablenkung der Lichtimpulse durch Brechungseffekte in Verbindung mit groben Oberflächenrauigkeiten zur Erhöhung des Meßfehlers führt.

Deshalb spielen Punktmessungen nur eine untergeordnete Rolle bei der Erfassung von Bewegungserscheinungen.

2.2.4 Kleinflächenmessungen

Die oftmalige, automatische Messung von Kleinflächen wird durch ein Softwaremodul des Laserservers ermöglicht. Der wesentliche Vorteil bei der Durchführung von Kleinflächenscans liegt dabei in der kurzen Dauer der Messung und der geringen Veränderung der atmosphärischen Bedingungen zwischen den vor- und nachgestellten Kompensationsmessungen. In der nebenstehenden Abbildung wird ein Reflexionsbild einer Kleinflächenmessung (Raster $0,018^\circ \times 0,018^\circ$) gezeigt. Dabei handelt es sich um ein künstliches Ziel, das zur Orientierung des internen Referenzsystems dient. So wird ein periodischer Einsatz des Gerätes ermöglicht, ohne zusätzliche Fehlerquellen durch Montagefehler in Kauf nehmen zu müssen. Die mittels Software ermittelte interne Position der unbeweglichen und lagebestimmten Reflextafel wird mit dem externen Koordinatensystem zusammengeführt, sodaß alle dreidimensionalen Daten auf dieses bezogen werden können.

Die zuvor erwähnte Fehlerreduktion wird zum einen mittels der Anwendung der bereits beschriebenen Kompensationsmethode erreicht und zum anderen durch die statistische Auswertung der Kleinflächenscans verbessert. Eine mehr oder weniger rauhe Gesteinsoberfläche, die im Bezug zum Koordinatensystem des Sensors eine allgemeine Lage aufweist, besitzt eine unendlich hohe Anzahl an verschiedenen Entfernungen zu einem definierten Nullpunkt (Scannernullpunkt). Um die zu messende Fläche hinsichtlich der Entfernung zu charakterisieren, errechnet die Auswertesoftware des Systems „ALARM“ ein Entfernungshistogramm. Dieses spiegelt die in eine Entfernungsverteilung transformierte dreidimensionale Ebenheit der Zielfläche wieder. Die Form der Verteilung gibt demnach Auskunft über die Qualität einer Zielfläche. Treten an schräg zum Laserstrahl stehenden Zielflächen Entfernungsänderungen auf, die eine allgemeine Richtung besitzen, treten scheinbare Verkürzungen oder Verlängerungen auf. Um diese Effekte erkennen zu können, muß entweder eine dreidimensionale Betrachtung der geometrischen Verhältnisse durchgeführt oder zumindest eine Histogrammanalyse in die Auswertung miteinbezogen werden.

Abbildung 6 zeigt zwei Entfernungshistogramme.

Dabei stellt das Histogramm 1 die Entfernungsverteilung einer sehr ebenen und normal zum Laserstrahl stehenden Fläche dar.

Das Histogramm 2 zeigt die Entfernungsverteilung einer unebenen und schräg zum Laserstrahl stehenden Fläche. Die blauen Säulen stellen die Entfernungsverteilung am 18.08.2000, die roten Säulen jene am 05.10.2000 dar. Eine deutliche Änderung der Verteilungsform deutet auf die Änderung der Flächenstruktur hin, die in diesem Fall durch Ausbrüche verursacht wurde. Die unregelmäßige Form des Histogramms 2 weist zudem auf eine unregelmäßige Struktur der Zielfläche hin. Bei der Interpretation der Ergebnisse wird auf die Histogrammform d.h. auf die Flächenqualität entsprechend Rücksicht genommen.

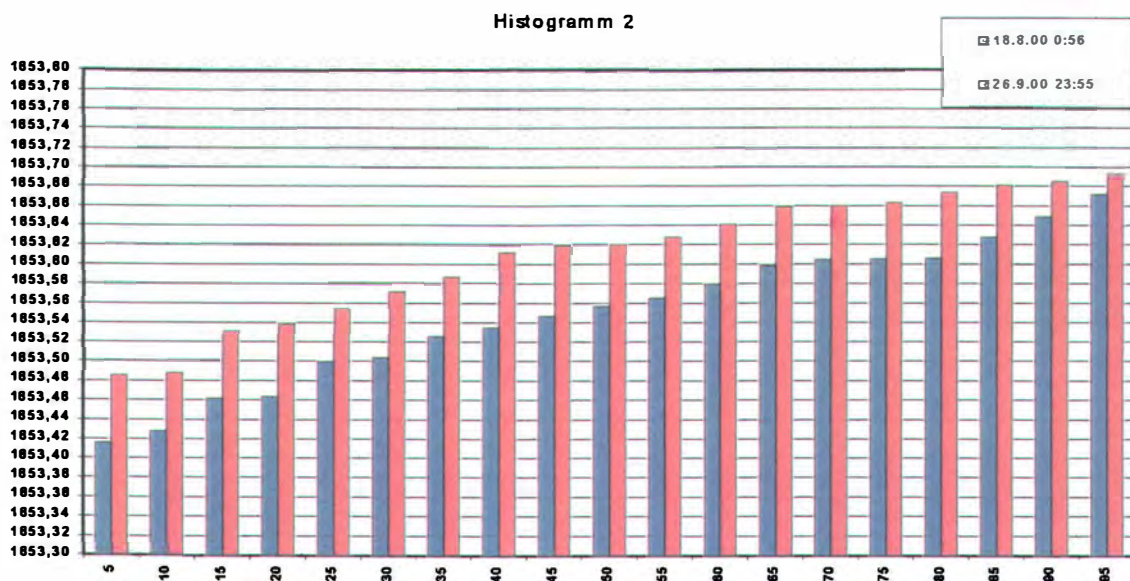
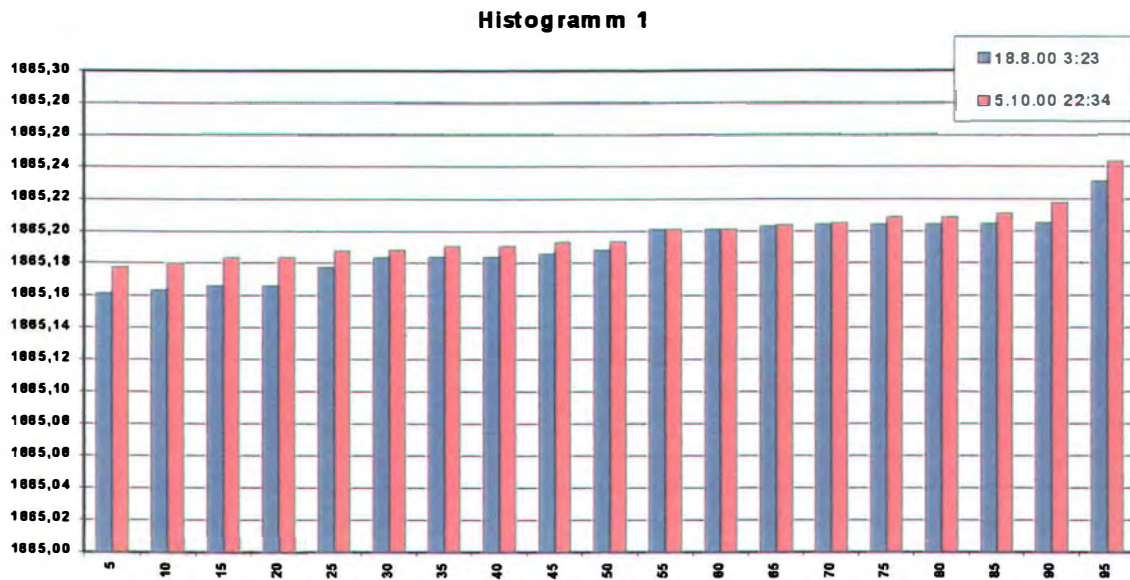


Abbildung 6: Entfernungshistogramme

2.2.5 Großflächenmessungen

Großflächenmessungen dienen im wesentlichen zur Erzeugung von Oberflächenmodellen mit einer Auflösung von bis zu 0,02gon. Diese Oberflächenmodelle können sowohl mit konventionellen CAD-Programmen als auch mit der Auswertesoftware des „ALARM“-Systems etwa zur Berechnung von Abbruch- oder Schneezuwachsvolumina genutzt werden. Das Produkt der Volumsauswertung ist die Ausgabe von Isolinienbildern oder von Volums/Zeit-Diagrammen.

Die Anwendung von Großflächenscans dient nur in geringem Maß der Erfassung von detaillierten Bewegungsvorgängen, da die lange Meßdauer keine exakte Kompensation der Meßdaten erlaubt.

2.2.6 Meß-PC mit Laserserver und Auswertesoftware

Die Hauptaufgabe des auf dem Meß-PC installierten Laserservers ist die Verwaltung der Meßaufträge und der vom Sensor akquirierten Datensätze. Dabei helfen Eingabemasken mit einfacher Menüführung die Generierung von Auftragsbibliotheken oder die Erstellung von neuen Meßflächen.

Die beim Laserserver eingehenden Datensätzen werden in einem vorgegeben Dateiablagensystem gespeichert. Diese Ablagestruktur ist bei der nachfolgenden Auswertung hilfreich, da die Auswertesoftware lediglich auf die in dem fixen Ablagesystem befindlichen Informationen zugreifen muß, ohne große Datenmengen in die eigene Datenbank aufnehmen zu müssen. So wird eine rasche Auswertung nach verschiedenen Kriterien und vor allem die rasche Visualisierung großer Datenmengen ermöglicht.

Die Auswertesoftware greift je nach Auswertemodus auf verschiedene Informationen der Datensätze zu und legt gegebenenfalls neue Datensätze in der gleichen Struktur an, sodaß z.B.: das Visualisierungsmodul darauf zugreifen kann.

In den nachfolgenden Punkten werden einige Auswertebispiele aus einem aktuellen Felsüberwachungsprojekt gezeigt.

2.2.7 Entfernungs / Zeit-Diagramm mit Intensitätsfilter

In Abbildung 7 wird die Reduktion der Datensätze durch die Anwendung eines Intensitätsfilters gezeigt. Dabei werden bei zunehmender Diskriminierung von Datensätzen mit niedrigen Intensitätswerten (schlechtes Wetter) die Ausreißer soweit reduziert, daß lediglich die vertrauenswürdigsten zur Auswertung herangezogen werden. Von oben nach unten wird ein dichter Intensitätsfilter angewendet.

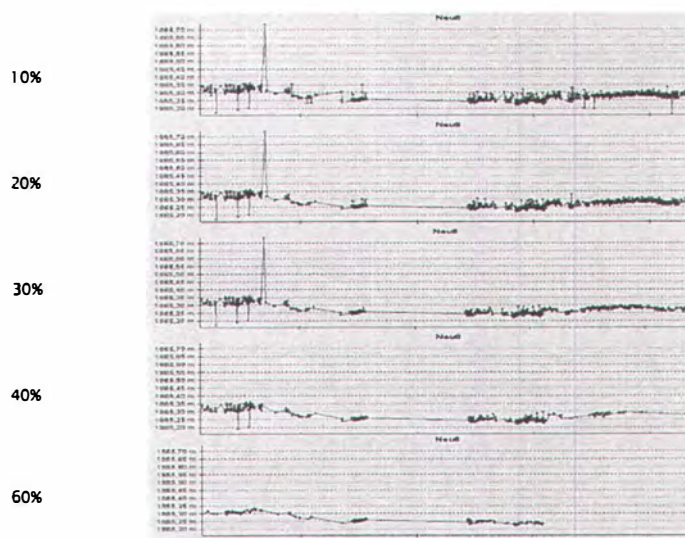


Abb. 7: Intensitätsfilter

2.2.8 Isolinienauswertung

Eine weitere für die Darstellung wesentlicher Bewegungsvorgänge hilfreiche Darstellungsform sind Bilder mit Linien gleicher Verschiebungslänge. Dabei werden zwei kompenzierte 3D-Modelle überlagert, wobei für eine rechnerisch verdichtete Anzahl an Punktpositionen die Längendifferenz berechnet wird. Diese Längendifferenzen werden dann in Form von Isolinien über ein aktuelles RGB-Bild geplottet.

In Abbildung 8 ist eine Isolinienauswertung, die mit einem konventionellen CAD-Programm erstellt wurde, zu sehen.



Abbildung 8: Isolinienbild

3 GENERELLE LEGENDE FÜR GEOLOGISCH-GEOMORPHOLOGISCH-HYDROGEOLOGISCHE KARTIERUNGEN

3.1 Übersicht zum Themenbereich Geomorphologie

Der ursprünglich vorliegende Kartierungsschlüssel für die geomorphologischen Untersuchungen von Wildbacheinzugsgebieten mußte inhaltlich im Sinne einer „Prozeßbereinigung“ neu strukturiert werden. Die Überarbeitung geschah im Auftrag der „Geologischen Stelle des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung“ auf Grundlage der generellen Legende für geomorphologische Kartierungen. Die überarbeitete Datenstruktur wird einer streng hierarchischen Gliederung unterzogen, wobei die Möglichkeit einer Erweiterung um einzelne Inhalte oder einer zusätzlichen Untergliederung gegeben ist. Aufgrund der – soweit möglich – systemneutralen Vorgaben soll eine breite Akzeptanz und somit die Einführung als Standard gewährleistet sein.

Das vorliegende Ergebnis der ersten Entwicklungsstufe dieser Bearbeitung kann nicht den Ansprüchen einer „eierlegenden Wollmilchsau“ gerecht werden. In der Durchführung und Handhabung muß dieses Schema flexibel und dynamisch bleiben. Allfällige Kritiken im Sinne von Wünschen, Anregungen oder Beschwerden sind gewollt und erhöhen die Wahrscheinlichkeit, dass sich die vorgeschlagene Methodik mehr und mehr als Standard durchsetzt. In diesem Sinne ist auch zu beachten, dass in der ersten Entwicklungsstufe die inhaltliche und strukturelle Gliederung auf den Erfassungs- und Zielmaßstab 1:5.000 ausgelegt wurde. Die Verwendung der Generallegende für andere Maßstabsbereiche ist ohne vorgeschaltetes systematisches Up- bzw. Downscaling nicht zulässig.

Bereits in der Phase der Datenerfassung gilt es, sämtliche Redundanzen im

beobachteten Raum und im untersuchten Themenbereich auszuschalten. Wie erwähnt, mussten die ursprünglich vorliegenden Kartierungsschlüssel für die geomorphologischen Untersuchungen von Wildbacheinzugsgebieten entsprechend ihrer Inhalte neu strukturiert werden:

Die Legende orientiert sich an den Abtrags- und Ablagerungsprozessen. Sie sieht eine Unterscheidung in Grundtypen von Massenbewegungen bzw. Massentransport mit den bekannten Übergangsbereichen im wesentlichen so vor, wie dies von BUNZA (1982, 1992a) und BUNZA et al. (1992b, 1996) systematisch beschrieben worden ist. Sie ist zudem so gestaltet, daß auch Teilbereiche verschiedener Oberflächenformen ausgewiesen werden können, da oft nicht alle Erscheinungsbilder eines Prozesses erhalten sind.

Für die Datenbearbeitung bzw. Datenhaltung war gefordert, die oben genannte Informationsstruktur einer streng hierarchischen Gliederung zu unterziehen, wobei eine Erweiterung um einzelne – in der Hierarchie gleichgestellte – Inhalte oder um weitere Untergliederungen möglich sein muß. Für die Datenhaltung sollte eine weitestgehend systemneutrale Methode entwickelt werden. In diesem ersten Arbeitsgang liegt der Schwerpunkt der Datenbearbeitung daher in einer effizienten Einarbeitung der erfaßten und strukturierten Primärdaten in ein CAD-System. Durch die freie Systemwahl soll weiters eine möglichst breite Umsetzung der strukturierten Erfassung und Einarbeitung des betrachteten Geoinventars gewährleistet werden.

Neben der strukturellen Vorgabe wird auch das Erscheinungsbild standardisiert, wobei beispielsweise bei den Abtragsformen rote Linienführungen durchwegs aktuelle Prozesse signalisieren, grüne Farbgebung steht für die reliktsche Ausprägung der jeweiligen Form.

Datenstruktur

Die im Folgenden dargestellte inhaltliche Gliederung wird für die CAD-Bearbeitung nach einem grundsätzlichen Schema, das für alle Themenbereiche des Geoinventars Gültigkeit hat, strukturiert:

Thema – Bereich – Erscheinungsform – (Ausprägung) – Datenart

Beispielsweise wird ein aktueller Nischenanbruch aus Stürzen wie folgt charakterisiert:

GM-AB-STURZ-A-L bzw. GM-AB-STURZ-A-X bzw. GM-AB-STURZ-A-C

Thema:	GeoMorphologie
Bereich:	Abtragsform
Bezeichnung:	Nischenanbruch aus STÜRZEN
Ausprägung:	Aktuell
Datenart:	Linie, Flächen-Code, flächendarstellende Schraffur (X)

3.2 Legende zum Themenbereich Geomorphologie

ABTRAGSFORMEN		AKKUMULATION	
Nischenbruch aus Stürzen	aktuell	Hängschotter, Schotter	aktuell
	relätsch		relätsch
Anbruch aus Rutschung bzw. Gleitung	aktuell	Blockschutt, Tone	aktuell
	relätsch		relätsch
	vermutet	Rutschmasse	aktuell
Bergzerfall, ausgeprägte Spalten, Sackung	aktuell, aktiv		relätsch
	relätsch	Fäulnisablagerungen	vermutet
	vermutet		aktuell
Kriech- und/oder Fließkörper	aktiv	Murmaterial	relätsch
	relätsch		aktuell
	vermutet		relätsch
Ufer-, Felsen-, Rinnenbruch	aktuell	ALLGEMEINE MORPHOLOGIE	
	relätsch	Abruflose Senke	
Schra- und Lösserodur	aktuell	Rinne, allgemein	
	relätsch	Kanal-Erhöherichter	
Sturz-, Gleit-, Rutsch-, Murbahn	aktuell	Sub-, Hochwasserkanal	
	relätsch	Buckelfläche	
	vermutet	Herrfächerfläse	
		Weil-Rücken	variant
ANTHROPOGENE FORMEN			angedeutet
Verbauungen		Gebirgsurte	
Planie		Hängabgung	
Anschliff/Abbau		Windwurf	
Schuttungsfläche			
Starke Bemaßung, Viehhof			

Abbildung 9: Auszug aus der Generellen Legende für Geologisch-geomorphologisch-hydrogeologische Kartierungen, Themenbereich Geomorphologie (verkleinert)

3.2.1 Abtragsformen:

Nischenanbruch aus Stürzen (Steinschlag, Felssturz¹, Bergsturz²):

¹ Absturzereignisse von Einzelblöcken bis Blockverbänden (Einzelblock > 0,5m³) von 10-10.000m³ pro Ereignis; darunter Steinschlag; BUNZA, 1982; BOLLINGER et al., 1992;

² im Unterschied zum Felssturz verändert / prägt ein Bergsturz durch seine Dimension die Landschaft nachhaltig; BUNZA (1982) abstürzendes Gesteinsmaterial über 10.000m³, durch intensive Wechselwirkungen der Komponenten beim Sturzvorgang gekennzeichnet; BOLLINGER et al., 1992; KIENHOLZ, 1996;

Anbruch¹ aus rotationsförmiger Gleitung² in veränderlich-festen und leicht verwitternden³, stark durchtrennten Festgesteinen⁴ oder Lockergesteinen⁵ bzw. Anbruch⁶ aus translationsförmiger Gleitung in Fest-⁷ und Lockergesteinen⁸:

¹ muschelförmige Gleitfläche;

² ZISCHINSKY, 1967;

³ z.B.: KEIL, 1963, EINSELE et al. 1985;

⁴ MÜLLER 1963a, 1963b;

⁵ Rutschung, Gleitung, bei der sich die Gleitfläche erst am Beginn der Bewegung bildet, tritt vor allem in "homogenem" Lockermaterial auf; VEDER, 1979; BUNZA, 1982

⁶ +/- ebene Gleitfläche;

⁷ Gleitung im Sinne ZISCHINSKY's (1967) an bestehenden Trennflächen;

⁸ Rutschungen, Gleitungen an einer oder mehreren vor dem Ereignis bereits bestehenden morphologischen Anisotropien, welche auch mechanisch als solche wirken ZISCHINSKY, 1967; MÜLLER, 1963; BUNZA, 1982;

Bergzerreißung ¹ - ausgeprägte Spalten und Spaltensysteme in Fels- ² und Lockergestein ³; Sackung ⁴; Ablsezonen solcher Prozesse:

¹ Folgeerscheinungen von Systemen „Hart auf Weich“ - POISEL & EPPENSTEINER, 1988a, b, 1989;

² Bewegungsrate nimmt mit zunehmender Tiefe (Mächtigkeit) allmählich ab, Auflösung in Türme; AMPFERER, 1939,1940;

³ stehen in Lockergesteinen meist senkrecht und reichen nach TERZAGHI (1950) [in: BUNZA, 1982] maximal bis auf die Hälfte der Böschungshöhe hinab, sofern sie nicht durch das bestehende Flächengefüge beeinflußt werden; Bewegungsrate nimmt mit zunehmender Tiefe ab;

⁴ ZISCHINSKY, 1967

Kriech- ¹ und/ oder Fließ- ² -körper ³, in Locker- und / oder Festgestein ⁴
(Talzuschubsmasse - seitliche und untere Umgrenzung):

¹ langsames, unmerkliches, steifplastisches Fließen von Felsmassen / plastisches Fließen von Gesteinsschutt, Boden oder gemischten Lockermassen, Bruchfestigkeit des Materials nicht überschreitend; BUNZA, 1982;

² mehr oder weniger mig schnelle, direkt wahrnehmbare Bewegung von weichplastischen Massen, losem Gesteinsschutt oder Boden unter Einfluß der Gravitation mit mehr oder weniger hohem Wassergehalt über innere Verformung - Fließen i.e.S.; Übergänge oft mit Konsistenznderungen verbunden; BUNZA 1982; LAATSCH & GROTTENTHALER 1972; HAEFELI 1954; ACKERMANN, 1950;

³ wenn Kriechmasse an Hangeinschnitte /-mulden gebunden - Erd- / Schuttstrom (nach Hauptlockergesteinstypen; BUNZA, 1982)

⁴ tiefgreifende, langsame, differenzierte Nachbschung (Bruchflieen) des Großteils bzw. der Talflanke, ungefähre Umgrenzung; AMPFERER, 1939,1940; STINI, 1941,1942; ZISCHINSKY, 1967,1969a, 1969b; BUNZA, 1982; BRÜCKL & SCHEIDEGGER, 1972; MÜLLER, 1960, 1963a;

Uferanbruch ¹, Feilenanbruch ², Rinnenanbruch ³:

¹ aus Tiefen- und / oder Seitenerosion resultierende Anbruchsform; die Masse ist durch das Gerinne abtransportiert worden;

² Summenlinie der Uferanbrüche;

³ bei periodischer Wasserführung - Rinnenanbruch, BUNZA 1975

Schnee- und Lawinenschurf:

zumeist seichtgründiger Abtrag als Folge des Abgehens von Grundsneebrettern und Grundlawinen

Sturz-, Gleit-, Rutsch-¹, Murbahn²:

¹ Transmissions- und Erosionsstrecke, vermittelt zwischen Anbruchsform und Ablagerung

² durch die Schubkraft der Muren entsteht auf Transmissionsstrecke zwischen Anbruch und Ablagerung trogförmiger "Murkanal", Tiefgang in Abhängigkeit von Steilheit und Wassermenge (MAULL, 1958); Schurf durch Muren aufgrund von hohen Geschwindigkeiten auch nach Durchbrüchen von Verklausungen (LAATSCH & GROTTENTHALER, 1972) in BUNZA 1982;

3.2.2 Akkumulation:

Hangschuttkegel, Schutthalde:

Produkt aus dem Vorgang Stürzen

Blockschutt, Toma:

aus Fels- / Bergsturz; häufig treten Blockkomponenten auf, beim plötzlichen Stillstand bilden sich vor allem bei größeren Sturzmassen (im Unterschied zu Einzelsturzböcken) oft Hügelformen im Sinne einer Toma-Landschaft

Rutschmasse:

Ablagerungen der verschiedenen Rutsch- bzw. Gleitvorgängen

fluviatile Ablagerungen:

aus dem Vorgang Massentransport mit Wasser als Medium abgelagertes Material

Murmaterial:

Ablagerungen von Muren, murartigen, hyperkonzentrierten Abflüssen, Dichteströmen - RICKENMANN, 1990; HÜBL, 1995, im Grenzbereich von Massenbewegung zu Massenschurf (quasiviskoses Fließen) STINI, 1910; BUNZA, 1982; auch Murkegel, Murkopf; auf Erosionsrinnen darunter achten!

3.2.3 Allgemeine Morphologie

Abflußlose Senke

Rinne, allgemein

Karst-Einsturztrichter

Sub-, hochalpiner Karst

Buckelfläche

Kar / Karschwelle

Wall, Rücken

Geländekante

Hangneigung

Windwurf

3.2.4 Anthropogene Formen

Verbauungen

Planie

Anschnitt / Abbaue

Schüttung / Halde

Starke Beweidung / Viehtritt

3.3 Literaturverzeichnis

ACKERMANN E.: Quickerden und Fließbewegungen bei Erdrutschen. - Z. d. Dt. Geol. Ges., Bd. 100, S.427-466, Stuttgart 1950.

AMPFERER O.: Über einige Formen der Bergzerreißung. - Sitz.-Ber. Akad. d. Wiss., 149, 51, Wien 1939.

AMPFERER O.: Zum weiteren Ausbau der Lehre von den Bergzerreißungen. - Sitz.-Ber. Akad. d. Wiss. Wien, Abt.I, 149, 1.u.2.H., S.51-70, Wien 1940.

BRÜCKL E. & SCHEIDEGGER A. E.: The Rheology of Spatially Continuous Mass Creep in Rock. - Rock Mechanics 4, S.237-250, Wien 1972.

BWW & BUWAL: Naturgefahren - Empfehlungen - Symbolkasten zur Kartierung der Phänomene - Ausgabe 1995. - Mitteilungen des Bundesamtes für Wasserwirtschaft Nr. 6 (KIENHOLZ H. & KRUMMENACHER B.), Bern 1995.

BMLF – FORSTTECHNISCHER DIENST F. WILDBACH- U. LAWINEN-VERBAUUNG - GEOLOGISCHE STELLE: Generelle Legende für Geomorphologische Kartierungen des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung in Österreich (SÖNSER Th. & WANKER W.), Innsbruck 1997/98.

BUNZA G. & KARL J.: Erläuterungen zur hydrographisch - morphologischen Karte der Bayerischen Alpen 1:25 000. - Bayerisches Landesamt f. Wasserwirtschaft, Sonderheft, 68 S., 64 Abb., 5 Ktn., München 1975.

BUNZA G.: Systematik und Analyse alpiner Massenbewegungen. - [in:] BUNZA G., KARL J., MANGELSDORF J. & SIMMERSBACH P.: Geologisch - morphologische Grundlagen der Wildbachkunde. - Schriftenreihe d.Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft, Heft 17, S.1-84, München 1982.

BUNZA G.: Die Erfassung des aktuellen Abtragsgeschehens mit Hilfe geomorpholo-

- gischer Kartierungen von potentiellen Gefahrenräumen. - Int. Symp. Interpraevent Bern, Bd. 6, S.213-236, Bern 1992a.
- BUNZA G., LÖHMANNSRÖBEN R. & SCHAUER Th.: Erfassung und Darstellung des Gefährdungspotentials durch Oberflächenabfluß und Abtrag in einem Wildbacheinzugsgebiet (Hirschbach / Hindelang). - Int. Symp. Interpraevent Bern, Bd. 6, S.273-276, 8 Ktn., Bern 1992b.
- BUNZA G., JÜRGING P., LÖHMANNSRÖBEN R., SCHAUER Th. & ZIEGLER R.: Abfluß- und Abtragsprozesse in Wildbacheinzugsgebieten. Grundlagen zum integralen Wildbachschutz. - Schriftenreihe Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft, H. 27, 90 S., 100 Abb., München 1996.
- BOLLINGER D., NOVERRAZ F. & TRIPET J.-P.: Die kartographische Darstellung der Bodenbewegungsgefahren als Planungsgrundlage: Ein Beitrag zur Vereinheitlichung der Gefahrenaufnahmen in der Schweiz. - Int. Symp. Interpraevent Bern, Bd. 3, S.191-200, Bern 1992.
- DIN 19663 - WILDBACHVERBAUUNG - Begriffe, Planung und Bau. - Normenausschuß Wasserwesen im Deutschen Institut für Normung, 27 S., Beuth Verlag GmbH, Berlin 1985.
- EINSELE G., HEITFELD K.-H., LEMPP Ch. & SCHETELIG K.: Auflockerung und Verwitterung in der Ingenieurgeologie: Übersicht, Feldansprache, Klassifikation (Verwitterungsprofile) - Einleitender Beitrag. - [in:] Ingenieurgeologische Probleme im Grenzbereich zwischen Locker- und Festgesteinen. - [Hrsg.:] HEITFELD K.-H., S.2-23, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1985.
- GEO-BYTE (Gesellschaft für Analyse, Simulation und Modellierung georelevanter Daten GmbH, Nonntaler Hauptstr. 64, A-5020 Salzburg): NORMBOHR, das Programmsystem zur Bohrungsarchivierung und Darstellung von Bohrprofilen nach ÖNORM, Vers. 1.1, 1999.
- HAEFELI R.: Zum progressiven Bruch im Schnee, Boden, Fels und Eis. - Felsmechanik und Ing.-Geologie, Vol. V/1, S.17-37, Wien 1967.
- HÜBL H.: Muren: Prozesse und Ablagerungsformen - Bedeutung für die Gefahrenzonenplanung. - unveröff. Diss. 211 S., BoKu Wien 1995.
- KEIL K.: Grundlegende Eigenschaften der Fels- und Festgesteine: Kriterien und Beispiele. - Felsmechanik und Ing.-Geologie Vol I/H.3-4, S.206-213, 1963.
- KIENHOLZ H.: Gefahrenkarten: Maßgeblichen Parameter und Kriterien zur Festlegung von Intensitäten. - Int. Symp. Interpraevent Bern, Bd. 3, S.47-58, Garmisch-Partenkirchen 1996.
- LAATSCH W. & GROTTENTHALER W.: Typen der Massenverlagerung in den Alpen und ihre Klassifikation. - Forstwissensch. Centralblatt, 91.Jg., H.6, 309-339, 1972.
- MAULL O.: Handbuch der Geomorphologie. - Wien 1958.
- MOSER M.: Hangstabilitäten; Klassifikation - Kartierung - Prognose. - Seminarunterlagen zum Int. Symp. Interpraevent, Garmisch 1996.
- MÜLLER L.: Brechen und Fließen in der geologischen und mechanischen Terminologie. - Geologie und Bauwesen, Jg.25, H.1, S.218-227, Wien 1960.

- MÜLLER L.: Die Standfestigkeit von Felsböschungen als spezifisch geomechanische Aufgabe. - Felsmechanik und Ing.-Geologie, Vol.I/1, S.50-71, Wien 1963a.
- MÜLLER L.: Der Felsbau. - Bd.1, 624 S., 307 Abb., 22 Taf., Enke Verlag, Stuttgart 1963b.
- POISEL R. & EPPENSTEINER W.: A contribution to the systematics of rock mass movements. - LANDSLIDES - Proceedings of the fifth Intern. Symp. on Landslides, p. 1353-1357, Lausanne 1988a.
- POISEL R. & EPPENSTEINER W.: Gang und Gehwerk einer Massenbewegung Teil 1: Geomechanik des Systems „Hart auf Weich“. - Felsbau 6 (1988), Nr.4, S. 189-194, Glückauf-Verlag Essen 1988b.
- POISEL R. & EPPENSTEINER W.: Gang und Gehwerk einer Massenbewegung Teil 2: Massenbewegungen am Rand des Systems „Hart auf Weich“. - Felsbau 7 (1989), Nr.1, S. 16-20, Glückauf-Verlag Essen 1989.
- RICKENMANN, D.: Bedload transport capacity of slurry flows at steep slopes. - Mitt. VAW 103, 249 S., ETH Zürich 1990.
- SÖNSER T. & WANKER W.: Prozessorientiert digitale Bearbeitung von Wildbach-einzugsgebieten – Integration von Daten des Geoinventars für die räumliche und zeitliche Modellierung bei Wildbachprozessen – Erdwissenschaftliche Aspekte des Umweltschutzes, Tagungsband zur 4. Arbeitstagung des Bereiches Umwelt, Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal, 1998.
- STINI J.: Die Muren. - Versuch einer Monographie mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in den Tiroler Alpen. - 139 S., Wagner'scher Universitätsverlag, Innsbruck 1910.
- STINI J.: Unsere Täler wachsen zu. - Geologie und Bauwesen, Jg.13, H.3, S.71-79, Wien 1941.
- STINI J.: Nochmals der Talzusub. - Geologie und Bauwesen, Jg.14, S.10-14, Wien 1942.
- STINI J.: Neuere Ansichten über „Bodenbewegungen“ und über ihre Beherrschung durch den Ingenieur. - Geologie und Bauwesen, Jg. 19, S. 31-54, Wien 1952.
- VEDER Ch.: Rutschungen und ihre Sanierung. Mit Beiträgen von Fritz HILBERT. - 231 S., 116 Abb., Springer-Verlag, Wien 1979.
- VINKEN R. Darstellungsverfahren. - [in:] BENDER F. [Hrsg.]: Angewandte Geowissenschaften. Bd.1, Kap. 1.3, S.42ff, Enke-Verlag Stuttgart 1981.
- VOSS H., MORGENSTERN D: Interoperable Geowissenschaftliche Informationssysteme (IOGIS). - Geo-Informationssysteme, Jg. 10, H. 6, S 5-8, Wichmann, Heidelberg 1997.
- ZISCHINSKY U.: Bewegungsbilder instabiler Talflanken. - Mitt.Ges.Geol.Bergbaustud., 17.Bd., S.127-168, 7 Abb., 7 Taf., Wien 1967.
- ZISCHINSKY U.: Über Sackungen. - Rock Mechanics Vol.1, S.30-52, Wien 1969a.
- ZISCHINSKY U.: Über Bergzerreißung und Talzusub. - Geol.Rdsch., Bd.58, H.3, S.974-983, Stuttgart 1969b.

4 ZUSAMMENFASSUNG

Das im Zuge des Felsüberwachungsprojektes am Eiblschrofen entwickelte System „ALARM“ zeichnet sich durch die große Reichweite von bis zu 2000m sowie den hohen Automatisierungsgrad aus. Dies ermöglicht den Einsatz in Bereichen die unzugänglich sind und/oder innerhalb eines Gefahrenbereichs liegen. So kann die Erfassung großer Datenmengen mit geringstem Personalaufwand realisiert werden. Die Auswertung und Interpretation der Daten erfordert trotz der einfach handzuhabenden Werkzeuge jedoch ein hohes Maß an Verständnis für die Prozesse, die zur Veränderung von Meßflächen führen.

Das hier vorgestellte System „ALARM“ ist in der Lage, den relativ großen Meßfehler des als geotechnisches Meßsystem eingesetzten Laserscanners soweit zu reduzieren, daß die Erfassung von Bewegungsgeschwindigkeiten von rund 1cm/Woche und größer ermöglicht wird.

Die Vermessung von steilen Hangflanken zur Erstellung von Oberflächenmodellen stellt eine weitere Anwendungsmöglichkeit dar, die zur Berechnung von Differenzvolumina nach Abbrüchen, Schneefall, Windverfrachtung oder einem Lawinenabgang verwendet wird.

Trotz der kurzen Entwicklungszeit dieser Anwendung ist somit ein relativ großer Schritt in der Entwicklung eines alternativen geotechnischen Meßverfahrens gelungen. In weiteren, bereits laufenden Entwicklungsprojekten sollen die Basiskomponenten (Lasersensor, Signalverarbeitungsmethoden) sowie die dazugehörigen Softwareteile verbessert werden.

Die „Generelle Legende für Geologisch – geomorphologisch - hydrogeologische Kartierungen“ ist Beispiel einer standardisierten Basisdatenbearbeitung, die in Zusammenarbeit mit der „Geologischen Stelle des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung“ im Vorfeld eines digitalen Wildbach- und Lawinenkatasters (WLK) in Österreich auf Basis bestehender Kartierungsgrundlagen erstellt wurde.

Bearbeitungsschwerpunkt ist dabei der Themenbereich Geomorphologie und Georisiko. Letztlich werden alle relevanten „Geo-Objekte“ mit ihren Eigenschaften (räumliche Verteilung, Gestalt, Form, Ausbildung) und deren Veränderung im Laufe der Zeit (Kinematik, Dynamik) erfaßt, verarbeitet und bewertet. Wesentlich dabei ist, sämtliche Redundanzen im beobachteten Raum und innerhalb der untersuchten Themenbereiche auszuschalten. Der ursprünglich vorliegende Kartierungsschlüssel für die geomorphologischen Untersuchungen von Wildbacheinzugsgebieten mußte inhaltlich im Sinne einer „Prozeßbereinigung“ neu strukturiert werden. Die überarbeitete Datenstruktur wird einer streng hierarchischen Gliederung unterzogen, wobei die Möglichkeit einer Erweiterung um einzelne Inhalte oder einer zusätzlichen Untergliederung gegeben ist. Aufgrund der – soweit möglich – systemneutralen Vorgaben wird eine breite Akzeptanz und somit die Einführung als Standard gewährleistet.

In einer zweiten Entwicklungsphase ist vorgesehen, aufbauend auf den bisherigen Erfahrungen in der Handhabung – sowohl vor-Ort als auch in der weiteren Datenverarbeitung – die methodischen Umsetzungen zu optimieren. Eine weitere Entwicklung wird die strukturelle Anpassung und Layout-Abstimmung der Inhalte auf Fragestellungen in den Maßstäben 1:2.000 bis 1:20.000 sein.

Autoren:

Mag. Manfred SCHEIKL

Mag. Willi WANKER

Mag. Dr. Gerhard POSCHER

ILF Beratende Ingenieure

Gruppe Georisikomanagement – Alpintechnologie

A-6020 Innsbruck, Framsweg 16

Tel. 0512-2412-0*