

Analyse und Management von regionaltypischen Naturgefahren am Beispiel einer Hangrutschung in Doren (Vorarlberg)



Teresa Bräuer, Sebastian Tuttas

Einleitung

Fachübergreifendes Projekt

Im Zuge der Einführung des Master-Studiengangs Geodäsie und Geoinformation an der TU München wurde das Fachübergreifende Projekt geschaffen. Dabei haben die Studenten die Möglichkeit eine Fragestellung zu bearbeiten, welche zwei Fachrichtungen einschließt. Das im Folgenden vorgestellte Projekt entstand in einer Zusammenarbeit der Lehrstühle »Bodenordnung und Landentwicklung« (Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Magel) und »Methodik der Fernerkundung« (Univ.-Prof. Dr.-Ing. R. Bamler). Das Ziel bestand darin, die Naturgefahr Hangrutschung mit Hilfe photogrammetrischer Techniken zu analysieren und zukunftsweisende Handlungsmöglichkeiten eines umfassenden Landmanagements im Umgang mit Rutschungen aufzuzeigen. Dies erfolgte anhand des konkreten Beispiels der Hangrutschung in Doren (Vorarlberg, Österreich).

Naturgefahren – Konflikt Mensch und Natur

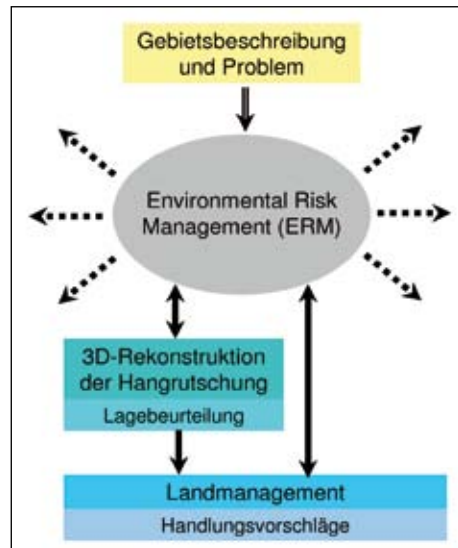
Eine Naturgefahr führt dann zu einer Naturkatastrophe, wenn vom Menschen geschaffener Siedlungsraum zerstört wird oder das Naturereignis Menschenopfer fordert. Naturkatastrophen wie Rutschungen, Steinschläge, Muren oder Hochwasser entstehen durch fortdauernde geologische, tektonische und klimatische Veränderungen im Alpenraum. Zu Beginn der Besiedlung der Alpen hatten die Menschen nur die Möglichkeit, mit alpinen Gefahren zu leben und ihnen so gut wie möglich auszuweichen. Heute können technische Schutzbauten errichtet werden, um den Menschen und seine Güter zu schützen. Diese können jedoch nie einen vollständigen Schutz bieten und somit bleibt immer ein Restrisiko bestehen. Folglich herrscht im alpinen Raum ein ständiger Konflikt zwischen Schutz- und Nutzungsinteressen [Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 2002].

Als theoretischer Ansatz beim Umgang mit Naturgefahren kann auf das Environmental Risk Management (ERM) zurückgegriffen werden. Die Tätigkeiten rund um das Naturgefahrenmanagement werden dabei einem Risikokreislauf zugeordnet. Das ERM-Konzept bildete die theoretische Grundlage für das weitere Vorgehen im Rahmen des Fachübergreifenden Projekts (siehe *Bild 1*).

Aufbau der Arbeit

Um die Situation in Doren zu erfassen, wird zunächst eine Problem- und Gebietsbeschreibung vorgenommen. Im Hinblick auf die Lagebeurteilung und Analyse der Rutschung erfolgt die Erstellung eines 3D-Modells mit Hilfe von Epipolarbildern. Das anschließend entwickelte Landmanagementkonzept bildet die Grundlage für Handlungsvorschläge, die eine künftige Nutzung des Gebiets darlegen. Welche Rolle das Landmanagement und die 3D-Rekonstruktion im ERM-Kreislauf spielen können, wird anschließend erläutert.

Bild 1: Aufbau der Arbeit



Hangrutschung Doren

Doren ist eine Gemeinde im Bezirk Bregenz im Bundesland Vorarlberg in Österreich. Sie befindet sich im vorderen Bregenzerwald und hat eine räumliche Ausdehnung von 14,2 km². Geographisch wird das Gemeindegebiet durch die Flüsse Weißach, Bregenzer Ache und Rotach sowie durch tief in das weiche Gestein eingeschnittene Gräben begrenzt [Gemeinde Doren 2010].



Bild 2: Luftaufnahme von Doren am 10. Mai 2008, Quelle: www.wikipedia.de, Urheber: Böhlinger

Aus geologischer Sicht befindet sich die Rutschung in Doren in den sog. Weißbachschichten (Konglomerate, Sandstein, Mergel, Tonstein) [WLV 2008].

Die Rutschungsfläche der Hangrutschung Doren hat eine Breite von ca. 200 m und eine Länge von ca. 800 m und lässt sich längs in drei Abschnitte unterteilen (siehe *Bild 2*):

Abschnitt A ist die Terrassenfläche südlich der Straße, eine sog. Felsterrasse mit Quartärablagerungen. Dort findet eine hangparallele Kriechbewegung des Festgesteins statt. Beim daran anschließenden Abschnitt B handelt es sich um eine ca. 60 m hohe Abbruchwand mit einfallenden Mergel- und Sandsteinschichten (bergseitige Festgesteinsgleitung). Ursächlich dafür sind die Zusammensetzung des Festgesteins und die im Untergrund vorherrschenden hohen Wasserdrücke. Abschnitt C besteht aus einem ca. 700 m langen Erd-Schuttstrom vom Fuß der Abbruchwand bis hin zur Weißbach. Der Erd-Schuttstrom gleitet, während bei der Abbruchwand die Schichtpakete aus der Wand kippen [ebd.].

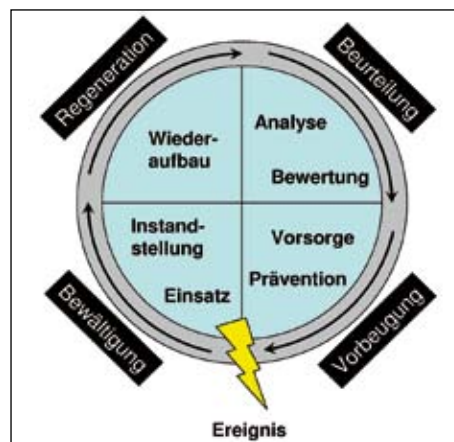
Problematisch ist vor allem die natürliche Abwitterung der Abbruchwand. Wenn durch diesen Prozess die Schichten dünner werden, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass durch den Bergwasserdruck die Schichtpakete »rauskippen« und Druck auf den Erd-Schuttstrom auslösen. Um zu verhindern, dass die Wand nachbricht, muss der Erd-Schuttstrom möglichst gestoppt werden, so dass der Hangfuß nicht freigelegt wird.

Die Rutschung in Doren ist nach mündlichen Überlieferungen seit 1847 regelmäßig aktiv. Sie bewegt sich nicht gleichmäßig [Wöhler-Alge 2010], sondern es kommt immer wieder zu Großereignissen, wie z.B. 1952, als innerhalb einer Nacht eine 100 m breite und ca. 2 m mächtige Platte abrutschte. Weitere Großereignisse fanden 1927, 1935, 1988 und 2007 statt [WLV 2007]. Durchschnittlich bewegt sich die Rutschung 1 m pro Jahr [WLV 2008]. Derzeit besteht keine Gefahr für Menschenleben; aber es ist bekannt, dass der Prozess weiter voranschreiten wird und in ca. 50 Jahren das erste Gebäude und damit die Ortschaft Doren erreicht [Wöhler-Alge 2010]. Daraus leitet sich der Auftrag ab, Maßnahmen zu ergreifen, um Mensch, Siedlung und Infrastruktur zu schützen.

Environmental Risk Management

Der Ausgangspunkt für das Risikomanagement ist der universelle Risikomanagementkreislauf, der einem bestimmten System und dessen Parametern angepasst werden kann. Im Fall des Environmental Risk Managements sind es Naturgefahren und hier im Speziellen alpine Naturgefahren. Ein solcher Kreislauf ist in *Bild 3* zu sehen.

Bild 3: Risikokreislauf bei Naturgefahren, eigene Zeichnung nach Hübl et al. [2006]



Das generelle Ziel des Naturgefahrenmanagements ist, Katastropheneignissen entgegenzuwirken und das Risiko für Schäden auf ein akzeptables Maß zu senken (Restrisiko).

Die vier Schritte Beurteilung, Vorbeugung, Bewältigung und Regeneration, die in *Bild 3* zu sehen sind, werden im Folgenden in der genannten Reihenfolge genauer beschrieben; hier wird im Wesentlichen den Ausführungen von Hübl et al. [2006] und Kienholz et al. [2004] gefolgt.

Beurteilung

Die korrekte und umfassende Gefahrenbeurteilung ist ein wichtiger Bestandteil des Risikomanagements. Sie lässt sich in Risikoanalyse und Risikobeurteilung einteilen.

Ziel der **Risikoanalyse** ist, die Antwort auf die Frage »Was könnte passieren?« zu finden. Neben der Analyse der Naturprozesse und deren möglichen Auswirkungen gehört zur Risikoanalyse auch die Betrachtung der gefährdeten Werte, deren Gefährdungsgrad sowie deren Verletzlichkeit. Die Ergebnisse können in einer Gefahrenkarte, z.B. eines Gemeindegebietes, dargestellt werden.

Die **Risikobewertung** ist der Prozess, in dem die Risiken für die nachfolgend zu treffenden Entscheidungen und Maßnahmen eingeordnet und bewertet werden. Es soll die Frage beantwortet werden, welche Risiken noch akzeptabel sind (Risikoakzeptanz). Die nicht mehr tragbaren Risiken bestimmen den Ansatzpunkt für vorbeugende und schadensmildernde Maßnahmen (Schutzziel).

Vorbeugung

Nach den Schritten der Risikobeurteilung stellt sich die Frage, wie das Risiko zu verringern und was im Ereignisfall zu tun ist. Dies entspricht dem Risikomanagement im engeren Sinne. Die Maßnahmen lassen sich in die Schritte Prävention und Vorsorge einteilen.

Die **Prävention** beinhaltet Tätigkeiten zur Beseitigung oder Minimierung von Risikoquellen, die bei der Risikobewertung erkannt wurden. Dies kann durch verschiedenste Maßnahmen erreicht werden, die in die Bereiche raumplanerische Maßnahmen (z.B. Landnutzungsregulierung durch Ausweisung von Gefahrenzonen), technische Maßnahmen (z.B. Verbauungen) und ökologische Maßnahmen (z.B. Pflege von Schutzwäldern) eingeteilt werden können.

Die Aktivitäten der **Vorsorge** zielen darauf ab, Verletzlichkeit, Schäden und Verluste bei einem Ereignis soweit wie möglich zu verringern. Dies beinhaltet die Vorbereitung aller Ressourcen, die notwendig sind, eine mögliche Katastrophe zu bewältigen. Denkbare Maßnahmen sind z.B. das Training von Einsatzkräften oder die Einrichtung eines Frühwarnsystems.

Bewältigung

Das Ereignismanagement umfasst vorbereitete Interventionen, die je nach Art und Ausmaß der Naturkatastrophen ausgelöst werden. Das Ziel aller reagierenden Maßnahmen ist, die Folgen möglichst gering zu halten.

Die Aktivitäten umfassen die schnelle Alarmierung von Hilfskräften, die Rettung, Unterstützung und Betreuung der Opfer sowie die Begrenzung der Schäden durch Sofortmaßnahmen. Wichtige Infrastruktur muss, zumindest provisorisch, möglichst schnell wieder hergestellt werden. Die Bewältigung lässt sich also in die beiden Bestandteile Einsatz und Instandstellung unterteilen.

Ein wichtiger Gesichtspunkt ist auch die Sicherung von Beweisen. Als ein wesentlicher Bestandteil des Risikomanagementkreislaufs können Erkenntnisse aus den Erfahrungen im Ereignisfall für künftige Verbesserungen genutzt werden.

Regeneration

In der Phase der Regeneration sind provisorische Lösungen aus der Instandstellung in langfristige Lösungen überzuführen. Dies beinhaltet nicht nur den Wiederaufbau von Gebäuden und Infrastruktur, sondern auch die Analyse der Ereignisse und der Einsätze, aus der schließlich Lehren für alle Akteure des Risikomanagementkreislaufs gezogen werden können.

Erste Ergebnisse aus der Ereignisanalyse sollten möglichst schnell vorliegen, um diese bereits in den Wiederaufbau mit einfließen zu lassen. Langfristig müssen die erkannten Defizite zu Verbesserungen in allen Bereichen des Risikokreislaufs führen. Die entwickelten Konzepte sind konsequent umzusetzen, damit letztendlich die Aktivitäten im Rahmen der Regeneration nicht nur zu einem Zustand wie vor dem Ereignis führen, sondern zu einer nachhaltigen Verbesserung der Situation.

3D-Rekonstruktion der Hangrutschung Doren

3K-Kamerasystem

Das 3K-Kamerasystem ist nach Kurz et al. [2009] Bestandteil eines flugzeuggetragenen digitalen Nahe-Echtzeit-Fernkundungssystems für das Monitoring von Naturkatastrophen, Massenbewegungen und Verkehr. Es wurde am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelt.

Die 3K-Kamera besteht aus drei digitalen Kameras (siehe *Bild 4*). Diese sind so angeordnet, dass eine Kamera in Richtung Nadir blickt und die anderen beiden eine Aufnahmeichtung schräg dazu aufweisen. Auf der Plattform befindet sich ebenfalls eine Echtzeit-Navigationseinheit (IMU), die, zusammen mit einem GPS-Empfänger, eine direkte Georeferenzierung der Bilder ermöglicht.



Bild 4: Plattform mit 3K-Kamera und IMU-Einheit. Quelle: [Kurz 2009], Institut für Methodik der Fernerkundung (IMF), DLR

Im Hinblick auf die Entwicklung eines Prozessialgorithmus für eine Nahe-Echtzeit-3D-Rekonstruktion aus Bildsequenzen wird im Folgenden das Vorgehen bei der Gewinnung von 3D-Informationen mit Hilfe der Epipolargeometrie erläutert.

Für die Erstellung des 3D-Modells standen die Bilder des Überflugs mit der 3K-Kamera über Doren vom 27. April 2007 zur Verfügung. Im Folgenden wird das Bildpaar (siehe *Bild 5*) der Nadirkamera verwendet.



Bild 5: Aufnahmen der 3K-Kamera, Quelle: Institut für Methodik der Fernerkundung (IMF), DLR

3D-Rekonstruktion

Um aus dem Bildpaar Höheninformationen zu gewinnen sind, die im Folgenden beschriebenen Schritte notwendig. Diese wurden, u.a. mit Hilfe der offenen Programmbibliothek openCV, in der Programmiersprache C++ implementiert.

Entzerrung der Bilder

Zunächst müssen die Aufnahmen entzerrt werden, d.h. die radiale Verzeichnung durch die Optik wird beseitigt. Dies ist notwendig, da die Epipolarlinien (siehe unten) andernfalls gekrümmt wären.

Es stehen die folgenden Kameraparameter zur Verfügung: Brennweite c , Pixelgröße s , Bildhauptpunktkoordinaten x_0, y_0 und die Parameter der radialen Verzeichnung R_0, A_1, A_2 . Bei der 3K-Kamera wird, wie in Kurz [2009] beschrieben, folgendes Modell für die Beschreibung der radialen Verzeichnung verwendet:

$$dr = A_1 \cdot r (r^2 - R_0^2) + A_2 \cdot r (r^4 - R_0^4)$$

dr = Verbesserung wg. der radialen Verzeichnung im Bildkoordinatensystem

Im folgenden *Bild 6* sind diese Verbesserungen dargestellt:

Um die Verzeichnung zu korrigieren, wird eine indirekte Transformation verwendet. Das heißt, für jedes Pixel im entzerrten Bild wird dessen Position im Originalbild bestimmt. Mit Hilfe dieser Pixelkoordinaten können dann die Pixel im entzerrten Bild besetzt werden. Die berechneten Pixelkoordinaten sind für alle Bilder derselben Kamera gleich. Somit braucht die aufwändige Berechnung nur einmal durchgeführt werden. Für jedes Bild einzeln müssen dann nur noch die Pixel besetzt werden. Dies lässt sich effizient mit Hilfe von Funktionen c aus der offenen Programmbibliothek durchführen.

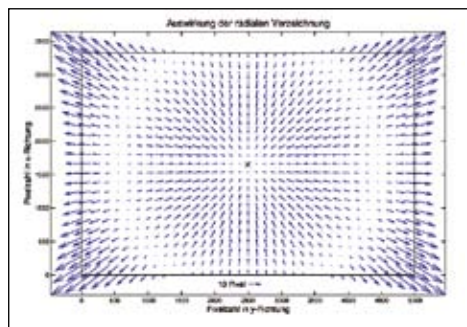


Bild 6:
Radiale Verzeichnung bei der 3K-Kamera (Nadir)

Herstellung des Stereonormalfalls (Rektifizierung)

Zur Rekonstruktion von 3D-Punkten müssen in beiden Bildern korrespondierende Punkte gefunden werden. Ein Punkt im ersten Bild kann im zweiten Bild nur auf einer Linie liegen, der sog. Epipolarlinie, und umgekehrt. Um die korrespondierenden Punkte besonders einfach finden zu können, wird der Stereonormalfall hergestellt. Es gilt dann, dass die Epipolarlinien horizontal (bzw. vertikal) und parallel zueinander sind. Korrespondierende Punkte haben somit die gleiche x - (bzw. y -) Koordinate, liegen also in der gleichen Zeile (bzw. Spalte). Diese Konfiguration tritt unter folgenden Bedingungen ein:

- Die Bildebenen müssen parallel zueinander und zur Basis sein.
- Die Bildebenen müssen den gleichen Abstand zur Basis haben, d.h. gleiche Brennweite.
- Es dürfen keine radialen Verzeichnungen vorliegen.

Als Folge sind dann die Blickrichtungen der beiden Bilder parallel und orthogonal zur Basislinie. Die Epipole, also die Punkte, an denen sich die Epipolarlinien des jeweiligen Bildes schneiden, liegen im Unendlichen. Solche Bilder werden auch als Epipolarbilder bezeichnet. Sie weisen typischerweise eine trapezförmige Form auf.

Die äußeren Orientierungen dürfen sich nur noch durch eine Verschiebung in y - (bzw. x -) Richtung unterscheiden, d.h. die Rotationsmatrizen vom Welt- in das Kamerakoordinatensystem sind für beide Bilder gleich. Die Berechnung der Transformationsmatrizen zwischen entzerrtem Bild und Epipolarbild erfolgt anhand dieser Bedingung.

Erstellung eines Disparitätenbildes durch Korrespondenzfindung

Die Disparität ist die Differenz der Spalten- bzw. Zeilenkoordinaten von identischen Punkten in einem Bildpaar, wobei eines der Bilder als Referenzbild gewählt wird. Zur Erstellung eines Disparitätenbildes (ein Bild, in dem jedes Pixel des Referenzbildes einen Wert entsprechend seiner Disparität erhält) wird eine Suchfunktion (Matching-Verfahren) benötigt, mit der die korrespondierenden Punkte einander zugeordnet werden können. In diesem Projekt wurde auf Funktionen einer Bibliothek zurückgegriffen. Diese Funktion verwendet zur Suche von korrespondierenden Punkten einen SAD-Algorithmus, wobei SAD für »Sum of absolute gray value difference« steht. Da dieser empfindlich gegenüber Beleuchtungsveränderungen ist, wird in der Funktion zuvor ein Filter eingesetzt, der diese verringern soll und zusätzlich die Textur verbessert. Die Beschreibung der Funktion findet sich in [Bradski, Kaehler, 2008]. Der verwendete SAD-Algorithmus ist ein lokales Matching-Verfahren, da die Suche auf eine definierte Fenstergröße um das jeweilige Pixel beschränkt ist. Sowohl hierfür als auch für globale Verfahren ist die Rechenzeit kritisch für eine (Nahe-)Echtzeit-3D-Rekonstruktion. Allein der hier verwendete einfache Algorithmus benötigt für ein Bildpaar eine Rechenzeit von über einer Minute. Eine moderne Alternative, um die Rechenzeit zu reduzieren, ist die Implementierung der Methoden auf Grafikkarten (GPU) [Zhu et al. 2010].

Berechnung der Höheninformationen

Aus den Disparitäten können schließlich die z -Koordinaten (Tiefe) der Punkte rekonstruiert werden. Mit Hilfe dieser Information lassen sich dann über die Kollinearitätsgleichungen auch die Weltkoordinaten jedes Pixels berechnen.

Die so errechneten Weltkoordinaten wurden zur Visualisierung als Punktwolke in eine Software eingelesen, in der anschließend eine Dreiecksvermaschung durchgeführt wurde. Das Ergebnis ist in *Bild 7* zu sehen.

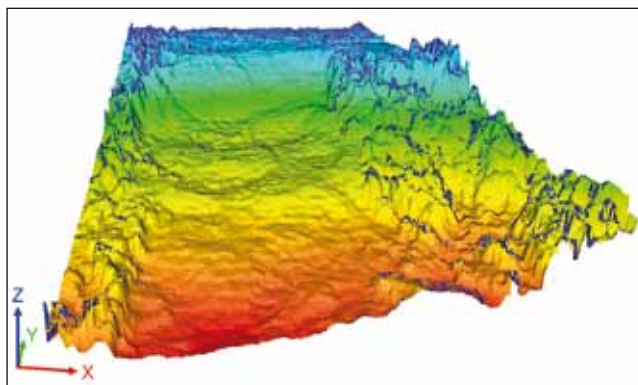


Bild 7:
3D-Modell des Rutschungs-
bereichs (Farbkodierung
nach Höhenwerten,
rot = tiefer, blau = höher)

Einsatzmöglichkeiten

Welche Vorteile können 3D-Informationen im Naturgefahrenmanagement zusätzlich zu der einfachen 2D-Kartendarstellung liefern? Gerade bei den Naturereignissen in alpinen Regionen, bei denen die Hangneigung eine entscheidende Rolle spielt, kann die dritte Dimension einen besseren Eindruck über die Lage liefern. Aus 3D-Daten lassen sich außerdem, sofern bereits Referenzdaten von einem früheren Zeitpunkt vorliegen, Deformationsanalysen der gerutschten Masse durchführen. Liegen die Referenzdaten bereits bei der Befliegung vor, könnten diese Informationen auch zeitnah an die Einsatzkräfte weitergegeben werden. Dies kann z.B. Hinweise darauf liefern, wo sich Gebiete befinden, in denen noch etwas nachrutschen kann, wie tief eine Straße von den Massen überdeckt wurde oder wo nach Verschütteten gesucht werden muss. Auch bei späteren Analysen (Risikoanalyse) kann das 3D-Modell verwendet werden, indem es in die Datenbasis oder in Modellberechnungen eingeht. Bei einem wiederkehrenden Ereignis, wie in Doren, wird durch die konsequente Befliegung mit dem gleichen Aufnahmesystem eine konsistente Datenbasis aufgebaut. Diese könnte u.a. für Zeitreihendarstellungen oder -analysen genutzt werden. Dabei erfolgt gleichzeitig eine Beweissicherung, da die Befliegung möglichst zeitnah zum Ereignis stattfinden soll.

Landmanagement

Definition Landmanagement

Grundsätzlich beschäftigt sich das Landmanagement mit dem Management der Ressource Land. Die Definition Landmanagement will aber noch mehr ausdrücken. Ziel eines nachhaltigen Landmanagement ist eine ökologische, sozial gerechte und ökonomische Nutzung von Grund und Boden.

Dieses Ziel kann mit den zwei Komponenten des Landmanagements erreicht werden, der statischen und der dynamischen [Magel 2006]. Dabei beschäftigt sich die statische Komponente im Wesentlichen mit der Dokumentation von Grund und Boden. Dies erfolgt mit Hilfe des Katasters und des Grundbuchs. Die dynamische Komponente bezieht sich auf die Philosophie der Quadrophonie aus »Aktivierendem Beraten und Vernetzen«, »Planen und Koordinieren«, »Bauen« und »(Boden)Ordnen und Konfliktlösen« [Magel 2010]. Die Dynamik ergibt sich somit aus dem aktiven und verantwortungsvollen Umgang, also dem Management von Grund und Boden.

Zusammengefasst wird das Landmanagement als das Management (Aktivierendes Beraten und Vernetzen, Planen und Koordinieren, Bauen und (Boden)Ordnen und Konfliktlösen) von Grund und Boden verstanden, welches sich auf die rechtliche Grundlage von Kataster und Grundbuch stützt. Durch eine ökonomische, ökologische und soziale Nutzung soll schließlich eine nachhaltige Entwicklung erreicht werden (siehe Bild 8).



Bild 8: Definition Landmanagement, Quelle: eigene Darstellung nach Magel [2006] und Magel [2010]

Landnutzung in Doren

Wird die Landnutzung der vergangenen Jahrzehnte in Doren unter Zuhilfenahme von Orthophotos betrachtet, so ist keine Nutzungsart festzustellen, welche die Rutschung forciert hätte. Zudem sind die befragten Experten der Meinung, dass in Doren allein geologische Ursachen zur Rutschung geführt haben [Singer 2010, Wöhler-Alge 2010]. Somit kann festgehalten werden, dass die Landnutzung durch den Menschen nicht ursächlich für das Problem ist.

Gleichwohl den Menschen keine Schuld an der Rutschung trifft, entstehen durch die Nutzung des Gebietes gewisse Konflikte. Da von der Annahme auszugehen ist, dass sich die Rutschung weiter nach Norden fortsetzt, wäre die logische Konsequenz dieses Gebiet der Natur bzw. sich

selbst zu überlassen. Jedoch stellt der Mensch gewisse Ansprüche, in dem er so weit wie möglich eine land- und forstwirtschaftliche Nutzung des Gebietes betreibt. Es tritt auch ein Konflikt mit Infrastruktur, Siedlung und Gewerbe auf, da sich in kurzer Entfernung zur Abbruchkante eine Landesstraße, Wohngebäude und Gewerbebetriebe (z.B. Bäckerei) befinden [Wöhler-Alge 2010]. Um diesen Nutzungskonflikten zu begegnen wird ein Landmanagementkonzept (siehe Bild 9) aufgestellt, welches im Folgenden näher erläutert wird.

Landmanagementkonzept

Das eigens entwickelte Landmanagementkonzept gleicht einem Haus, welches das Ziel hat vor Hangrutschungen zu schützen. Es steht auf den vier Säulen »Planung und Bodenpolitik«, »Bautechnische Maßnahmen«, »Ökologische Maßnahmen« und »Bewusstseinsbildung«. Das Dach des Hauses bildet die Flächenvorsorge, sie soll als oberstes Prinzip gelten. Unter Flächenvorsorge ist die Schutzfunktion der Fläche, die angepasste Flächennutzung und die Flächenbereitstellung für Schutzmaßnahmen zu verstehen. Der »Fläche« wird im Naturgefahrenmanagement eine besondere Bedeutung zugeschrieben. Steht der Naturgefahr (z.B. Hochwasser) genügend Fläche zu Verfügung um sich auszubreiten, so wird in anderen Bereichen die Gefahr gesenkt. Die Fläche kann somit einen Gefahrenausgleich schaffen und als Pufferzone wirken [Rudolf-Miklau 2009].

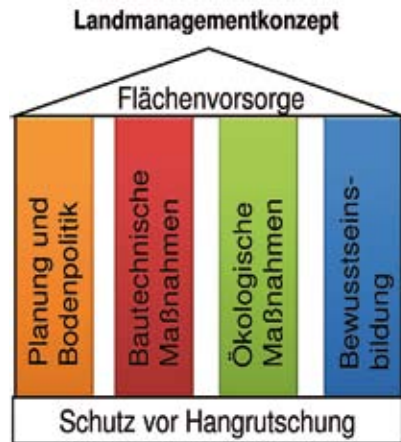


Bild 9: Landmanagementkonzept

Damit das Prinzip der Flächenvorsorge vollständig zum Tragen kommt, sind verschiedene Planungen und Maßnahmen notwendig, die durch die vier Säulen des Landmanagementkonzepts zum Ausdruck kommen:

Die **1. Säule »Planung und Bodenpolitik«** soll die Flächennutzung steuern und Flächen für Schutzmaßnahmen bereitstellen. Hierfür können verschiedene Fachplanungen (z.B. Gefahrenzonenplan) und Raumplanungen (z.B. Flächenwidmungsplan, Bebauungsplan) herangezogen werden. Ist durch diese Planungen kein ausreichender Schutz für die betroffenen Menschen und deren Güter herzustellen oder erfordern die Schutzmaßnahmen einen unverhältnismäßig hohen Aufwand, so muss eine Absiedlung in Betracht gezogen werden.

Durch die **2. Säule »Bautechnische Maßnahmen«** und die **3. Säule »Ökologische Maßnahmen«** soll die Rutschung zurückgehalten werden. Bei den bautechnischen Maßnahmen existieren vielfältige Möglichkeiten für eine Verbauung. Zu den ökologischen Maßnahmen zählen sowohl ingenieurbiologische Maßnahmen (z.B. Schutzwald) als auch eine standortgerechte Landnutzung. Wichtig ist bei allen Maßnahmen, dass sie untereinander und auf die Rutschung vor Ort abgestimmt sind.

Eine ebenso große Bedeutung wie den Säulen 1 bis 3 kommt der 4. Säule »**Bewusstseinsbildung**« zu. Dabei wird die Bevölkerung für die Gefahr sensibilisiert und am Planungsprozess aktiv beteiligt. In der Regel steigt dadurch die Akzeptanz für Maßnahmen und die Bevölkerung kann selbst tätig werden, indem sie gefährdete Bereiche von Bebauung frei hält und das Land angemessen nutzt. Außerdem hat sie bei rechtzeitiger Aufklärung die Möglichkeit Eigenvorsorge zu betreiben, z.B. im Rahmen von Versicherungen oder durch bauliche Maßnahmen am eigenen Gebäude.

Handlungsempfehlungen

Aus dem Landmanagementkonzept ergeben sich zwei Handlungsoptionen (siehe *Bild 10*) für Doren. Die erste empfiehlt eine Absiedlung der Bevölkerung im Gefahrenbereich. Dies ist fachlich damit zu begründen, dass es sich um eine Rutschung mit geologischer Ursache handelt, die sich weiterhin fortsetzen wird und auch bautechnische Maßnahmen keine langfristige Stabilisierung der Rutschung garantieren. Kann eine Absiedlung, z.B. aus gesellschaftspolitischen Gründen, nicht durchgeführt werden, muss eine Hangstabilisierung durch bautechnische und ökologische Maßnahmen versucht werden (Handlungsoption 2). Hier bleibt aber immer ein Restrisiko. Wichtig ist in beiden Fällen, dass durch gezielte Bodenpolitik und Planung der gefährdete Bereich künftig von weiterer Bebauung freigehalten wird. Außerdem ist eine aktive Beteiligung der Bevölkerung zu empfehlen, da sich dadurch die Akzeptanz für Maßnahmen erhöht und die Eigenvorsorge der Bürger angeregt wird.

Handlungsoption 1: Absiedlung	Handlungsoption 2: Stabilisierung der Rutschung
Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> - Keine weiteren Kosten für bautechnische und ökologische Maßnahmen - Rutschung kann sich selbst überlassen werden - Meidung des Gefahrengebietes 	Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> - Keine Absiedlung nötig - Keine Umlegung der Landesstraße
Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> - Beträchtliche Einschnitte in das Leben der Umsiedler (z.B. Ängste, soziale Spannungen und finanzielle Belastungen) - Kosten für Umsiedlung 	Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> - Hohe Kosten für bautechnische und ökologische Maßnahmen - Keine Garantie für Aufhaltung der Rutschung - Flächenbereitstellung für Maßnahmen - Restrisiko bleibt

Bild 10: Handlungsoptionen für die Gemeinde Doren

Einordnung in den ERM-Kreislauf

Das erstellte 3D-Modell bietet die Möglichkeit, die Einsatzkräfte bei Naturkatastrophen zu unterstützen (siehe *Bild 11*). Dadurch kann ein Beitrag zur Bewältigung im ERM-Kreislauf geleistet werden. Zusätzlich bietet ein 3D-Modell Analysemöglichkeiten, z.B. für Geologen bei der

Modellierung von Hangrutschungen. Demzufolge werden Daten für den Beurteilungsprozess im Risikokreislauf aufgenommen, prozessiert und bereitgestellt. Eine umfassende Datenaufnahme und Dokumentation von Ereignissen ist ein wichtiger Bestandteil des ERM. Für wiederkehrende Ereignisse, wie in Doren, können bei mehrfacher Befliegung Zeitreihen erstellt und 3D-Veränderungsanalysen durchgeführt werden.

Das Landmanagementkonzept mit seinen vier Säulen »Planung und Bodenpolitik«, »Bautechnische Maßnahmen«, »Ökologische Maßnahmen« und »Bewusstseinsbildung« zielt hingegen darauf ab, zum einen das Risiko einer Naturkatastrophe als auch deren möglichen Auswirkungen zu verringern. Dies zeigt sich vor allem am obersten Prinzip des Konzeptes, der Flächenvorsorge, mit den Themen Schutzfunktion der Fläche, angepasste Landnutzung und Bereitstellung von Flächen für Schutzmaßnahmen. Folglich sollte bei der Planung der gefährdete Bereich künftig von Bebauung freigehalten werden. Außerdem ist die Bevölkerung aktiv am Planungsprozess zu beteiligen, um die Akzeptanz für Maßnahmen zu erhöhen und die Eigenvorsorge der Bürger anzuregen. Das Landmanagementkonzept kann auch auf andere Naturgefahren übertragen werden, muss aber immer auf die spezielle Situation vor Ort zugeschnitten werden. Allgemein werden beim Landmanagement Maßnahmen zur Vorsorge und Prävention angewendet. Folglich lässt sich das Landmanagementkonzept im ERM-Kreislauf in die Vorbeugung einordnen (siehe Bild 11).

Ein Zusammenhang zwischen 3D-Rekonstruktion und Landmanagementkonzept besteht nur indirekt. Grund dafür ist, dass das 3D-Modell einen Rohdatenstatus darstellt und für das Landmanagement, ohne Weiterverarbeitung und Veredelung, keine unterstützenden Informationen liefern kann. Die Weiterverarbeitung kann z.B. durch Geologen erfolgen, welche daraus Gefahrenkarten erstellen.

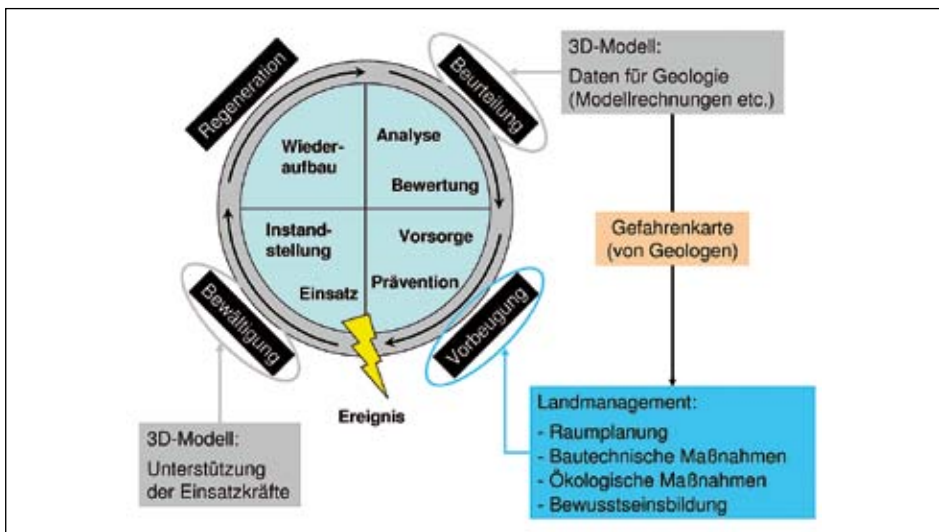


Bild 11: Einordnung der 3D-Rekonstruktion und des Landmanagements in den ERM-Kreislauf

Zusammenfassung

Bei der Hangrutschung im Projektgebiet Doren handelt sich um eine, aus geologischer Sicht komplexe Rutschung, die seit 1847 regelmäßig aktiv ist. Es ist davon auszugehen, dass die Abbruchkante in ca. 50 Jahren die nächstliegenden Gebäude erreicht. Diese Situation stellt eine Gefahrenlage dar, die Analysen und darauf aufbauende Handlungskonzepte erfordert.

Im photogrammetrischen Teil der 3D-Rekonstruktion konnten aus Aufnahmen der 3K-Kamera des DLR Epipolarbilder generiert werden. Aus diesen wurde ein Disparitätenbild erstellt, das eine Berechnung von Höhenwerten ermöglicht. Diese wurden in einem 3D-Modell visualisiert. Um der Rutschung in Doren aktiv zu begegnen wurde ein Landmanagementkonzept mit den vier Säulen »Planung und Bodenpolitik«, »Bautechnische Maßnahmen«, »Ökologische Maßnahmen« und »Bewusstseinsbildung« erstellt. Darauf aufbauend konnten Handlungsmöglichkeiten (Absiedlung oder Stabilisierung der Rutschung) für Doren aufgezeigt werden, die eine nachhaltige Entwicklung ermöglichen.

Grundsätzlich konnte dargelegt werden, wie die oben beschriebenen Tätigkeiten der Geodäsie einen Beitrag zum Environmental Risk Management liefern können, die 3D-Rekonstruktion in den Bereichen Beurteilung und Bewältigung, das Landmanagement in der Vorbeugung.

Danksagung

Wir möchten uns beim Institut für Methodik der Fernerkundung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, der Wildbach- und Lawinenverbauung (Sektion Vorarlberg) und dem Land Vorarlberg für die Bereitstellung der Daten über das Projektgebiet bedanken. Außerdem gilt unser Dank unseren Betreuern Dipl.-Ing. C. Groß (Lehrstuhl Bodenordnung und Landentwicklung), Dr.-Ing. M. Butenuth und Dipl.-Inf. K. Zhu (Lehrstuhl Methodik der Fernerkundung) für das Engagement und die fachliche Unterstützung bei unserem Projekt.

Literatur

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.) [2002]: Wildbäche. Faszination und Gefahr. Spektrum Wasser 3. München.

Bradski G, Kaehler A [2008]: Learning OpenCV. Beijing: O'Reilly.

Gemeinde Doren (Hrsg.) [2010]: Offizielle Homepage der Gemeinde Doren. - URL www.doren.at - Zugriffsdatum: 01.03.2010.

Hübl J, Kienholz H, Loipersberger A [2006]: DOMODIS: Dokumentation alpiner Naturereignisse [Documentation of Mountain Disasters], Internationale Forschungsgesellschaft Interpraevent, Klagenfurt (Österreich).

- Kienholz H, Krummenacher B, Kipfer A, Perret S* [2004]: Aspects of Integral Risk Management in Practice-Considerations with Respect to Mountain Hazards in Switzerland. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 56. Jg., H. 3-4: 43-50. Wien: Springer.
- Kurz F* [2009]: Accuracy assessment of the DLR 3K camera system. In: DGPF Tagungsband, 18. Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation. Jahrestagung, 2009-03-24 2009-03-36, Jena.
- Kurz F, Rosenbaum D, Thomas U, Leitloff J, Palubinskas G, Zeller K, Reinartz P* [2009]: Near real time airborne monitoring system for disaster and traffic applications. ISPRS Commission IV WG 3. ISPRS Hannover Workshop 2009: High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information Hannover, XXXVIII-1-4-7_W5.
- Magel H* [2006]: Landmanagement – das rätselhafte Wesen? Deutsche Betrachtungen aus internationaler Sicht. FUB H. 7/2006.
- Magel H* [2010]: Was sind Landentwicklung und Ländliche Entwicklung (in) unserer Gesellschaft wert? Oder: warum und welche Wertschöpfung brauchen wir. Anmerkungen aus akademischer und praktischer Sicht. Vortrag im Rahmen der Fachtagung »Wertschöpfung durch Landentwicklung und ländliche Bodenordnung« in Emmelshausen am 12. April 2010.
- Rudolf-Miklau F* [2009]: Naturgefahren – Management in Österreich. Vorsorge – Bewältigung – Prävention. Wien: LexisNexis.
- WLV Wildbach und Lawinenverbauung (Hrsg.) [2007]: Geologische Geotechnische Erstbeurteilung. Rutschung Doren.
- WLV Wildbach und Lawinenverbauung (Hrsg.) [2008]: Geologisch-, Geotechnischer Abschlussbericht. Rutschung Doren.
- Zhu K, Butenuth M, d'Angelo P* [2010]: Computational optimized 3D reconstruction system for airborne image sequences. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, ISPRS Commission I Symposium, Image Data Acquisition - Sensors & Platforms, accepted.

Expertenverzeichnis

- Singer J* [2010]: Persönliches Gespräch am 06.04.2010 (Lehrstuhl für Ingenieurgeologie TU München)
- Wöhler-Alge M* [2010]: Telefonische Auskunft am 08.04.2010 (Wildbach- und Lawinenverbauung Sektion Vorarlberg)