

Geogene Faktoren bei der Kausalanalyse dynamischer Hangprozesse

G. BUNZA

1. Einleitung

Am Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft, München, läuft seit 1992 ein Entwicklungsvorhaben mit dem Titel "Integrales Wildbachschutzkonzept". Es ist zusammen mit anderen Forschungsprojekten im 10-Jahres Programm "Wildbäche und Lawinen - Programm 2000" am Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen angesiedelt.

Dieses Projekt soll vornehmlich dazu beitragen, Wildbachgefährdungen, die durch Massenbewegungen und Oberflächenabfluß verursacht werden können, möglichst frühzeitig zu erkennen, um dadurch eine Grundlage für Schutz- und Sanierungsmaßnahmen zu schaffen.

Um dieses Ziel jedoch überhaupt erreichen zu können, müssen zunächst die maßgeblichen Kriterien erarbeitet werden, die für das Auftreten dynamischer Hangprozesse, also von Massenbewegungen, und des Oberflächenabflusses verantwortlich sind.

Die Ursachen und Auslözungsfaktoren dynamischer Hangprozesse sind zwar weitgehend bekannt, wobei es gerade über die Einflüsse geologischer Ursachen und Abhängigkeiten aus Einzeluntersuchungen z.T. gute Unterlagen gibt. Klare Erkenntnisse über Zusammenhänge und gegenseitige Abhängigkeiten der geogenen aber auch biogenen Faktoren fehlen jedoch gerade in Wildbachgebieten bzw. Wildbachsystemen weitgehend.

In dem genannten Projekt soll deshalb dieses Wissen um die erwähnten Zusammenhänge, die für das Auftreten von Massenbewegungen und des Oberflächenabflusses verantwortlich sind, mittels der Kausalanalyse fundiert und um zahlreiche Erkenntnisse erweitert werden.

2. Maßgebliche Gründe für die Initiierung des Projekts

2.1 Naturräumliche Faktoren und Zusammenhänge

Der Alpenraum ist sowohl in stofflicher Hinsicht als auch aufgrund der tektonischen Strukturen sehr labil.

Geologie und Tektonik sind daher wie bekannt die Primärfaktoren hangdynamischer Prozesse.

Hauptauslösefaktor der Massenbewegungen ist das Wasser.

Massenbewegungen und die Wildbachtätigkeit stehen vielfach in engem Zusammenhang.

Einerseits liefern dynamische Hangprozesse u.U. bedeutende Feststoffe für die Wildbäche, andererseits bestimmt der Abfluß aus dem Einzugsgebiet den Geschiebetransport. Darüber hinaus werden über den Versickerungsanteil aus dem Oberflächenabfluß durch die Bildung von Drucken oder über den Abfluß im Wildbach durch Hangunterschneidungen Massenbewegungen oft wesentlich mitverursacht. Diese Erkenntnis, die sicherlich nicht neu ist, gewinnt jedoch infolge der zunehmenden Belastung des Alpenraumes durch Umwelteinflüsse und vielfältigen Nutzungsdruck (siehe 2.3) an Bedeutung, sodaß dieser Zusammenhang wesentlich zur Initiierung des Projektes beitrug.

2.2 Objektgefährdung

Das Gefahrenpotential eines Wildbaches setzt sich aus Abtrag und Abfluß zusammen. Beide Phänomene und das daraus resultierende mögliche Wildbacheignis sind natürliche Vorgänge, die keine "Gefahr" verursachen oder eine "Gefährdung" bedeuten. Eine solche ergibt sich erst durch die Überschneidung von menschlichen Interessensräumen mit dem Wirkungsbereich der erwähnten Prozesse.

Eine Überprüfung aller Wildbäche in den bayerischen Alpen ergab, daß insgesamt 447 Objekte unter den derzeitigen Verhältnissen durch Wildbäche gefährdet sind (OBERSTE BAUBEHÖRDE IM BAYER. STAATSMINISTERIUM DES INNEREN, 1992).

Unter Berücksichtigung der unter 2.3 genannten Einflüsse gewinnt auch dieser Grund zusätzlich an Bedeutung.

2.3 Anthropogene Faktoren und zukünftige Entwicklung

Hier sind vorrangig die regional und global wirkenden Komponenten Klimaänderung und das Wald- und Bodensterben zu nennen.

Zur Zeit sind etwa 60% des bayerischen Bergwaldes durch klimawirksame Gase geschädigt. Zusätzlich haben sich die Wirbelstürme und die Schädigungen durch den Borkenkäfer in den letzten Jahren auf den Zustand der Bergwälder verheerend ausgewirkt. Als Folge der zunehmenden Immissionen von Schwefel- und Stickstoffverbindungen und anderer anthropogener Belastungen nehmen auch die Bodendegradationen zu.

IPPC-Daten belegen eine globale Klimaveränderung, deren eindeutige Erkennung jedoch erst in 10-20 Jahren möglich sein wird (SIEGENTHALER, 1990). Die Klimastation der Fraunhofer Gesellschaft geht jedoch davon aus, daß im Bergland zukünftig mit häufigeren Gewittern im Sommer und mit nassen Wintern zu rechnen ist.

HAEBERLI von der ETH-Zürich beschreibt die Auswirkungen der Klimaveränderungen recht deutlich. So hat im Engadin (Schafberg bei Pontresina) zwischen 1987 und 1992 die Temperatur in den dortigen Permafrostgebieten dermaßen drastisch zugenommen ($0,5^{\circ}\text{C}$), daß es bereits zu Murabgängen und Rutschungen gekommen ist, wobei vorsorglich die Bevölkerung evakuiert werden mußte. Derzeit ist die Geschwindigkeit des Temperaturanstieges zehnmal so hoch wie im vergangenen Jahrhundert (HAEBERLI, 1973, 1990). Als Folge dieser Einflüsse ist in alpinen Wildbachgebieten zukünftig mit erhöhten Oberflächenabflüssen und mit einer erhöhten Bereitschaft zu Massenbewegungen zu rechnen.

Ergänzend kommt hinzu, daß an den alpinen Raum in zunehmendem Maße anthropogene Nutzungsansprüche gestellt werden, die wiederum mit höheren Schutzansprüchen verbunden sind.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß die genannten Einflüsse und Phänomene zukünftig neben der vermehrten direkten Gefährdung von Siedlungsflächen und infrastrukturell erschlossenen Räumen durch gravitative Hangbewegungen auch eine erhöhte Bereitschaft zur Bereitstellung von Feststoffen durch eben diese Prozesse in Wildbachgebieten erwarten lassen.

Eine vermehrte Schadensbildung und eine überproportionale Erhöhung des Schadenspotentials wären die Folgen.

D.h. aus dem direkten Zusammenhang zwischen den erwähnten Einflüssen und der geologisch induzierten Stabilität oder Instabilität von Hangflanken sowie den damit verbundenen höheren Schutzansprüchen wurde das Forschungsprojekt "Integrales Wildbachschutzkonzept" initiiert.

3. Das "Integrale Wildbachschutzkonzept"

3.1 Zur Wahl des Forschungsansatzes

Abtrag und Abfluß und die daraus resultierende Wildbachtätigkeit können nicht als isolierte naturräumliche Phänomene aufgefaßt werden. Sie sind in hohem Maße von Faktoren abhängig, die durch eine auf den Bach beschränkte - also linienhafte - Betrachtung nicht erkannt werden können.

Die Analyse des Abtrags- und Abflußgeschehens muß sich auf das gesamte topographische und geologische Einzugsgebiet ausdehnen, wobei systemanalytisch im Sinne von VESTER (1980) und interdisziplinär vorgegangen werden muß.

Dieser Forschungsansatz soll es ermöglichen, die Zusammenhänge zwischen den systemimmanenten Faktoren Geologie, Tektonik, Geomorphologie, Boden und Vegetation sowie den externen Faktoren wie Abfluß (Klima) und anthropogene Einflüsse, die zur erhöhten Instabilität des Systems führen, zu erkennen und zu deuten.

3.2 Grundlagen (s. Tab. 1)

Grundlagen des Projekts waren in einem ersten Schritt umfassende Erhebungen zu den das Abtrags- und Abflußgeschehen bestimmenden geo- und biogenen Faktoren. Diese Erhebungen wurden in 23 für den bayerischen Alpenraum weitgehend im Hinblick auf die Geologie, den Wildbachcharakter, das Abtragsgeschehen, die Vegetation und die Nutzung repräsentativen Wildbacheinzugsgebieten durchgeführt.

In ihnen wurden Kartierungen (Maßstab 1:5000) und Erhebungen zu Geologie, Geomorphologie (Abtragsgeschehen), Boden und Vegetation vorgenommen.

Im Bereich der Geologie erfolgten Aufschlußkartierungen, wobei zusätzlich zum Anstehenden das Subanstehende unter nur geringer Schutt- und Hanglehmbedeckung und das Vermutet Anstehende ausgeschieden wurden. Bei letzterem liegen die Gesteinsserien unter mächtigeren Lockergesteinsablagerungen, wobei jedoch nicht mit ausgedehnten lithographischen Wechseln zu rechnen ist.

Darüber hinaus wurden Berichte angefertigt, in denen besonders auf Faktoren wie Gesteinsausbildung und die tektonischen Verhältnisse eingegangen wird. Zusätzlich erfolgten noch jeweils Luftbildlineamentauswertungen.

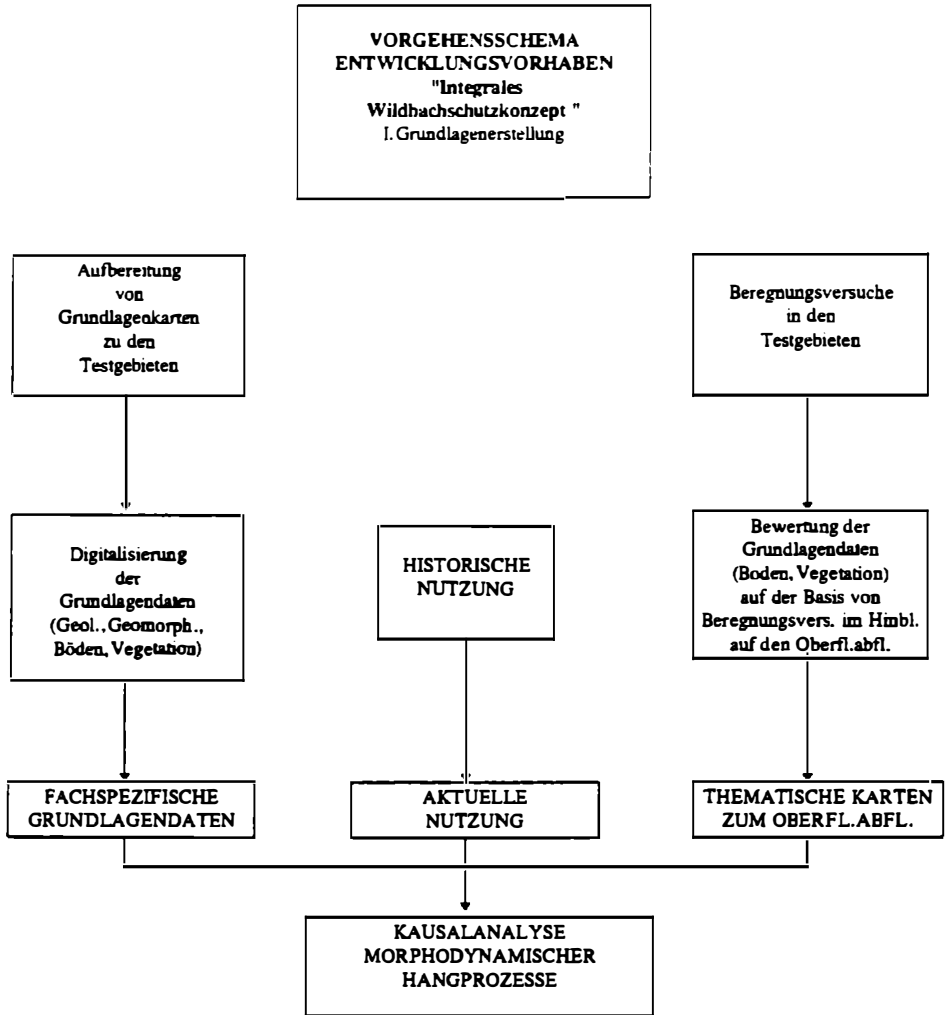
Die geologische Kartierung richtete sich nach der heutzutage üblichen stratigraphischen Gliederung. In anderen Fachbereichen wurden eigene Legenden entworfen, wobei sich diese jedoch an gebräuchliche Systematiken anlehnen.

Die Erhebungen wurden teils in Eigenregie durchgeführt, zum größeren Teil wurden sie jedoch in Werkverträgen vergeben. Sie sind in allen 23 Testgebieten abgeschlossen.

Die Karten werden digitalisiert und vielfach in einzelne Bearbeitungsebenen zerlegt, um später mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (Arc Info) auch computergestützt analytisch tätig werden zu können.

In einer zweiten Schiene werden Aufnahmen zur historischen und aktuellen Nutzung vorgenommen, die vor allem später helfen sollen, die davon ausgehenden Einflüsse auf die Morphodynamik zu klären.

Auf einer dritten Ebene wird dem Abflußverhalten der verschiedenen Standorte bei Starkregenereignissen mit Hilfe künstlicher Beregnungsversuche nachgegangen. Die Ergebnisse aus diesen Versuchen liefern Erkenntnisse über abflußwirksame und abflußhemmende natürliche und anthropogene Standortfaktoren.



Tab. 1: Schema der Grundlagenerstellung, gegliedert in drei Erhebungsbereiche, als erster Schritt zur Kausalanalyse hin.

D.h. es sind einerseits Aussagen über die Menge und das zeitliche Eintreten von Oberflächenabfluß und Abtrag in Abhängigkeit von den örtlichen Geo- und Biofaktoren sowie eventueller Nutzungseinflüsse möglich, andererseits wird die Ausweisung von Flächen mit hohem Wasseraufnahmevermögen im Hinblick auf die Gefahrenabschätzung durch Massenbewegungen erleichtert.

Ergebnisse aus rund 240 Versuchen im Gebirge ermöglichen bereits jetzt, einzelne Vegetations- und Bodenkarten zum Fragenkomplex "Oberflächenabfluß und Infiltration" zu interpretieren und zu Abflußkarten zu synthetisieren.

3.3 Die Kausalanalyse (s. Tab. 2)

Der zweite Entwicklungsschritt besteht in einer dreiegegliederten Kausalanalyse, der die Karten des Abtragsgeschehen zugrunde gelegt werden.

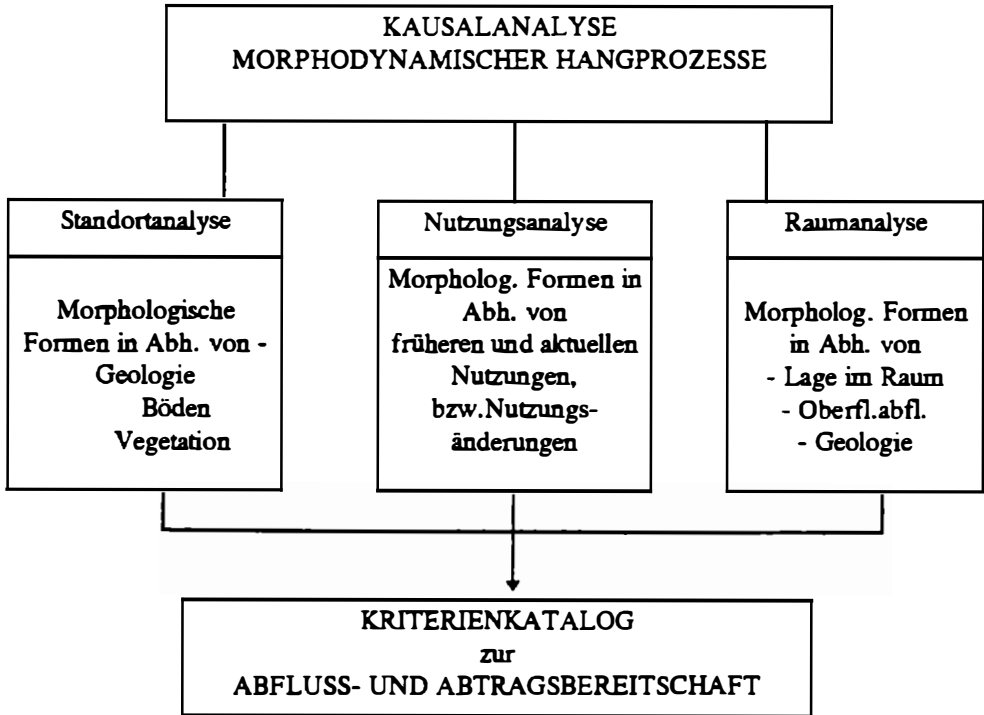
Diese Karten werden mit den jeweils entsprechenden geologischen, boden- und vegetationskundlichen sowie Nutzungs- und Abflußkarten der Testgebiete überlagert. Danach werden z.T. GIS-unterstützte Analysen in den oben angeführten Bearbeitungsebenen durchgeführt, wobei im Folgenden auf die Analyse geologischer Faktoren näher eingegangen werden soll.

Die Analyse der systemaren Prozesse unter den derzeitigen Verhältnissen ist zwingende Voraussetzung für die Beurteilung und Abschätzung des Gefahrenpotentials und der zukünftig möglichen Wildbachgefahren.

Darüber hinaus treten morphodynamische Hangprozesse nicht wahllos verstreut auf und laufen nicht willkürlich ab. Ihre Entstehungsorte sind vielmehr an gewisse Zonen oder Standorte gebunden, die von Natur aus dazu neigen, deren Instabilität zumeist aus geologischer Sicht präformiert ist.

Tab.2 zeigt das Vorgehensschema bei der Kausalanalyse morphodynamischer Hangprozesse.

VORGEHENSWEISE
ENTWICKLUNGSVORHABEN
"Integrales Wildbachschutzkonzept"
II. Kausalanalyse



Tab. 2: Der II. Entwicklungsschritt im "Integralen Wildbachschutzkonzept" beinhaltet eine dreigegliederte Kausalanalyse. Sie soll die Erstellung eines "Kriterienkataloges zur Abfluß- und Abtragsbereitschaft ermöglichen.

3.3.1 Die Standortanalyse

Bei der Standortanalyse erfolgt zunächst eine Überlagerung von rezenten und relikten Abtragsformen in den Testgebieten mit den jeweils dazugehörigen Standortbedingungen.

Für den Bereich Geologie soll dabei geklärt werden, in welchen geologischen Formationen welche Hangprozesse auftreten, welche geotechnischen Eigenschaften dafür relevant waren und wie groß der Einfluß tektonischer Strukturen ist. Im Anschluß daran erfolgt eine Auswertung nach Häufigkeiten bestimmter Standortfaktoren oder -kombinationen mit bestimmten morphologischen Formen.

Wie wichtig die Standortanalyse ist, ergibt sich neben den hinlänglich bedeutungsvollen Daten zur Tektonik und zum Trennflächengefüge auch aus den Gesteinseigenschaften. So haben beispielsweise Untersuchungen in Bändertonen von periglazialen Talverfüllungen gezeigt, daß im Bereich niedriger Wassergehalte eine geringe Wasserzunahme ausreicht, um eine negative Scherfestigkeitsveränderung herbeizuführen (BUNZA, 1992). Solche lakustrinen Ablagerungen sind in den Talverfüllungen der bayerischen Alpen weit verbreitet.

3.3.2 Die Raumanalyse

Die Durchführung einer Raumanalyse ist deshalb notwendig, da für Massenbewegungen nicht nur die standortspezifischen Eigenschaften sondern auch raumwirksame Prozesse verantwortlich sein können. Dabei kommen hier insbesondere die Ursachen Klima bzw. Abfluß und Geologie zum Tragen.

Oberflächenabfluß und Versickerungsvermögen spielen im Abtragsgeschehen eine große Rolle. So wird z.B. vielfach beobachtet, daß Rutschungen von z.T. großflächigem und tiefgründigem Ausmaß in Waldbeständen auf gut durchlässigen Böden auftreten. Ihre Entstehung ist nur z.T. auf Standortfaktoren wie die Materialeigenschaften, dagegen hauptsächlich auf zusätzliche Wassereinträge aus oberen Hangbereichen nach Starkniederschlägen und/oder bei Schneeschmelze zurückzuführen. Letztendlich führen dann hohe Bergwasserdrucke zur Anbruchsbildung (s.Abb.2).

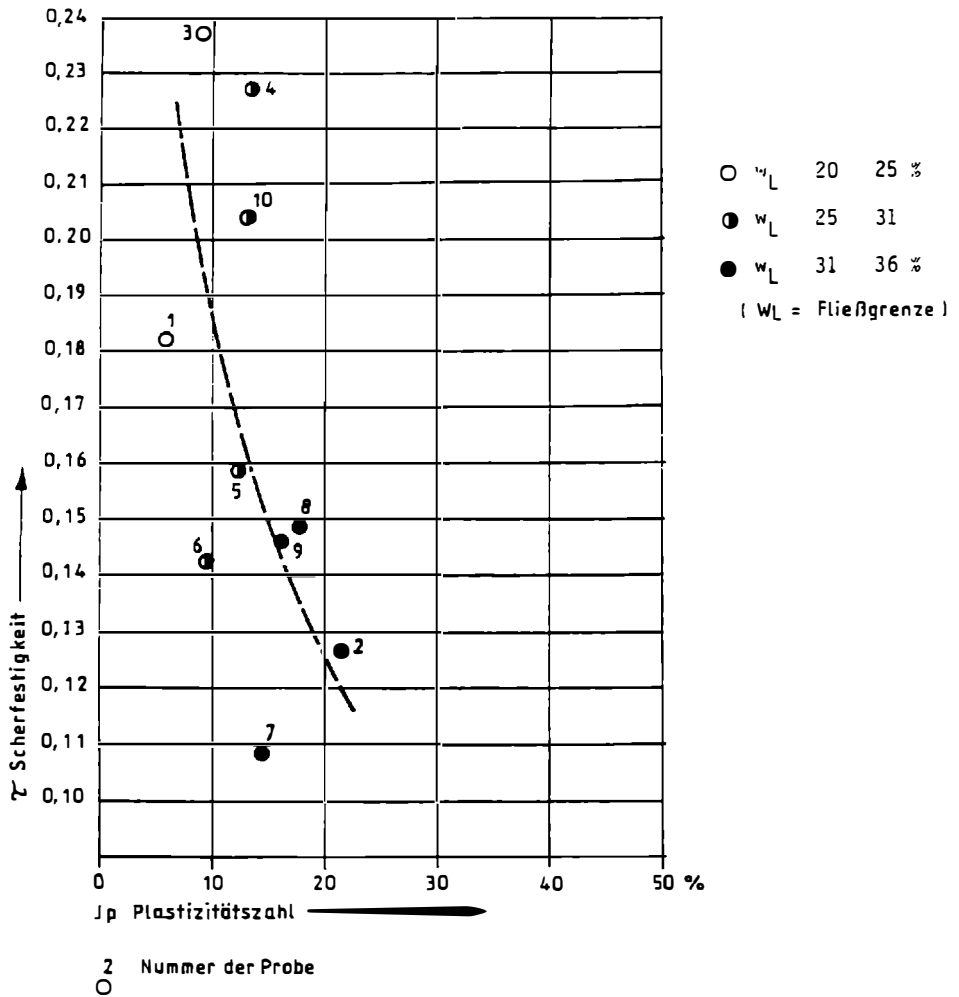


Abb. 1: Beziehungen zwischen der Plastizitätszahl und der Schersfestigkeit in Bändertonproben (n. BUNZA, 1192 S.271, Abb. 107)



Abb. 2: Zusätzliche Wassereinträge aus oberen Hangbereichen führen oftmals in unterliegenden, gut wasseraufnahmefähigen Böschungen zu Rutschungen.

Hier erweist sich insbesondere die Kenntnis um die abflußfördernden und abflußhemmenden Faktoren vor allem des Boden-Vegetationskomplexes, wie sie bei zahlreichen künstlichen Beregnungsversuchen im Gebirge erlangt und vertieft werden konnte (s.BUNZA & SCHAUER,1989), zur Klärung des Abtragsgeschehens, für die Erstellung von Abflußkarten (s.3.3) und für die Planung von Schutzkonzepten als unvergleichlich wichtig.

Bisher 240 Versuche zeigten, daß vor allem extensive Nutzungen, wie Kahlschläge, Beweidung und Tourismus, vielfach zu Profilverkürzungen, Stausohlenbildungen und bei ansteigendem Schluff- und Tongehalt zu Hydromorphierungserscheinungen führen, die erhöhte Oberflächenabflüsse bei Starkregen und in der Folge eine erhöhte Bereitschaft zu Hangbewegungen und letztlich ausgedehnte Rutschungen bedingen können (BUNZA,1992;1993).

Der Einfluß geologisch raumwirksamer Faktoren wie Tektonik und Hydrogeologie ist bekannt und wurde bei zahlreichen Untersuchungen immer wieder bestätigt (s.a. BUNZA, 1992). Insbesondere im Hinblick auf Vorbereitung und Auslösung tiefgründiger, großräumiger Massenbewegungen nehmen die mit der Tektonik verbundene Präformierung von Bewegungsbahnen und -zonen sowie die hydrogeologischen Verhältnisse im gesamten geologischen Einzugsgebiet (z.B. Karstwasser; Wasserwege entlang tektonischer Linien) herausragende Funktionen ein.

Um solche raumwirksamen Einflüsse bei den Untersuchungen zu erfassen, werden die morphologischen Formen in Hanglängenprofilen bzw. ausgewählten Transsekten im Zusammenhang mit der Tektonik, mit Lineamenten, geologischen Profilen, anderen hangdynamischen Prozessen, hydrogeologischen Erscheinungen und dem möglichen Oberflächenabfluß zu analysieren sein.

3.3.3 Die Nutzungsanalyse

Viele morphodynamischen Phänomene sind das Ergebnis aktueller und früherer Nutzungseinflüsse (s.a. VOIGHT, 1978; BUNZA, 1993).

Deshalb wird derzeit die Nutzungsanalyse bei ausgewählten Testgebieten im Kalkalpin, Flysch und Helvetikum durchgeführt. Die Analyse speziell dieses Zusammenhangs wird sich insbesondere im Hinblick auf Nutzungsänderungen in Bezug auf Präventivmaßnahmen als wichtig erweisen.

3.4 Erste Ergebnisse

Bisher wurden für sieben Testgebiete Standortanalysen im Bereich "Geologie" durchgeführt, erste Versuche zur Raumanalyse vorgenommen und für die Nutzungsanalyse Grundlagen erhoben.

Im Folgenden werden erste standortanalytische Ergebnisse aus je einem Einzugsgebiet im Flysch und je einem im Kalkalpin vorgestellt.

In der Flyschzone wurde das Testgebiet "Grasgehren" in den Allgäuer Alpen am Riedbergpaß untersucht. Es ist ca. 1,8 km² groß und nimmt ein zwischen 1430m und 1786m ü. NN gelegenes Kar mit einem ausgedehnten Hochmoorkomplex und der Grasgehren Alpe in seinem Zentrum ein. Das Gebiet wird almwirtschaftlich und touristisch stark genutzt, der Bewaldungsanteil liegt bei 15%.

Der südliche Bereich wird von Gesteinen der Feuerstätter Zone aufgebaut. Vorherrschend

sind dabei Serien der Junghansen Schichten, die in Piesenkopf Fazies mit Sandsteinen auftreten. Untergeordnet finden sich Feuerstätter Sandstein, Bolgenkonglomerat und Rote Gschlif Schichten (s.Abb.3).

Die meist vielfach gefalteten Serien der Feuerstätter Zone streichen allgemein W bis E sowie SW bis NE und fallen teilweise nach N bis NW aber auch S bis SE ein. Abgesehen von den Sandsteinen sind die übrigen Gesteinsserien als Grundwasserstauer wirksam, sodaß nahezu das gesamte Gebiet deutlich vernäßt ist. Oberflächliches Hangkriechen kann vielerorts beobachtet werden.

Die Deckengrenze zum nördlich folgenden, tektonisch hangenden rhenodanubischen Flysch steht nahezu senkrecht. An der Basis stehen Ofterschwanger Schichten an, darüber folgt Reiselberger Sandstein (s.Abb.3). Lokalmoräne findet sich häufig, sie ist jedoch oft von jüngerem Schutt überlagert.

Rein oberflächlich betrachtet vermittelt das Gebiet einen ruhigen, sanften, weitgehend ungestörten Charakter. Bei der Gebietsaufnahme fanden sich jedoch zahlreiche Abtragsformen, sowohl im Fest- als auch im Lockergestein. Die Anbrüche weisen unterschiedliche Größen, zwischen ca. 50m² und 1000m² auf; sie treten ausschließlich auf Hängen mit einem Neigungsbereich um 30° auf. Relikte Formen herrschen gegenüber rezenten vor.

Hervorzuheben sind im Festgestein Sackungen sowie ein Talzuschubbereich, im Lockergestein treten hauptsächlich Rotationsrutschungen sowie kleinere Erd- und Schuttströme auf (s. Abb.3).

Zur Standortanalyse (s.a.ZIEGLER,1994) werden folgende Erhebungen durchgeführt:


- a) Die prozentuale Verteilung von pseudofesten Gesteinen gegenüber festen gibt Auskunft, wie groß die Bereiche sind, in denen aufgrund der Gesteinseigenschaften mit natürlicher, erhöhter Labilität der Hänge zu rechnen ist. Im Falle des Testgebietes Grasgehren trifft dies für 96% der Fläche zu.
- b) Zur Beurteilung der in den jeweiligen Gebieten vorkommenden Gesteinsformationen gegenüber ihrer Anfälligkeit für Massenbewegungen werden Listen mit Daten zur lithologischen Ausbildung und zu den wichtigsten geotechnischen Eigenschaften erhoben. Diese Daten entstammen großteils den Geländeprotokollen, werden jedoch noch durch Literaturlauswertungen und aus Erhebungen in anderen Projekten und Gutachten ergänzt. Sie werden ferner den erhobenen Abtragsprozessen in den verschiedenen Gesteinsserien gegenübergestellt. Dadurch kann festgestellt werden, ob in einer bestimmten Formation oder für ein Gestein die Neigung zu einem bevorzugten Abtragsprozess besteht.
- c) In einem weiteren Schritt werden die kartierten Abtragsprozesse der Tektonik gegenübergestellt; dabei wird versucht, Vorkommen und Art der Massenbewegungen durch die tektonischen Verhältnisse zu deuten. Auch hier werden die Daten den Geländeprotokollen entnommen.

Eine dementsprechende Auswertung für das Testgebiet Grasgehren erbrachte ein bevorzugtes Auftreten von Sackungen im Reiselberger Sandstein.






VEREINFACHTE GEOTECHNISCHE KARTE DES GRASGEHREN- KESSELS, OBERALLGÄU

Legende

Abtragsformen

-   Rotationsanbruch tief (rez./rel.)
-  Rotationsanbr.
flach (relikt)
-  Translationsanbruch (rez.)
-   nicht näher def. Anbruch
(rezent;relikt)
-  Sackung (aktiv)
-   Talzuschub (akt.;pot.akt.)
-  Erd- u. Schuttstrom
(pot. aktiv)
-  Kriech-u./od. Fließ-
bewegung, flach (pot. akt.)
-  Kriech-u./od. Fließ-
körper, flach (pot. akt.)
-   Rutschmasse
-   Rutschbuckel (rez.,relikt)
-   Uferanbruch (rez.,relikt)
-  Schnee- u. Lawinschurf
-  Kar
-  Quellaustritt
-  Nackensee; abflußlose Senke

Geologie

-  Lockergestein, undiff.
-  Hang-, Blockschutt
-  Lokalmoränenwall
- Feuerstätter Zone**
- Fo Junghansen Schichten
- Fb Bolgenkonglomerat
- Fs Feuerstätter Sandstein
- Rhenodanubische Flysch Zone**
- fp Piesenkopf Serie
- fs Reiselsberger Sandstein
- fo Ofterschwanger Sch.
-  Deckengrenze
(vermutet;nachgewiesen)
-  Lineament
(undeutlich; deutlich)

(Kartengrundlagen siehe Schriftenverzeichnis)

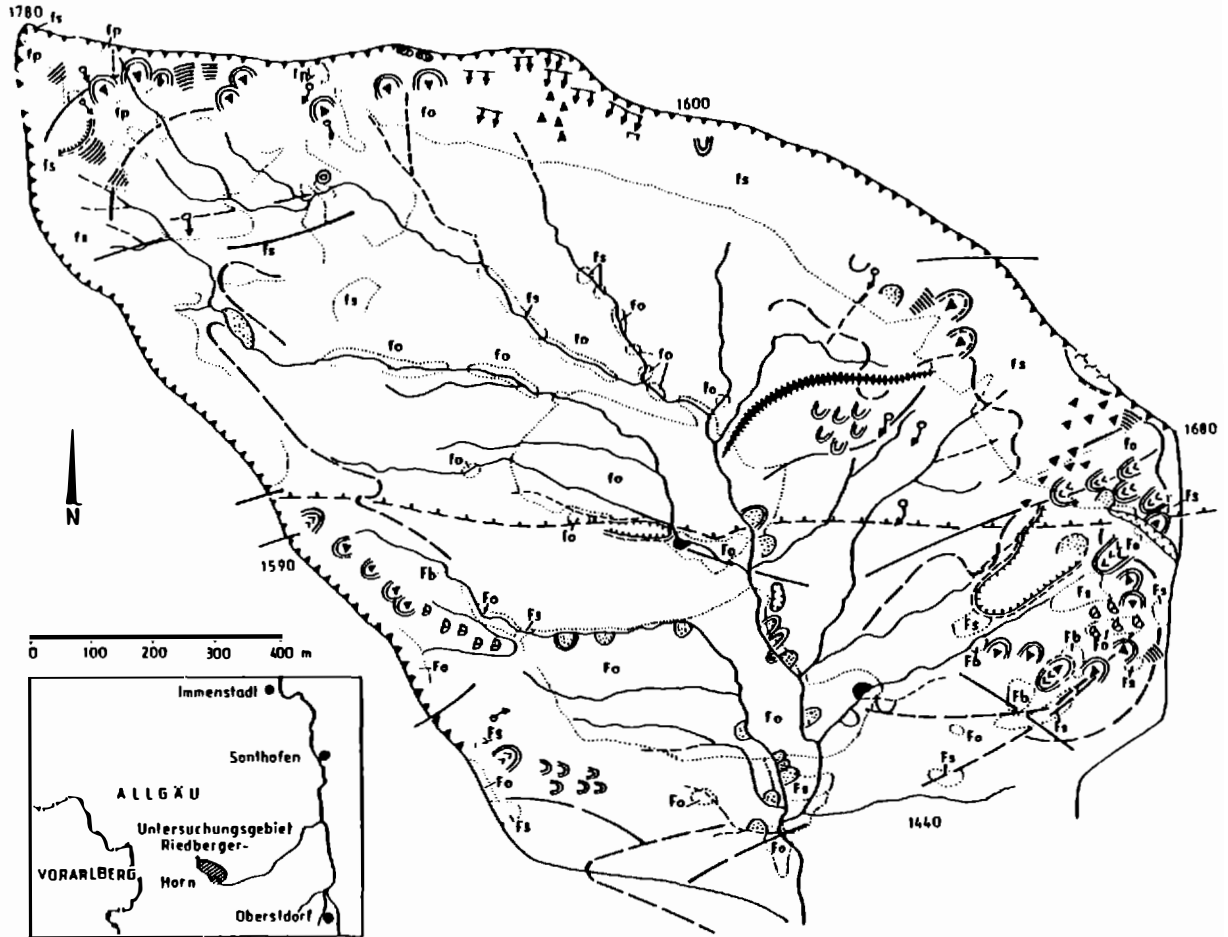


Abb. 3: Geotechnische Karte des Grasgehren Kessels am Riedbergaß (Oberallgäu).

Dies dürfte ursächlich nur bedingt mit seinen Eigenschaften zusammenhängen; vielmehr wird ihr Zustandekommen durch die Lagerung des Sandsteins begünstigt - die Bewegungen verlaufen parallel zum Streichen und Fallen (s. Tab. 3)

Die Luftbildlineamentauswertung zeigt darüber hinaus, daß viele Prozesse auch von Lineamenten mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit beeinflußt werden. So kann dies für zwei Sackungen und zwei Erdströme als sicher gelten (s. Tab. 3).

Für etliche Prozesse dürften Klufflächen verantwortlich sein (s. Tab. 3). Dabei ist es sicherlich ein Manko, daß keine Aufnahmen des Trennflächengefüges gemacht werden konnten. Dies lag an der für Geländeerhebungen zu kurz bemessenen Zeitspanne, wobei erschwerend hinzukam, daß für die Mehrzahl der Testgebiete an sich keine ausreichend genauen geologischen Unterlagen zur Verfügung standen.

Im Kalkalpin wurde das 1,7 km² große Gebiet des Scheibengrabens südwestlich von Bad Wiessee am Tegernsee untersucht.

Das Gebiet gliedert sich in zwei tektonische Einheiten, die unterlagernde Allgäu Decke und die über diese überschobene Lechtal Decke (s. Abb. 4). Innerhalb der Allgäu Decke bestehen deckeninterne Überschiebungen, die Lechtal Decke wird vom Großen Muldenzug aufgebaut und erreicht im Fockenstein als höchsten Punkt des Einzugsgebietes (1564m über NN) eine markante Erhebung. Ca. 1,5 km nördlich des Gebietes streicht die Überschiebung Kalkalpin/Flysch aus.
























Die Gesteine im Untersuchungsgebiet gehören der Tiroler Fazies an, wobei die einzelnen Schichtglieder relativ geringmächtig sind.

Auch im Scheibengraben wurden die vorhin beschriebenen Erhebungen zur Standortanalyse durchgeführt (s. ALTFELD, 1993). Für den Bereich "Lockergesteine i.a." fällt auf, daß insbesondere rotationsförmige Anbrüche ausnahmslos an quartäre Ablagerungen oder an autochthone, tiefgründige Verwitterungsmassen aus veränderlichfesten Gesteinen gebunden sind (s. Abb. 5).

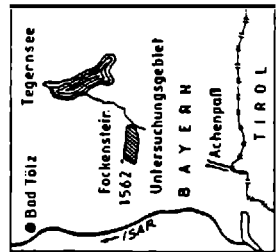
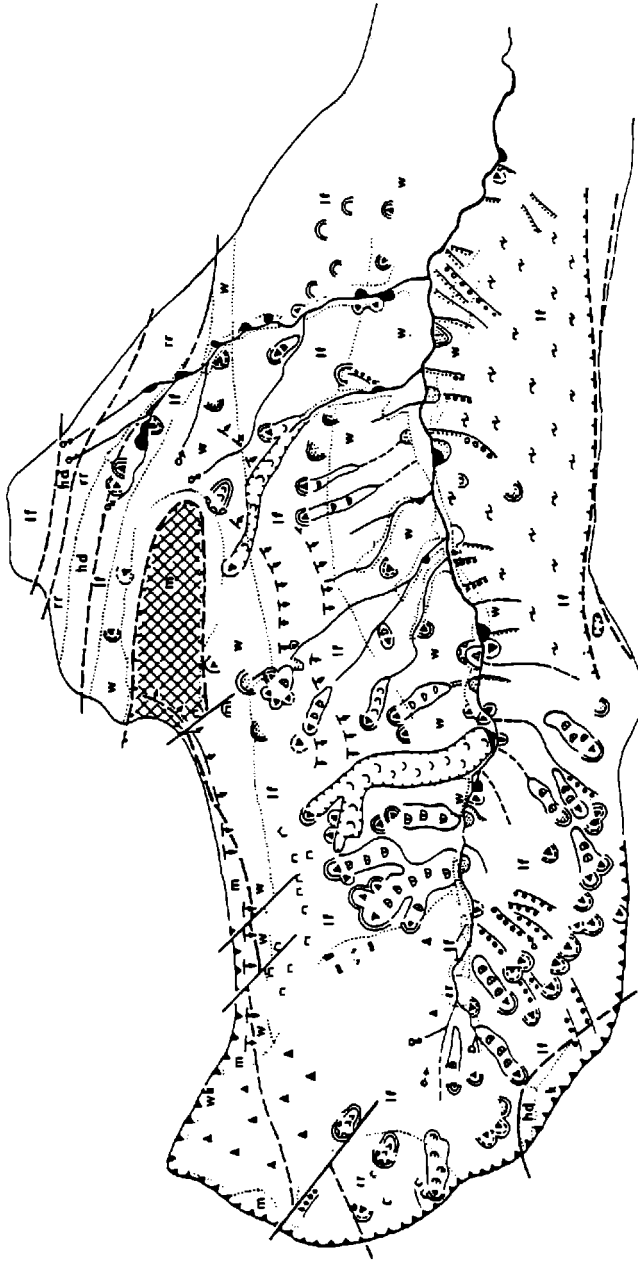
Anbruchsformen	Anbruch // Str. + Fallen mit dem Hang	Anbruch // Streichen + Fallen gegen den Hang	Anbruch senkr. zum Streichen	schräg zum Str.	ohne Schicht- angabe	Anbr. im Str. eines Lineaments
2 Rotationsanbr. tiefgr. relik			1 (300/90)			1
1 Rotationsanbr. flach relik						1
1 Transl.anbr. rezent						1
19 Transl.anbr. relik	1 (150/90)	2 (015/70, 340/20)	4 (200/55, 325/85, 355/55, 170/55)	1 (000/45)		11
1 Transl.bod.anbr. rez.						1
3 Transl.bod.anbr. rel.	1 (205/20)				2 (am Ufer)	
3 n.n. def.b. Anbr. rez.				1 (150/70)		2
2 n.n. def.b. Anbr. relik					2 (am Ufer)	
7 Sackungen akt.	5 (210/40, 190/70, 185,45)					2 (080)
5 Kriechbeweg. fl. pot. akt.					5 (in der Fallinie)	
1 Kriechgeb. fl. pot. akt.					1 (in der Fallinie)	
3 Erd./Schuttstr. pot. aktiv					1 (in der Fallinie)	2 = 1 zw. 2 Lineam. (100), 1 (025)
1 Talzus Schub verm.aktiv			1 (145/30)			
10 Quellaustritte ständig						8 2 = 1(050), 1(080)

Tab. 3: Grasgehren Kessel Tektonik

Legende

Abtragsformen	Geologie
 Rotationsanbr. tief(rez./rel.)	 Lockergest. undiff.
 Rotationsanbr. flach(rez./rel.)	 Hang-, Blockschutt
 Translationsanbr. (rez./rel.)	 subalpiner Karst
 nicht näher def. Anbruch (rez./rel.)	w Aptychen-/Ammerg. Sch.
 Nischenanbr. aus Felsgleitg. (rez./rel.)	If Allgäu Sch.
 Sackung (aktiv)	k Kössener Sch., undiff.
 Talzuschub (verm.; pot. akt.)	hd Hauptdolomit
 Erd- u. Schuttstrom (pot. akt.)	r Raibler Sch., undiff.
 Kriech- u. / od. Fließbewegung, tief (pot. akt.)	rr Raibler Rauwacke
 Kriech- u. / od. Fließkörper, flach (pot. akt.)	wk Wettersteinkalk
 Rutschmasse	m Alp. Muschelkalk., undiff.
 Rutschbuckel (rez./rel.)	
 Uferanbruch (rez./rel.)	 Störungen (vermutet; nachgewiesen)
 Rinnenanbruch, flach (rez./rel.)	 Überschiebungen (undeutlich; deutlich)
 Schnee- u. Lawinschurf	
 Kar	
 Quellaustritt	
 Nackensee; abflußlose Senke	

(Kartengrundlagen ALTFELD, 1992; siehe Schriftenverzeichnis)



Scheibengraben - Lockergesteine

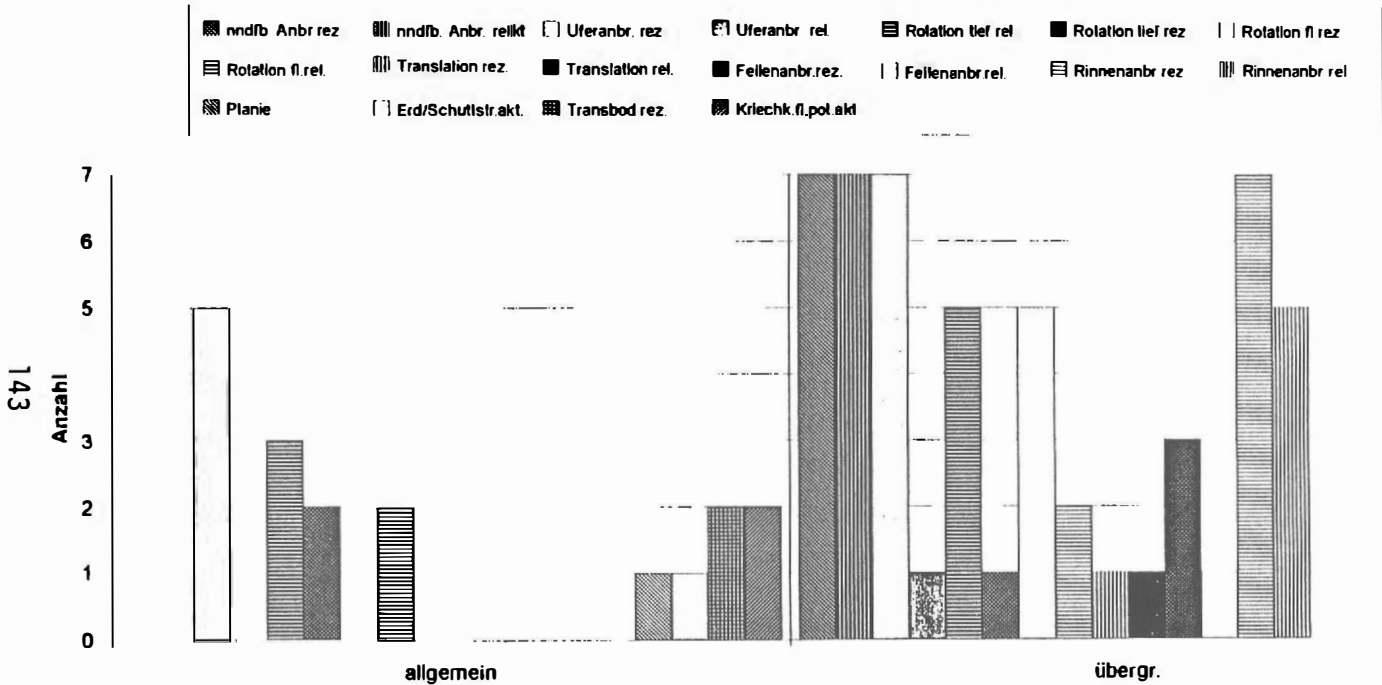


Abb. 5: Anzahl des Auftretens von Hangbewegungen in quartären Lockermassen (allgemein) und tiefgründigem Verwitterungsschutt veränderlichfester Gesteine (übergr.) im Scheibengraben bei Bad Wiessee.

Für den von der Neuhütten Alm kommenden Erd- und Schuttstrom (s. Abb. 4) sind neben den Eigenschaften einer mächtigen Verwitterungsschuttdecke aus Allgäu Schichten das hangparallele Einfallen dieser im Untergrund verantwortlich. Eine derartige präformierte Gleitfläche weist geringe Reibungswiderstände auf, wodurch auch die relativ hohe Geschwindigkeit des Erd- und Schuttstromes, zusätzlich zum verantwortlichen Wassergehalt, leichter erklärbar wird (s.a. HERZOG, 1990). Am nördlich gelegenen Hang konnten großräumige Sackungsbewegungen im Bereich des Verwitterungsschuttes aus Allgäu- und Ammergauer Schichten beobachtet werden (s. Abb. 4). Bis zu 7 m mächtige Schollen bewegen sich hier großflächig hangabwärts. Die Sackungsbereiche befinden sich großteils unterhalb des verkarsteten Muschelkalkkomplexes, woher Karstwasser in beachtlichen Mengen und in großer Kontinuität in unterliegende Hänge geschüttet wird. Im Festgestein sind als hangdynamische Prozesse hauptsächlich Bergzerreißen und Talzuschübe erwähnenswert (s. Abb. 6).

Bezüglich der Bergzerreißen mit anschließendem, sackendem Talzuschub innerhalb der Allgäu Schichten entlang der südlichen Gebietsgrenze kann hier angenommen werden, daß die Scherfläche einer durchgescherten out-of-syncline die Bewegungsbahn im Oberhang bildet. In Richtung Scheiben Graben geht dann die Bewegung in einen sackenden Talzuschub über (s. Abb.4; ALTFELD,1992). Eine Ursache für die Bewegung ist also in tektonischen Vorgängen zu suchen, durch welche eine hangparallel einfallende Scherfläche und damit eine präformierte Gleitfläche im Oberhang gebildet wurde. Zusätzlich fällt auf, daß im Hang keine Quellen oder Rinnen auftreten, diese finden sich erst in unteren Bereichen, wo Sperrausdehnungen zu vermuten sind. Das bedeutet, daß das Bergwasser Motor der Bewegung sein dürfte.

Am nördlichen Rand des Untersuchungsgebietes ist eine nordgerichtete Bergzerreißen in der Raibler Rauhwacke ausgewiesen (s.Abb.4). Hier sind in erster Linie die starke Auslaugung und Klüftigkeit des Gesteins als auslösende Faktoren zu nennen. Daneben spielt auch das hohe Karstwasserangebot aus dem tektonisch überlagernden Muschelkalk eine große Rolle sowie ein möglicher Zusammenhang mit einer Bergzerreißen im Gipfel- und Ostgrat des Fockensteins.

Scheibengraben - Festgesteine

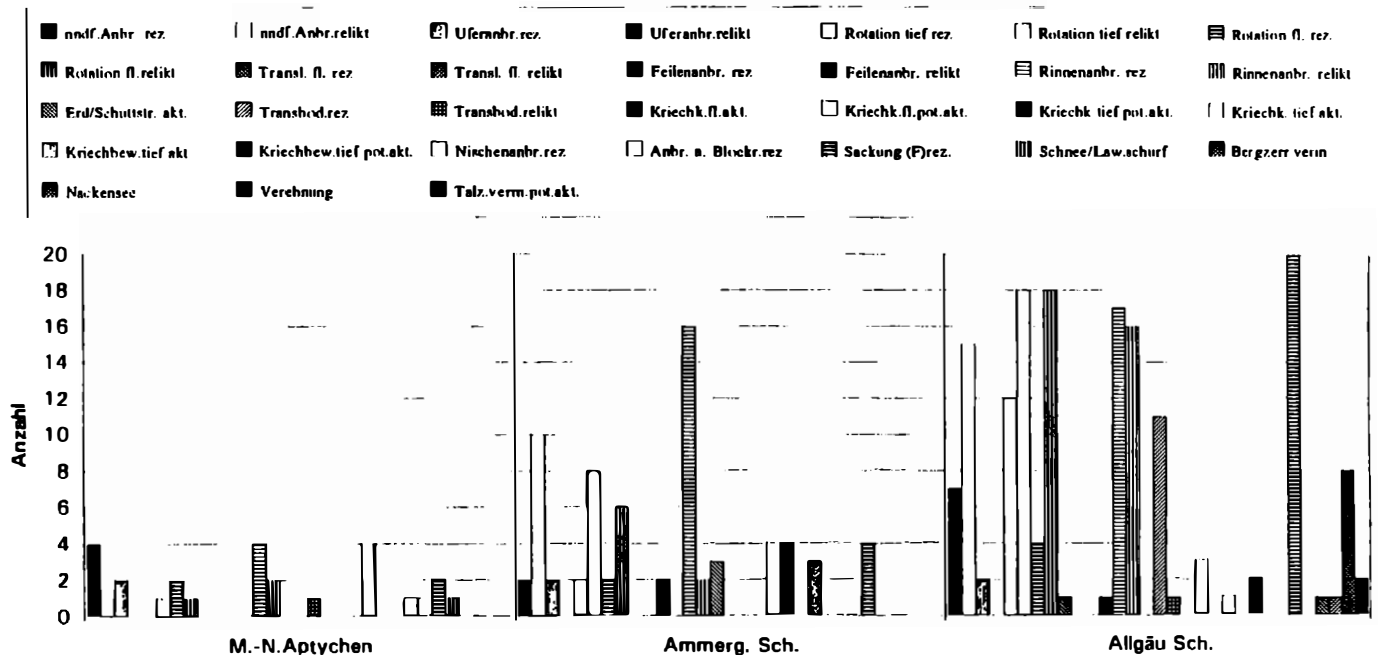


Abb. 6: Anzahl des Auftretens von Abtragsprozessen in den Festgesteinen des Scheibengrabens bei Bad Wiessee (Ausschnitt).

Letztere betrifft den Muschelkalk und den Wettersteinkalk der Lechtaldecke und ist wie jene in den Raibler Rauhacken nordgerichtet. Tektonisch bedingt ist hier die Unterlagerung der kompetenten Kalke durch inkompetente veränderlichste Kalk-/Mergelwechselfolgen der Ammergauer Schichten, welche sicherlich ein Ursachenfaktor für die Bergzerreissung ist (ALTFELD, 1993).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß durch die bisherigen Analysen in sieben Testgebieten der bedeutende Einfluß der Geologie, insbesondere in struktureller Hinsicht (Tektonik), auf das Abtragsgeschehen bestätigt wurde. So wie ja in einigen Gebieten der Einfluß der Überschiebungs- und Lateralverschiebungstektonik groß ist, ist in anderen Testgebieten die Wirkung der Lagerungsverhältnisse signifikant. Vor allem kommt es im Bereich der alpinen Überschiebungen immer wieder zur Überlagerung veränderlichster Gesteine durch kompetente Gesteine. Dieses weit verbreitete Phänomen löst oftmals bedeutende und tiefgreifende Abtragsformen aus.

Auf der anderen Seite haben z.B. hangparalleles oder hangeinwärtiges Einfallen der Schichten oder tektonische Zerrüttungszonen im Bereich von Störungen große Bedeutung, ebenso wie Klüfte oder Kluftsysteme.

3.5 Bearbeitungsprobleme

Für eine EDV-gestützte Standort- und Raumanalyse ergeben sich nach den bisherigen Erfahrungen aus diesem Projekt vor allem für die Geologie u.a. folgende bedeutsame Probleme:

Das Einfallen von Schichtflächen, Klüften und Störungsflächen ist ein dreidimensionales Phänomen, das nicht auf GIS-Ebene dargestellt werden kann. Dies bedeutet aber, daß für die Analyse u.U. entscheidende Informationen nicht durch die EDV zur Verfügung gestellt werden können. Dies wiederum bedeutet, daß der Bezug Abtrag/Geologie nur zu einem geringen Teil EDV-gestützt hergestellt werden kann dreidimensionale Informationen müssen händisch analysiert werden.

Der Versuch von GIS-Bearbeitern, die Auswertung der Lagerungsverhältnisse mit den Abtragsprozessen durch ein eigenens "layer" darzustellen, hat ein Handicap: während bodenkundliche und vegetationskundliche Kartierungen flächendeckend sind, sind geologische Kartierungen Aufschlußkartierungen - sie zeichnen sich also durch mehr oder weniger "große Informationslücken" aus, die durch die Interpretation des Bearbeiters ausgefüllt werden müssen. Diese Informationslücken werden im Fall der Lagerungsverhältnisse umso bedeutender, je komplizierter die tektonischen Strukturen sind und können nur durch Modellvorstellungen ausgefüllt werden. Ob die so produzierten Informationen dann aber tatsächlich noch der natürlichen Situation entsprechen, sei dahingestellt.

Weiterhin problematisch sind Anbrüche, die über Grenzen von Gesteinseinheiten hinausgehen. Sie stören die Statistik z.T. in erheblichem Maße, denn hier stellt sich die Frage, ob die Schichtgrenze der auslösende Moment des Anbruchs war, oder ob sich der Anbruch in der hangabwärtigen Einheit entwickelt hat inden er sich lediglich retrograd in die höhere Einheit eingeschnitten hat. Zur Klärung dieses Problems muß daher auf die Kenntnis des Bearbeiters zurückgegriffen werden, wobei die Lösung dieser Fragen, wie sich gezeigt hat, weitgehend möglich ist.

4 Weiteres Vorgehen

Standortanalytisch wird der aufgezeigte Weg weiter beschritten, raumanalytisch müssen die angerissenen Probleme und Zusammenhänge insbesondere zur Tektonik und zur Hydrogeologie weiter verfolgt werden. Dabei wird zusätzlich noch auf die synthetisierten Abflußkarten eingegangen werden.

Mit Hilfe der Analysen weiterer Testgebiete oder bestimmter Gruppen von Prozessen sowie der Auswertung der Boden- und Vegetationsverhältnisse und der Nutzungskarten soll dann letztendlich die Erstellung eines Kataloges ermöglicht werden, der die typischen und maßgeblichen Kriterien und Faktorenkombinationen beinhalten soll, die für das Auftreten bestimmter hangdynamischer Prozesse verantwortlich sind (s. Tab.4).

**VORGEHENSSCHEMA
ENTWICKLUNGSVORHABEN**
"Integrales
Wildbachschutzkonzept"
III. Grundlagen für die Praxis

KRITERIENKATALOG
zur
**ABTRAGS- UND
ABFLUSSBEREITSCHAFT**



GEFÄHRDUNGSKARTEN
(ausgewählter Testgebiete)



MASSNAHMENKARTEN
(ausgewählter Testgebiete)

Tab. 4: Der dritte Entwicklungsschritt im "Integralen Wildbachschutzkonzept"

Dieses Wissen um die Kriterien für das Auftreten bestimmter Abtragsprozesse wird letztlich die Ansprache der jeweiligen Gefahrenart, die zur Ausweisung einer Gefahrenzone führt, ermöglichen. D.h. es soll ermöglicht werden, Karten zu erstellen, die die Zonen aktueller und potentieller Instabilität aufzeigen.

Dies soll letztlich auch für andere Wildbachgebiete möglich sein, um dort die Beurteilung des Gefahrenpotentials mit Hilfe des genannten Kriterienkataloges schneller und besser als bisher zu ermöglichen.

Die Gefährdungskarten werden dann die Grundlage für die Entwicklung ursachenbezogener und funktionsgerechter Schutzmaßnahmen, darstellen (s. Tab.4).

Inwieweit bei diesem weiteren Vorgehen eine intensivere GIS-Bearbeitung möglich sein wird, wird sich zeigen. Derzeit ist jedoch klar, daß einer computergestützten Auswertung insbesondere in der Geologie beachtliche Grenzen gesetzt sind und die meisten Zusammenhänge händisch erarbeitet werden müssen. Und ohne die entsprechenden Geländeerhebungen wird auch zukünftig eine Einschätzung der Hänge in alpinen Wildbacheinzugsgebieten auf ihre Neigung zu dynamischen Prozessen nicht möglich sein. Vielleicht gelingt es jedoch mit Hilfe der hier dargestellten GIS-unterstützten Untersuchungen, diese Neigung besser einzuschätzen.

SCHRIFTENVERZEICHNIS

ALTFELD, O.(1992): Bericht zur geologischen und geomorphologischen Kartierung im Einzugsgebiet des Scheibengraben bei Bad Wiessee am Tegernsee.

- unveröff. Bericht am Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft.

ALTFELD, O.(1993): Standortanalyse zum Abtragsgeschehen im Scheibengraben bei Bad Wiessee am Tegernsee.

- unveröff. Bericht am Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft.

- BUNZA, G.(1992): Instabile Hangflanken und ihre Bedeutung für die Wildbachkunde.
-Forschungsber.d.Dt. Alpenvereins.Bd.5,359 S., München.
- BUNZA, G.(1992): Die Erfassung des aktuellen Abtragsgeschehens mit Hilfe geomorphologischer Kartierungen zur Beurteilung von potentiellen Gefahrenräumen.
-Int.Symp.Interpraevent 1992- Bern, Tagungspubl.,Bd.6, S.213-236.
- BUNZA,G.& SCHAUER,TH.(1989): Der Einfluß von Vegetation, Geologie und Nutzung auf den Oberflächenabfluß bei künstlichen Starkregen in Wildbachgebieten der bayerischen Alpen.
In: Grundlagen des Wasserbaus. Aktuelle Beiträge. Info-Ber. Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft, S. 127-150, München.
- HAEBERLI,W.(1973): Die Basistemperatur der winterlichen Schneedecke als möglicher Indikator für die Verbreitung von Permafrost in den Alpen.
- Zeitschr. f. Gletscherkunde und Glaziologie,IX,S.221-227.
- HAEBERLI,W.(1990): Permafrost. Int. Fachtagung. 11.Mai 1990 in Zürich
Mitt.Nr. 108,1990, der VAW der ETH-Zürich, 71-80.
- HERZOG,A.(1990): Geologisch geotechnische Untersuchungen des Gebietes Neuhüttenalm/Fockenstein.
Unveröff. Dipl.Arb., Lehrst. f. Angew. Geol. d. Univ. Erlangen Nürnberg.
- LÖHMANNSRÖBEN,R.(1992): Die Bedeutung der Bodenkartierung für die Beurteilung morpho- und hydrodynamischer Prozesse in Wildbacheinzugsgebieten.
- Int.Symp.Interpraevent 1992 - Bern, Tagungspubl.,Bd.6, S. 237 - 250.

OBERSTE BAUBEHÖRDE IM BAYER. STAATSMIN. D. INNEREN (1992):

Wildbäche, Lawinen Programm 2000. Wasserwirtschaft in Bayern,
H.24, München.

SIEGENTHALER,U.(1990): Klimaszenarien aufgrund des veränderten
Treibhauseffektes. Int. Fachtagung, 11.Mai 1990 in Zürich;
Mitt.Nr.108,1990, der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie
und Glaziologie der ETH-Zürich, 7-19.

THOM,P.&SIMET,CH.(1990):Bericht zur geologischen Kartierung im
Wildbacheinzugsgebiet "Grasgehrenkessel".

- Unveröff. Bericht am Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft

VESTER,F.(1980): Neuland des Denkens. Hanser (Erstausg.), München; bzw.
Deutscher Taschenbuchverlag (Lizenzausg. 1984), München.

VOIGHT,B.(1978): Rockslides and Avalanches, 1 Natural Phenomena

- (Developments in Geotechnical Engineering 14 A).

Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam Oxford New
York.

ZIEGLER,R.(1994): Standortanalyse zum Abtragungsgeschehen im
"Grasgehrenkessel" am Riedbergpaß (Oberallgäu).

- Unveröff. Bericht am Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft

Kartengrundlagen:

ALTFELD, O. (1992): Geol. und geomorph. Kartierung Scheibengraben bei Bad
Wiessee 1:5000.

- unveröff. Bericht am Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft.

DIETMANN, TH. (1991): Geomorph. Kartierung Grasgehren (Riedbergpaß)
1:5000.

- unveröff. Bericht am Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft

**THOM, P. & SIMET, CH. (1990): Geolog. Kartierung im Maßstab 1:5000 im
Wildbacheinzugsgebiet " Grasgehrenkessel "
- unveröff. Bericht am Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft**

**Autor: Univ.-Doz. Dr. Günther Bunza
Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft
Lazarettstraße 67
0636 München**