

Identifizierung gravitativer Massenbewegungen mittels multitemporaler Luftbildauswertung in Vorarlberg und angrenzender Gebiete

NILS TILCH*

20 Abbildungen, 1 Tabelle

Österreichische Karte 1:50.000
Blatt 112 Bezau

Vorarlberg
Gravitative Massenbewegungen
Multitemporale Luftbildauswertung

Inhalt

Zusammenfassung	21
Abstract	22
Einleitung und Problemstellung	22
Chancen und Limitierungen der visuellen Auswertung von Luftbildern	24
Verfügbare Luftbilder	25
Strategie und Methodik der Luftbildauswertung	26
Ergebnisse und deren Auswertung	26
Extraktion von Prozessdaten hoher Qualität für Modellrechnungen	36
Schlussfolgerungen und Diskussion	38
Literatur	39

Zusammenfassung

Für Vorarlberg und angrenzende Gebiete wurden Luftbilder unterschiedlichen Datums systematisch visuell ausgewertet, um Informationen zu gravitativen Massenbewegungen und deren Standortfaktoren zu erhalten. Dies erfolgte einerseits basierend auf den für Vorarlberg verfügbaren Luftbildserien der Jahre 2005 (nur partiell vorliegend) und 2006 (flächendeckend vorliegend). Andererseits wurden alle verfügbaren 8 Luftbildserien aufgrund des recht großen Zeitaufwandes vorerst nur für eine Teilregion im Bregenzerwald ausgewertet. Insgesamt konnten so 3.019 gravitative Massenbewegungen identifiziert werden.

Insbesondere basierend auf der flächendeckend verfügbaren Luftbildserie von 2006 konnten viele Prozesse identifiziert werden ($n = 2.532$). Hierbei handelt es sich überwiegend um Prozesse, die nur mittels dieser Luftbildserie identifizierbar sind ($n = 1.901$). Dies ist vor allem in der noch recht kurzen Zeitspanne zwischen dem Aufnahmedatum der Luftbildserie und einer überregionalen Katastrophe mit zahlreichen gravitativen Massenbewegungen im August 2005 begründet.

Im Vergleich dazu wurden mittels der nur partiell verfügbaren Luftbildserie von 2005, welche kurz nach derselben überregionalen Katastrophe erzeugt wurde, insgesamt 1.053 gravitative Massenbewegungen identifiziert. Hierbei handelt es sich im Vergleich zu jenen der Luftbildserie von 2006 überwiegend um redundante Informationen ($n = 713$). Obwohl die Luftbilder von 2005 nicht flächendeckend zur Verfügung stehen, ist der Anteil jener Prozesse recht groß, die nur in dieser Luftbildserie identifizierbar sind (12 % aller identifizierten Prozesse). Es ist allerdings auch aufgrund der nicht flächendeckenden Verfügbarkeit der Luftbildserie der Anteil nicht identifizierbarer Prozesse recht groß. Diese Ergebnisse machen deutlich, dass die Anzahl identifizierbarer Prozesse insbesondere durch zu regionalen Katastrophen zeitnahe Luftbilder (aufgrund der im Allgemeinen noch deutlichen Prozessphänomenologie) sehr erhöht werden kann und dies somit zu einem tendenziell vollständigen Prozesskataster führen kann.

Multitemporale Luftbildauswertungen in einem Teilbereich des Bregenzerwaldes bestätigen zusätzlich, dass dort die Anzahl der mittels der Luftbildserien von 2005 und 2006 identifizierten Prozesse deutlich größer ist als jene, welche mittels aller anderen Luftbildserien zusammen erzielt wurde.

Der Anteil jener Prozesse, die nur in einer Luftbildserie identifiziert werden konnten, beträgt immerhin 36,7 %, wobei hierbei die Anteile der zur überregionalen Katastrophe im August 2005 zeitnahen Luftbilder von 2005 und 2006 besonders groß sind (11,5 % und 15,7 %). All dies unterstreicht, dass auch eine Auswertung möglichst vieler Luftbildserien unterschiedlichen Datums sehr wichtig ist.

Es konnte ferner aufgezeigt werden, dass eine Auswertung möglichst vieler Luftbildserien unterschiedlichen Datums auch eine zeitliche Eingrenzung des Zeitraumes der Prozessentstehung ermöglichen. So hat sich beispielsweise im bearbeiteten Teilbereich ergeben, dass 70 % der gesamthaft mittels der Luftbilder von 2005 und 2006 identifizierten Prozesse erstmalig mittels dieser Luftbilder identifiziert werden konnten. Es handelt sich somit um potenziell neu entstandene Prozessräume. Bei etwa 30 % handelt es sich demnach um ältere Prozesse, die aufgrund ihrer progressiven Entwicklung und/oder dauerhaft sichtbaren Prozessphänomenologie auch

* NILS TILCH: Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. nils.tilch@geologie.ac.at

in diesen Luftbildern sichtbar sind. Von den 557 Prozessen, welche mittels der Luftbilder von 2005 und 2006 erstmals identifiziert wurden, sind 369 Prozesse nur in diesen Luftbildern sichtbar. Dies bedeutet, dass etwa 47 % der im Kernbereich gesamthaft identifizierten Prozesse nicht erfasst worden wären, wenn es die zur überregionalen Katastrophe zeitnahen Luftbilder nicht gegeben hätte.

Ein weiteres Potenzial multitemporaler Luftbilddauswertungen ist, dass Aussagen zur zeitlichen Abhängigkeit der Identifizierbarkeit von Prozessen möglich sind. Zum Beispiel konnte die potenzielle Dauer der Identifizierbarkeit verschiedener Prozessarten und -gruppen abgeleitet werden. So hat sich für jene Prozesse ergeben, die erstmals in der Luftbildserie von 2001, 2005 oder 2006 sichtbar waren, dass bereits nach wenigen Jahren ein recht großer Prozessanteil (insbesondere viele der flachgründigen Prozesse im Lockergestein) nicht mehr identifiziert werden kann. Auf Basis von Luftbilddauswertungen resultieren dann sehr unvollständige und zufällige Prozessinventare. Insbesondere nach regionalen Rutschungskatastrophen sollten daher möglichst bald und möglichst flächendeckend neue Luftbilder erstellt werden. Zwecks statistischer Modellierung von hochwertiger Prozessdispositions-karten (Gefahrenhinweiskarten) wurden abschließend die im Teilbereich des Bregenzerwaldes mittels multitemporaler Luftbilddauswertung erzielten Prozessinformationen einer hierarchischen Qualitäts- und Eignungskontrolle unterzogen. Hierdurch hat sich ergeben, dass lediglich 46 % des ursprünglichen Datensatzes für Modellrechnungen relevant sind, mit Hilfe derer prozess- und ereignisspezifische Dispositions-karten hoher Qualität erzeugt werden können.

Identification of gravitational mass movements by means of multitemporal aerial photo interpretation in Vorarlberg and adjacent areas

Abstract

Aerial photos taken on different dates for Vorarlberg and its surrounding areas were systematically evaluated visually to obtain information about gravitational mass movements and their conditions. On the one hand this was done based on the aerial photo series of 2005 (only partially available) and 2006 (broadly available). On the other hand a further six area-covering aerial photo series, which were taken on different dates, were analysed in a partial region of the Bregenz Forest. In total 3,019 gravitational mass movements were identified. Based on the available area-covering aerial photos of 2006 many processes were particularly identified ($n = 2,532$). These are processes which are principally only identifiable by this photo series ($n = 1,901$). This is mainly caused by the short period of time between the date of the aerial photos and an over-regional disaster in August 2005, which was characterized by numerous gravitational mass movements.

In comparison, a total of 1,053 gravitational mass movements were identified based on the partially available aerial photos of 2005, which were created shortly after the over-regional disaster. These are on the whole information ($n = 713$) which are redundant to those of the aerial photos of 2006.

Although the aerial photos from 2005 are not area-wide available, the proportion of those processes is quite large, which are only identifiable in these aerial photos (12 % of all identified processes). But the proportion of non-identifiable processes is quite large, because these aerial photos are not area-wide available. These results make it clear, that the number of identifiable processes can be greatly enhanced in particular by timely aerial photos after regional disasters (due to the generally more significant process phenomenology), so that a potentially more complete process cadastre can be achieved.

Multi-temporal analysis of aerial photos in a partial region of the Bregenz Forest additionally confirm, that there the number of identified processes by using aerial photos of 2005 and 2006 processes is significantly greater than that which was achieved by all other aerial photo series together. The proportion of those processes, which could be identified only in one aerial photo series, is 36.7 %, whereby in this case the proportion of the aerial photo series from 2005 and 2006 are particularly high (11.5 % and 15.7 %). All of this confirms, that an analysis of many aerial photo series of different date is very important.

It could further be shown, that many aerial photo series of different dates also allow a temporal assignment of the processes. For example in the sub-region of Vorarlberg 70 % of the processes, which were identified, based on the aerial photos from 2005 and 2006, are not identifiable in older aerial photos. Therefore, these are potentially new processes, which developed between 2001 and 2005. Approximately 30 % are older processes, which are also visible in this aerial photo series due to their progressive development and/or permanently visible process phenomenology. Of the 557 processes which were identified as new processes in the period 2001 till 2006 are only 369 processes visible in these aerial photos. This means that about 47 % of the overall identified processes in the partial region would not have been recognized, if the aerial photographs created shortly after the events would not exist.

Another potential multi-temporal analysis of aerial photos is, that statements about the temporal dependence of the identifiability of processes are possible. For example, the average potential duration of identifiability of different process types and groups could be derived. It is noteworthy that a large proportion process for a few years ago is already no longer identifiable. These are mainly processes in sediments (earth/mud flows and soil slips). Based on the analysis of aerial photos resulted in very incomplete and random process inventories. Therefore, it is very important that new aerial photos are created as soon as possible after regional disasters and as widely as possible.

Finally, the process information which was generated in the sub-region of the Bregenz Forest were checked regarding their quality and suitability for statistical modelling of process-oriented susceptibility maps. It has been found that only 46 % of the original data set are relevant for modelling in order to generate process- and event-specific susceptibility maps with high quality.

Einleitung und Problemstellung

In den letzten Jahren hat der Bedarf in Österreich insbesondere seitens der Raumplanung dahingehend zugenommen, dass möglichst flächendetaillierte und flächendeckende Beurteilungen der räumlichen und/oder zeitlichen Variabilität der Disposition für verschiedene Arten gravitativer Massenbewegungen vorliegen. Deshalb werden zunehmend Prozessdispositions-karten bzw. sogenannte Gefahrenhinweiskarten erstellt. Zwecks Erzeugung dieser Karten können unterschiedliche Methoden bzw. Modelltechniken eingesetzt werden, wobei den dafür zur Verfügung stehenden Prozessdaten je nach der verwendeten Methode eine unterschiedlich große Bedeutung

als Trainings-, Test- und/oder Validierungsdaten zukommt (Abb. 1). So haben auch bisherige Untersuchungen seitens der Geologischen Bundesanstalt gezeigt, dass bei tendenziell schlechterer Prozessdatenlage eher heuristische Methoden geeignet sind, da die Modelle nicht mittels Prozessdaten geringer Qualität und/oder Anzahl trainiert und getestet werden müssen (vgl. TILCH et al., 2011; Abb. 2).

Im Gegensatz dazu benötigen statistische Methoden/Modelle auch Prozessdaten als Modelltrainingsdaten und -testdaten. Die Qualität der mittels statistischer Modelle erzeugten Prozessdispositions-karten hängt somit auch direkt von der Qualität, Anzahl und Lage/Verteilung der zur Verfügung stehenden Prozessdaten ab (Abb. 3). Auf der Basis einer eher schlechteren Prozessdatenlage wer-

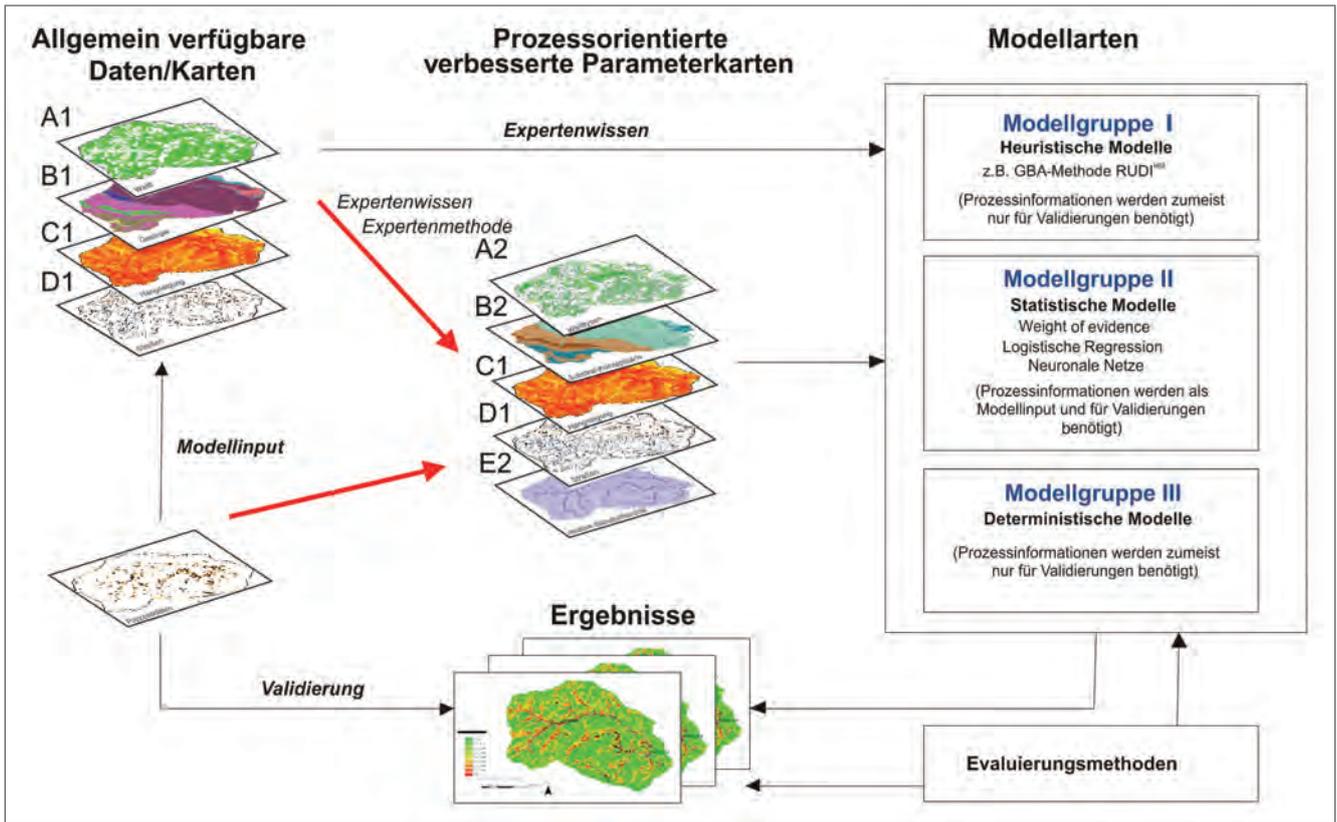


Abb. 1. Schematische Darstellung des generellen Datenflusses im Rahmen einer Dispositionsanalyse mittels verschiedener Methoden. Im Fall heuristischer Methoden werden nicht zwangsläufig Prozessdaten als Modelltrainingsdaten oder -testdaten benötigt. Auch im Fall fehlender Prozessdaten können heuristische Methoden eingesetzt werden, allerdings sind dann die Ergebnisse nicht validierbar/plausibilisierbar, so dass keine Aussage zur Qualität der Dispositionskarte möglich ist. Abbildung nach TILCH et al. (2011).

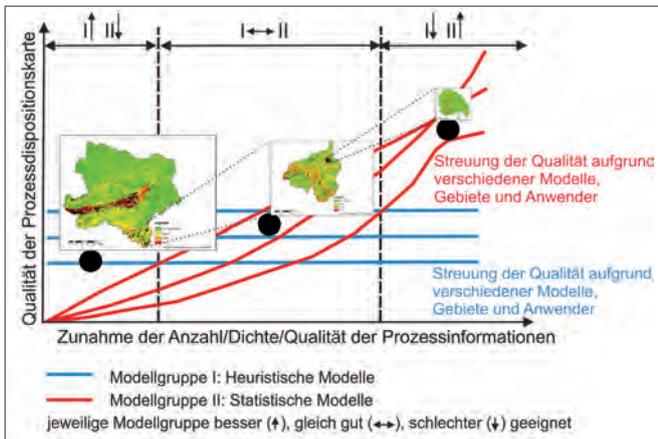


Abb. 2. (links) Schematische Darstellung einer Arbeitshypothese hinsichtlich der allgemeinen Abhängigkeit der Qualität von Dispositionskarten (y-Achse) von der zur Verfügung stehenden Datenlage (x-Achse), z.B. durch Heterogenität der Datenqualität und der Art der angewendeten Modellierungsmethode. Hier ein Vergleich heuristischer (blaue Linien) und statistischer Methoden (rote Linien). Abbildung nach TILCH et al. (2011).

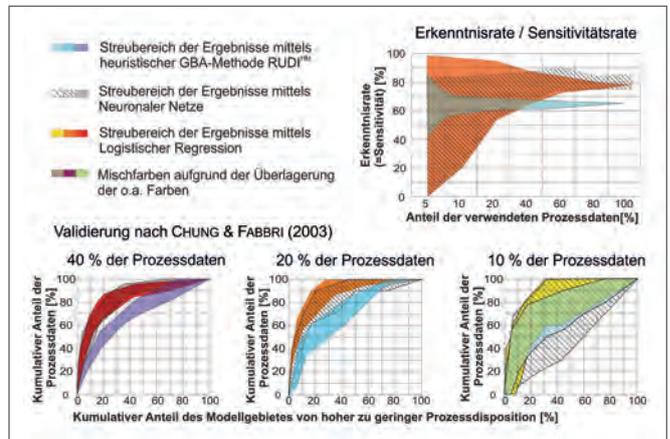


Abb. 3. (rechts) Validierungsergebnisse mittels Erkenntnisrate/Sensitivitätsrate (Anteil der Validierungsdaten in hohen Dispositionsclassen, Abbildung oben rechts) und mittels Methode nach CHUNG & FABBRI (2003), welche anhand Neuronaler Netze, logistischer Regression und einfacher heuristischer GBA-Methode für die Region Gasen-Haslau unter Verwendung vollständiger und schrittweise reduzierter, unvollständiger Prozessdaten erzielt wurden. Alle Validierungen erfolgten hinsichtlich eines methodenübergreifenden Vergleichs mittels der schrittweise methodenspezifisch zur Verfügung stehenden Validierungsdaten. Abbildung nach TILCH et al. (2013).

den somit mittels statistischer Methoden Prozessdispositionskarten erzeugt, die ebenfalls mit Validierungsdaten schlechterer Datenlage zufällig gut oder schlecht validiert werden. Eine objektive Abschätzung der Qualität der Dispositionskarte ist dann nicht möglich. Grundsätzlich ergibt

sich daraus die Schlussfolgerung, dass zwecks Erzeugung von Prozessdispositionskarten im Fall einer eher schlechten Prozessdatenlage heuristische Methoden vorzuziehen sind, auch wenn für diese Methode die Validierungsergebnisse ebenfalls unsicher sind.

Solche Untersuchungen belegen, dass für eine Erzeugung nachweislich objektiverer und hochqualitativerer Prozessdispositions-karten auch möglichst viele Prozessdaten hoher Qualität benötigt werden. Im Idealfall handelt es sich um ein vollständiges Prozessinventar, was allerdings nie und nirgends erreicht werden kann.

Ein erster wichtiger Schritt in die richtige Richtung ist allerdings, dass alle folgenden allgemein verfügbaren Datengrundlagen konsequent und in konformer Weise hinsichtlich relevanter Informationen zu gravitativen Massenbewegungen durchforstet und ausgewertet werden:

- Zeitzeugenauskünfte.
- Tagespresse und Internet.
- Öffentliche Archive und Bibliotheken allgemeiner Art (z.B. jene der Gemeinden) sowie Facharchive und Fachbibliotheken.
- Private Foto- und Kartenarchive.
- Luftbilder und Satellitendaten.
- Digitale Höhen- und Geländemodelle.

Vor diesem Hintergrund hat man sich mit der visuellen Auswertung von Luftbildern im Bereich des österreichischen Bundeslandes Vorarlberg beschäftigt. Hierdurch sollten einerseits möglichst viele gravitative Massenbewegungen identifiziert und im GIS verortet werden, andererseits möglichst detaillierte Informationen zur Prozessart sowie zu den für den jeweiligen Prozess relevanten potenziellen Standortfaktoren und auslösenden Faktoren erhalten werden.

Chancen und Limitierungen der visuellen Auswertung von Luftbildern

Luftbilder sind Momentaufnahmen und zeigen einen Geländebereich räumlich-flächendeckend in jenem Zustand, in dem sich dieser Ausschnitt zum Aufnahmezeitpunkt aus der Bildaufnahme-position präsentiert. Es können all jene prozessrelevanten Details identifiziert und räumlich abgegrenzt werden, die entsprechend der vorliegenden Bildqualität noch hinreichend groß und/oder kontrastreich sind. Die Luftbildauswertung liefert nicht nur Informationen zur Existenz einer gravitativen Massenbewegung, sondern auch zu den erkennbaren Standortverhältnissen und (potenziellen) Prozess- und Wirkungsbereichen, die beispielsweise wiederum auf Konfliktbereiche (z.B. (potenzielle) Schadensorte) schließen lassen.

Luftbilder geringerer Qualität (unscharf und kontrastarm) führen insbesondere dann zu unsicheren Prozessinformationen, wenn diese die einzige Informationsquelle sind. Mittels multitemporaler Luftbildauswertung ergibt sich aber die Chance, dass sich insbesondere permanente oder episodisch/zyklisch progressiv entwickelnde Prozessräume und deren Standortverhältnisse mittels der Luftbildserien höherer Qualität identifizieren und bewerten lassen. Aber auch nur temporär sichtbare bzw. identifizierbare Prozessräume können möglicherweise noch aufgrund kürzerer Zeitspannen zum zeitlich folgenden Luftbild höherer Qualität identifiziert und bewertet werden, so dass auch hinsichtlich der Qualität der Prozessinformation eine Verbesserung erzielt werden kann.

Je nach dem Sonnenstand zum Aufnahmezeitpunkt und den standortspezifischen topografischen und botanischen

Verhältnissen am Prozess-Standort und im näheren Umfeld kann es zu unterschiedlichen Abschattungs-bereichen kommen. Dort können dann aufgrund der mangelhaften Kontraste keine oder nur unsichere Prozessinformationen erzielt werden (Abb. 4, links).

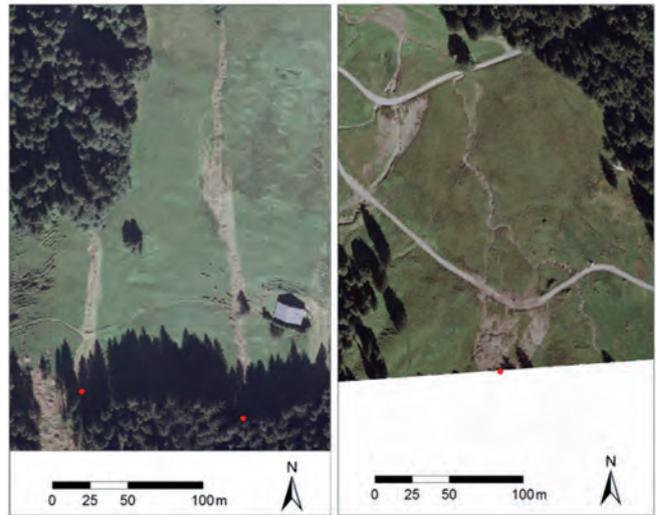


Abb. 4. Beispiele für erzielte unsichere Prozessinformationen aufgrund von Abschattungen (links: im Bereich der Bäckenswaldalpe südlich Bonacker im Laternsertal. Dort eindeutige Identifizierung einer Hangmure, aber unsichere Verortung des Abrissbereiches) und verfügbarem Luftbildausschnitt (rechts: im Bereich der Iferwiesalpe südöstlich Schönenbachvorsäß), was zu Lageungenauigkeiten führt. Rote Punkte: Ungenaue/unsichere Lage der Abrissbereiche der Hangmuren. Quelle der Luftbilder: WMS-Service der Vorarlberger Landesregierung.



Abb. 5. Hangmuren im Bereich Berbigen/Vorsäß (Bregenzerwald). Mittels des zeitnahen Luftbildes sind die im August 2005 entstandenen Prozessbereiche und Standortverhältnisse im Abrissbereich der Hangmuren gut sichtbar (oben), während diese mittels eines Luftbildes von 2006 nicht mehr sichtbar bzw. identifizierbar sind (unten). Quelle der Luftbilder: WMS-Service der Vorarlberger Landesregierung.

Eine weitere Limitierung hinsichtlich der möglichen Qualität von Prozessinformationen ergibt sich dann, wenn Prozessbereiche nicht vollständig durch den Ausschnittbereich des Luftbildes erfasst werden (Abb. 4, rechts). So können einerseits Prozessräume mit ihren Transport- und Ablagerungsbereichen in den Luftbildbereich hineinreichen, so dass eine genaue Verortung der Abrissbereiche nicht möglich ist. Andererseits ist es auch möglich, dass sich nur die Abrissbereiche von Prozessräumen im Luftbildbereich befinden, so dass zwar die Abrissbereiche gut verortet werden können, aber die Prozessansprache unsicher bleibt (z.B. Hangmure vs. Lockergesteinsrutschung). In beiden Fällen ist somit zwar die Existenz der Prozesse eindeutig belegt, jedoch sind die Gesamtinformationen aufgrund fehlender wichtiger Teilinformationen unsicher. Allerdings kann der dadurch bedingten unsicheren Prozessansprache mit einer übergeordneten Prozesszuordnung (=> gravitative Massenbewegung im Lockergestein) begegnet werden, während dies im Fall der unsicheren Prozessverortung nur mittels einer Auswertung zeitnah folgender, für den Abrissbereich vorhandener Luftbilder möglich ist. Ferner ergibt sich eine Limitierung durch jene Luftbildserien, die nicht den gesamten Untersuchungsraum abdecken, so dass eine Vielzahl der Prozessräume mittels Luftbildauswertung erst gar nicht identifiziert werden können. Insbesondere im Fall von Prozessräumen mit „kurzlebiger“ Prozessphänomenologie können die dadurch entstehenden Informationsdefizite beträchtlich sein. Allerdings ist ähnliches auch der Fall, wenn die Zeitspanne zwischen zwei aufeinanderfolgenden Luftbildern groß ist. So belegen beispielsweise die für Vorarlberg durchgeführten Luftbildauswertungen, dass Hangmuren und Lockergesteinsrutschungen in siedlungsnahen Bereichen in jenen Luftbildern, deren Aufnahmedatum etwa ein Jahr nach dem Zeitpunkt der Prozessentstehungen liegt, kaum oder nicht mehr zu identifizieren sind (Abb. 5).

Ebenso können andere Prozesse die vorhandene, für bestimmte Prozessarten signifikante Prozessphänomenologie maskieren oder gar ganz beseitigen. So wurde beispielsweise oftmals in hochalpinen Lagen festgestellt, dass die zunächst deutliche Prozessphänomenologie von flachgründigen Lockergesteinsrutschungen und Hangmuren durch Schneeschurfprozesse beseitigt wurde.

Daher ist es möglich, dass nicht nur im Fall von größeren Zeitspannen zwischen zwei Luftbildserien viele Prozesse nicht mehr identifiziert werden können.

Verfügbare Luftbilder

Im Vergleich zu vielen anderen Bundesländern Österreichs stehen für Vorarlberg viele Luftbildserien unterschiedlicher Aufnahmezeiträume/-Jahre zur Verfügung (Tab. 1), welche seitens der Vorarlberger Landesregierung im Internet mittels WMS-Service bereitgestellt werden.

Vier Luftbildserien liegen flächendeckend vor (2001, 2006, 2009, 2012), während weitere drei Luftbildserien nahezu flächendeckend, abgesehen von kleineren grenznahen Bereichen, verfügbar sind.

Die Luftbilder von 2005 wurden während oder kurz nach der überregionalen Hochwasser- und Rutschungskatastrophe im August 2005 (AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2006; MARKART et al., 2007) aufgenommen (Abb. 6).

Zeitspanne / Jahr der Luftbildserie	Relative Bildqualität	Räumliche Verfügbarkeit	Auswertung für Vorarlberg	Auswertung für Kerngebiet
1950er	mäßig	nahezu flächendeckend	nein	ja
1970er	mäßig	nahezu flächendeckend	nein	ja
1990er	mäßig–schlecht (unscharf)	nahezu flächendeckend	nein	ja
2001	gut	flächendeckend	nein	ja
2005	sehr gut	partiell („Streifenbefliegungen“)	ja	ja
2006	sehr gut	flächendeckend	ja	ja
2009	sehr gut	flächendeckend	nein	ja
2012	sehr gut	flächendeckend	nein	ja

Tab. 1. Zusammenstellung der für Vorarlberg verfügbaren Luftbilder, sortiert nach Aufnahmezeitspanne/-Jahr. Angegeben sind die abgeschätzte jeweilige relative Bildqualität, räumliche Verfügbarkeit sowie der Stand der Luftbildauswertungen im Dezember 2013 hinsichtlich der flächendeckenden Auswertung für Vorarlberg und ein Kerngebiet (Abb. 6).

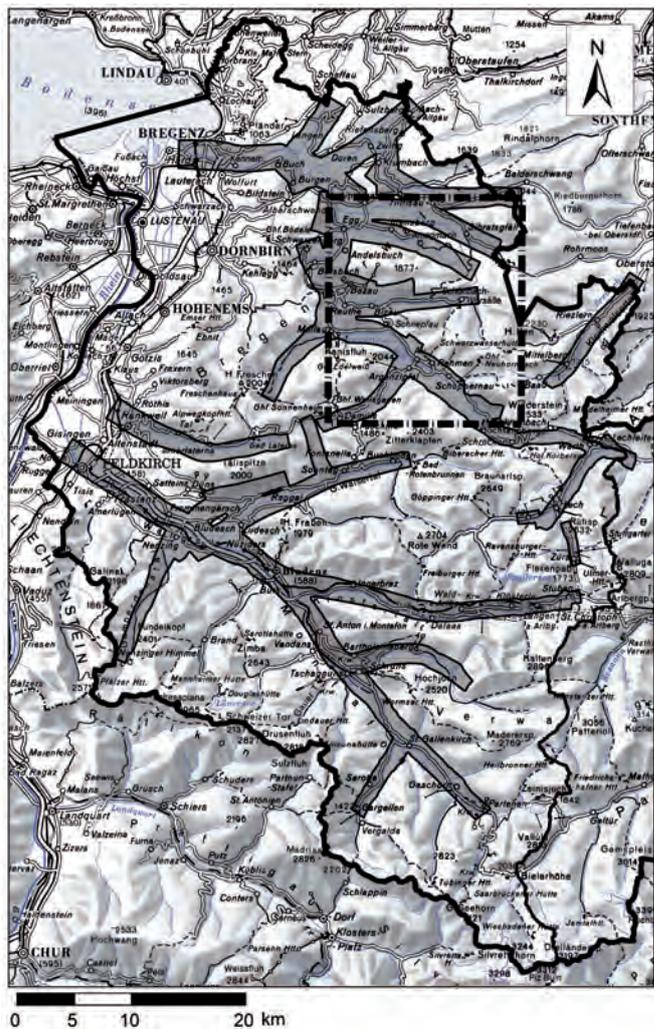


Abb. 6. Erstreckung der vorhandenen, zur überregionalen Katastrophe im August 2005 zeitnah aufgenommenen Luftbilder des Jahres 2005 (grau hinterlegte Bereiche) und Lage des gewählten Kerngebietes im Bregenzerwald hinsichtlich multitemporaler Luftbildauswertungen (gestrichelt umgrenzter Bereich). Quelle von DHM, Landesgrenzen und Situation: BEV ©.

Diese Luftbilder wurden vor allem im näheren Umfeld größerer Gerinne und Siedlungsbereiche erstellt, so dass diese nur für etwa ein Viertel der Landesfläche verfügbar sind. Im Rahmen der Luftbildauswertung ergeben sich deshalb vor allem hinsichtlich der im August 2005 entstandenen Prozesse mit nur kurzzeitig in Luftbildern sichtbarer Prozessphänomenologie Limitierungen zwecks Prozessidentifizierung und -ansprache.

Strategie und Methodik der Luftbildauswertung

Um den Aufwand für eine vollständige Auswertung der für den Bereich Vorarlbergs vorliegenden Luftbilder abschätzen zu können, wurde vorerst die Auswertung auf folgende Luftbilder beschränkt:

- zeitnahe Luftbilder der Jahre 2005 und 2006 zur überregionalen Katastrophe im August 2005;
- multitemporale Luftbildauswertungen im mutmaßlichen Kerngebiet der überregionalen Katastrophe von 2005 im Bereich des Brengenerwaldes (Abb. 6).

Diese Vorgehensweise wurde gewählt, da mittels der Luftbilder der Jahre 2005 und 2006 potenziell viele Prozessräume identifiziert werden können, andererseits in einem flächenmäßig überschaubaren Kerngebiet der Mehrwert (Chancen) und die Limitierungen einer multitemporalen Luftbildauswertung aufgezeigt werden können.

Nachdem in einem ersten Schritt die landesweite Auswertung der Luftbilder von 2005 und 2006 abgeschlossen war, wurden ergänzend zu den so erhaltenen Daten die Luftbilder der Zeitspannen bzw. Jahre gemäß Tabelle 1 im Kerngebiet entsprechend ihrer Chronologie ausgewertet.

Die ausgewerteten Luftbilder wurden im Maßstab 1:2.000 im GIS systematisch gesichtet. Dies erfolgte aus Gründen der Übersicht von Nord nach Süd zeilenweise, in dem der per Geografischem Informationssystem (GIS) sichtbare Bereich in Ost/West- bzw. West/Ost-Richtung verschoben wurde. An der Grenze Vorarlbergs wurde dann der im GIS sichtbare Bereich um eine Zeile nach Süden verschoben. Im Fall identifizierter/erkannter gravitativer Massenbewegungen wurden die Abrissbereiche (Herkunftsbereiche des Materials) mittels eines Vektor-Punktes verortet.

Die Attribuierung des jeweiligen Vektorpunktes wurde in folgender Weise vorgenommen:

Prozessansprache: Diese erfolgte entsprechend der hierarchischen Prozessklassifikation des Schwerpunktprogramms GEORIOS der Geologischen Bundesanstalt.

Relative Verortungsgenauigkeit: Der Angabe der relativen Verortungsgenauigkeit liegt der Betrachtungs- und Digitalisierungsmaßstab 1:2.000 zugrunde. Eine mangelhafte Verortungsgenauigkeit kann bereits allein dazu führen, dass eine Prozessinformation insgesamt als unsicher bewertet wird. Gründe für unsichere Verortungen können beispielsweise Abschattungen und Vegetationsüberschirmungen sein (Abb. 4).

Relative Informationsqualität: Diese wurde synoptisch, basierend auf der möglichen Prozessansprache und Verortungsgenauigkeit abgeschätzt (sicher, unsicher, sehr unsicher).

Prozessrelevante Faktoren: Erkannte mögliche ursächliche und/oder auslösende Einflüsse von Verkehrswegen (z.B. Untergrundbeschaffenheit, veränderte Hanghydrologie, Hanggeometrie) und Gewässern (z.B. Hangunterschneidung durch fluviatile Ufererosion) auf die Prozessentstehung.

Prozesskategorie „Modellrelevanz“: Unterscheidung relevanter (gravitative Massenbewegung im Lockergestein) und nicht relevanter Prozessinformationen (keine gravitative Massenbewegung im Lockergestein) hinsichtlich angestrebter Modellierungen zwecks Erstellung von Prozessdispositionsarten für gravitative Massenbewegungen im Lockergestein.

Sichtbarkeit und Identifizierbarkeit der Prozesse: Insbesondere im Zuge der multitemporalen Luftbildauswertung ist eine Attribuierung der Sichtbarkeit/Identifizierbarkeit eines Prozesses bzw. Prozessraumes angebracht, da so unter Berücksichtigung der Chronologie Informationen zur

- zeitlichen Variabilität der Sichtbarkeit/Identifizierbarkeit und
- möglichen Reaktivierung von Prozessräumen sowie
- permanenten/episodischen Progressivität eines Prozessraumes

gewonnen werden können.

Ergebnisse und deren Auswertung

Mittels der gesamthaft durchgeführten Luftbildauswertungen konnten 3.019 gravitative Massenbewegungen identifiziert werden (Abb. 8). Hierbei handelt es sich vornehmlich um gravitative Massenbewegungen im Lockergestein i.w.S. (gesamt 92 %). Hieran haben in abnehmender Folge Hangmuren (n = 1.506), Lockergesteinsrutschungen (n = 962) und gravitative Massenbewegungen im Lockergestein i.e.S. (n = 282) den größten Anteil (Abb. 7).

Im Fall der gravitativen Massenbewegungen im Lockergestein i.e.S. handelt es sich um Prozesse, die aufgrund der

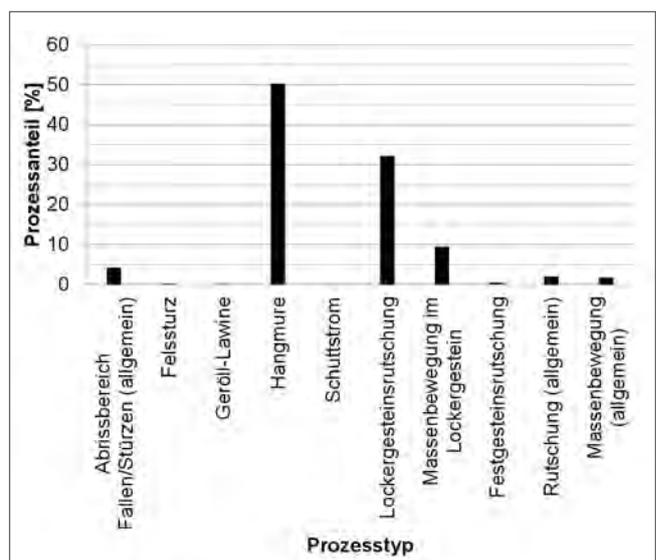


Abb. 7. Anteile der Prozesstypen, welche mittels Luftbildauswertung für Vorarlberg und dessen nähere Umgebung identifiziert und verortet wurden.

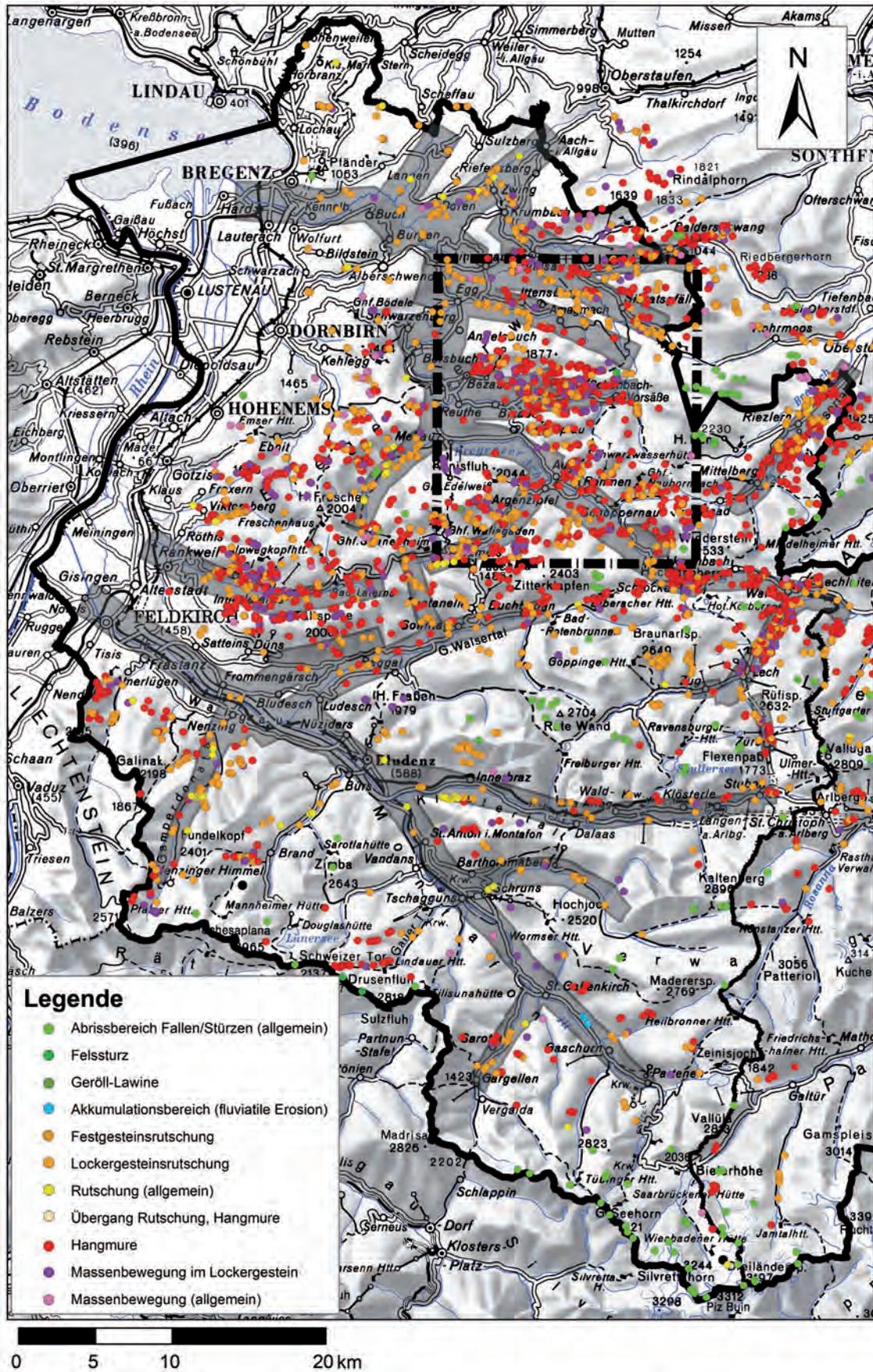


Abb. 8. Prozessinformationen (Lage, Prozessart), welche mittels Luftbildauswertung für Vorarlberg und dessen nähere Umgebung bisher erzielt wurden. Grau hinterlegter Bereich: Bereich der verfügbaren Luftbildserie des Jahres 2005. Mit gestrichelter schwarzer Linie umgrenztes Gebiet: Kerngebiet der Luftbildauswertung, in dem alle verfügbaren Luftbildserien hinsichtlich möglicher Informationen zu gravitativen Massenbewegungen ausgewertet wurden. Quelle von DHM, Landesgrenzen und Situation: BEV ©.

im Luftbild sichtbaren Phänomenologie weder den Lockergesteinsrutschungen, noch den Hangmuren eindeutig zugeordnet werden konnten.

In untergeordneten Anteilen wurden fallend-stürzende Prozesse (Abrissbereich Fallen/Stürzen (allgemein): 4,2 %; Felssturz: 0,1 %), Rutschungen allgemeiner Art (Rutschung (allgemein): 2,0 %), für die es nicht möglich war zu entscheiden, ob es sich um Fest- oder Lockergesteinsrutschungen handelt, und Festgesteinsrutschungen (0,4 %) identifiziert. Ferner sind Massenbewegungen allgemeiner Art (Massenbewegung (allgemein): 1,6 %) bedeutsam, hinsichtlich derer die sichtbare Prozessphänomenologie nicht ausreichend war, um sich für eine Prozessgruppe oder Prozessart festzulegen.

Hinsichtlich ihrer Prozessanteile sind Geröll-Lawinen (0,07 %) und Schuttströme (0,03 %) von sehr geringer Bedeutung.

Naturgemäß konzentrieren sich die identifizierten fallend-stürzenden Prozesse in überwiegend hoch gelegenen, relativ vegetationsfreien Gebirgsbereichen, wo sich Felschrofen in relativ harten Kristallin- und Karbonatgesteinen befinden.

Bezüglich der erzielten relativen Informationsqualität hat sich keine räumlich variable Abhängigkeit ergeben, denn der Anteil unsicherer Informationen ist landesweit etwa gleich (in Bereichen höherer Prozessdichte ist die Anzahl unsicherer Informationen entsprechend höher). Der durchschnittliche Anteil unsicherer Informationen beträgt etwa 20 %.

Hinsichtlich möglicher prozessrelevanter ursächlicher und prozessauslösender Faktoren hat die durchgeführte Luftbildauswertung ergeben, dass sich etwa 30 % der identifizierten und verorteten Prozesse im Nahbereich von Gerinnen befinden (insbesondere auf Grabenflanken). Es ist zu vermuten, dass diese Prozesse potenziell auch durch destabilisierende Einflüsse (Hangunterschneidung) der fluvialen Ufererosion ausgelöst wurden. Naturgemäß sind die betroffenen Prozesse vornehmlich entlang der größeren Vorfluter, aber auch entlang kleinerer Hanggerinne und Wildbäche vorzufinden.

Im Gegensatz zu durchgeführten Studien in anderen Regionen Österreichs, im Rahmen derer im Gelände kartierte Informationen vorlagen (z.B. Gasen-Haslau in der Steiermark, Klingfurth im südlichen Niederösterreich), hat sich mittels der bisherigen Luftbildauswertungen ergeben, dass der Anteil jener Prozesse sehr klein ist (7,5 %), für welche die Straßen und Wege als bedeutsamer Standortfaktor oder gar indirekt auslösender Faktor (Ableitung von Oberflächenwasser) wahrscheinlich sind. Dies ist möglicherweise in der Methodik der Luftbildauswertung begründet, da kleinere und/oder ältere Forstwege und Straßen im Luftbild aufgrund der Abschirmung durch Vegetation (z.B. im Wald) nicht erkannt werden.

In einem weiteren Schritt wurden ausschließlich jene Prozessinformationen ausgewertet, die mittels Auswertung der Luftbilder von 2006 erzielt wurden. Dies ist sehr sinnvoll, da sich die Auswertungen so auf eine landesweit konform verfügbare Datenbasis beziehen.

Daraus folgt, dass all jene Prozesse nun nicht berücksichtigt werden, die im Bereich des untersuchten Kerngebietes

- mittels älterer Luftbilder identifiziert wurden, aber aufgrund von Lichtabschattungen und/oder Abschirmungen der Vegetation oder vergänglicher Prozessphänomenologie in den Luftbildern von 2006 nicht identifiziert werden können, bzw.
- mittels jüngerer Luftbilder als Prozesse jüngeren Datums identifiziert wurden.

Es ist anzunehmen, dass dies insbesondere zur Identifizierung jener Prozesse führt, die im Zuge der überregionalen Katastrophe im August 2005 entstanden sind, da die Zeitspanne zwischen Ereignisdatum und Luftbilddatum gering ist und somit die Prozessphänomenologie oft noch recht deutlich im Luftbild zu erkennen ist. Dies bestätigt sich durch die räumliche Verteilung der erzielten Prozessinformationen ($n = 2.532$), da die Prozessinformationsdichte im Bereich der im August 2005 betroffenen Katastrophenregionen im nördlichen Landesgebiet deutlich höher ist (Abb. 11, links).

Eine vergleichbare Verteilung ergibt sich auch für die mittels der Luftbildstreifen von 2005 erzielten Prozessinformationen ($n = 1.053$). Hierbei handelt es sich aber teilweise um redundante Prozessinformationen ($n = 713$).

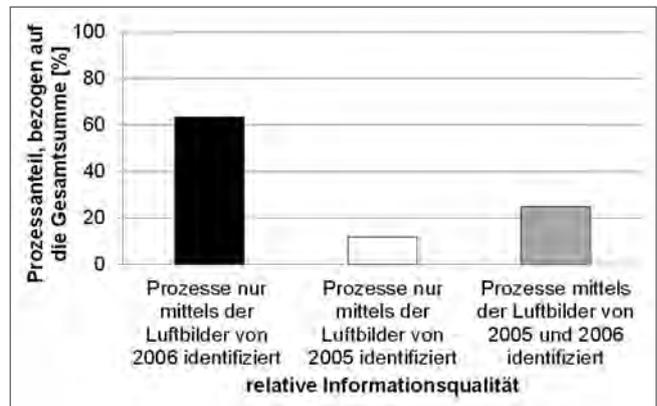


Abb. 9. Prozessanteile der im Bereich Vorarlbergs mittels der Luftbilder der Jahre 2005 und 2006 identifizierten gravitativen Massenbewegungen.

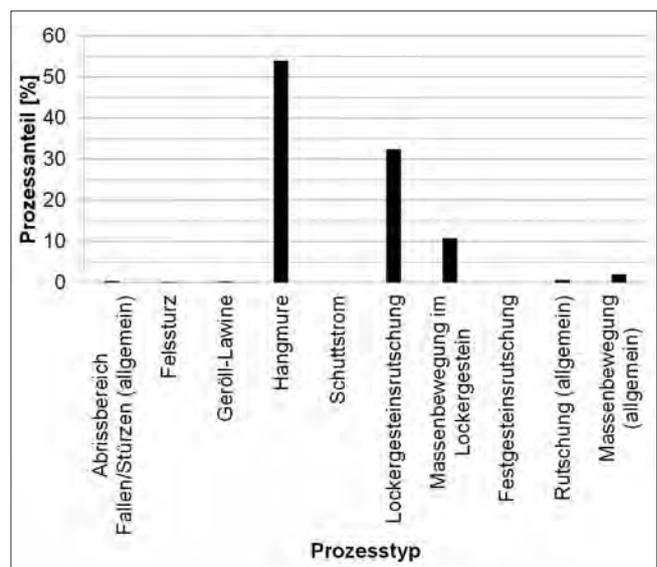


Abb. 10. Anteile der Prozesstypen, welche mittels Luftbildauswertung innerhalb des Kerngebietes identifiziert und verortet wurden.

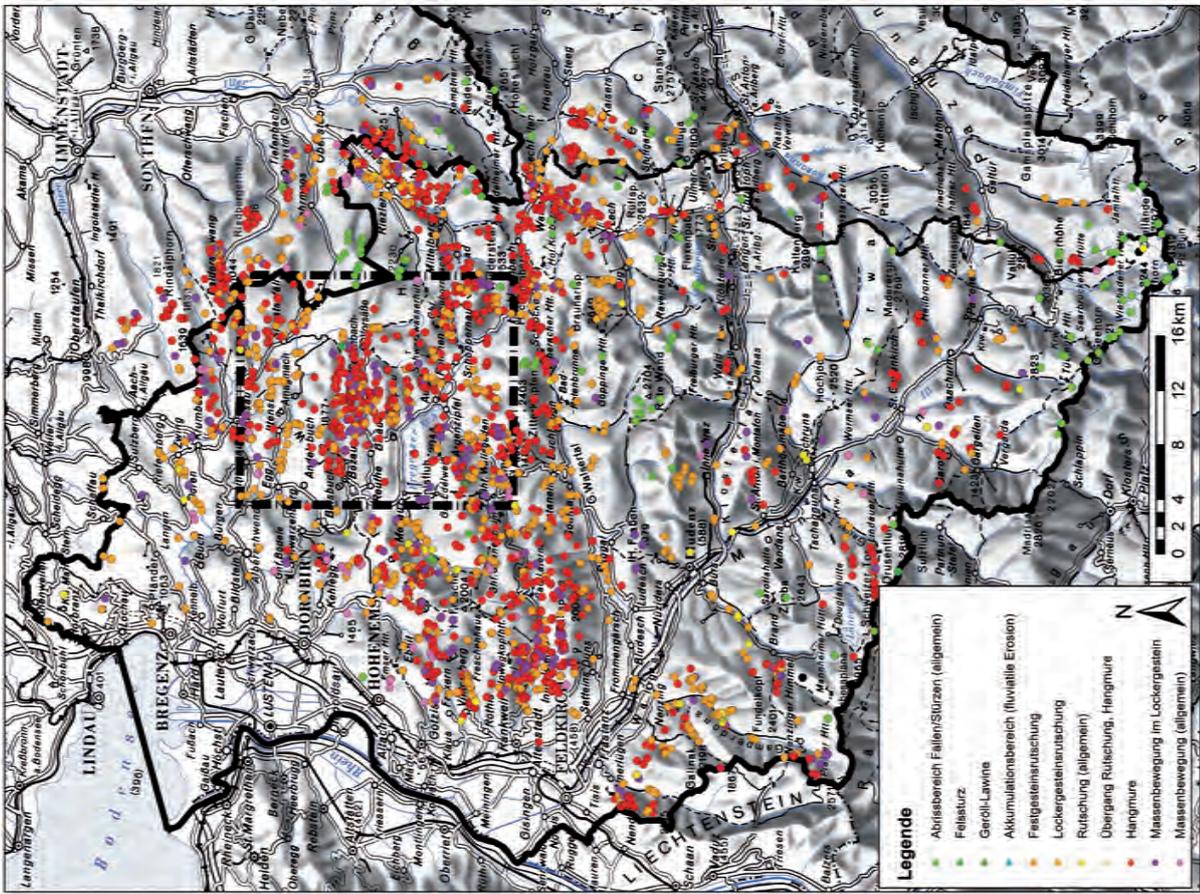
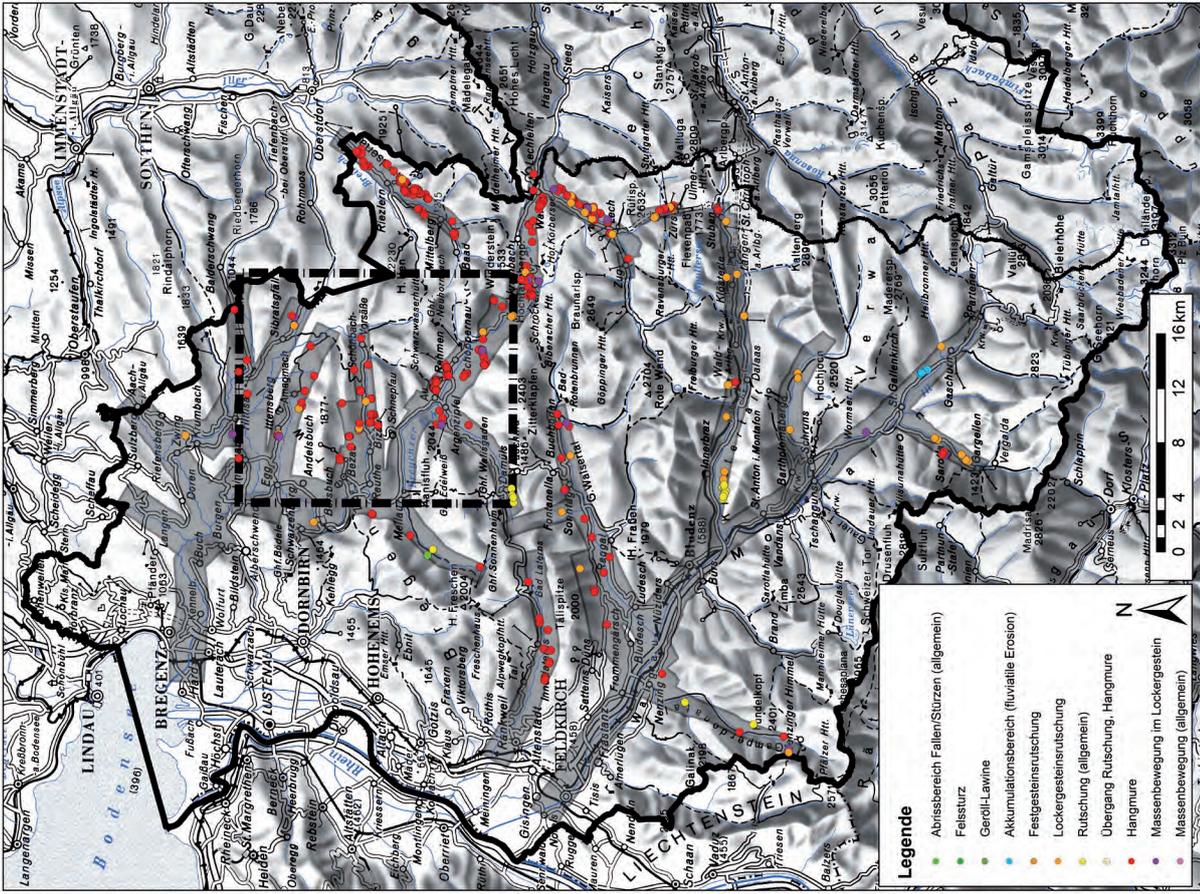


Abb. 11. Prozessinformationen (Lage, Prozessart), welche mittels vollständiger Auswertung der verfügbaren Luftbilder von 2006 für Vorarlberg und dessen nähere Umgebung identifiziert und verortet wurden (Abb. links) und welche mittels Auswertung der verfügbaren Luftbilder von 2005 zusätzlich identifiziert und verortet wurden (Abb. rechts). Mit gestrichelter schwarzer Linie umgrenztes Gebiet: Kerngebiet der Luftbildauswertung, in dem alle verfügbaren Luftbilder hinsichtlich möglicher Informationen zu gravitativen Massenbewegungen ausgewertet wurden. Grau hinterlegter Bereich: Bereich der verfügbaren Luftbildserie des Jahres 2005. Quelle von DHM, Landesgrenzen und Situation: BEV ©.

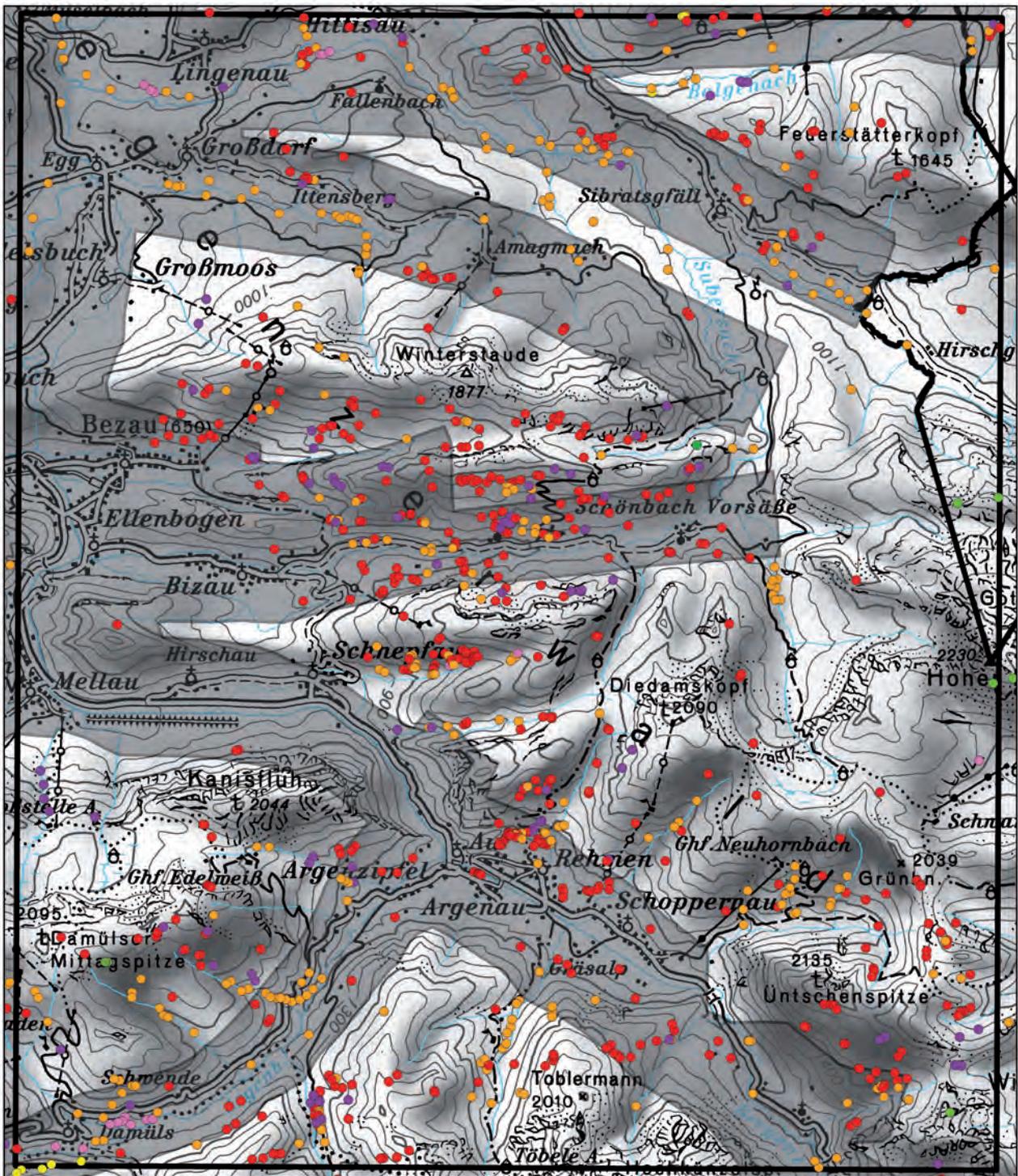


Abb. 12. Prozessinformationen (Lage, Prozessart), welche mittels vollständiger Auswertung aller verfügbaren Luftbildserien für das Kerngebiet (schwarze Umgrenzung) der Luftbildauswertung identifiziert und verortet wurden. Grau hinterlegter Bereich: Bereich der verfügbaren Luftbildserie des Jahres 2005. Quelle von DHM, Landesgrenzen und Situation: BEV ©.

Immerhin konnten aber aufgrund der zeitnahen Erzeugung von Luftbildern 340 Prozesse zusätzlich identifiziert und verortet werden (Abb. 11, rechts).

Zusammenfassend hat sich somit ergeben, dass etwa 63 % der Prozesse nur mittels der Luftbilder von 2006 (man bedenke die flächendeckende Verfügbarkeit der Luftbilder), etwa 12 % der Prozesse nur mittels der Luftbilder von 2005 und etwa 25 % der Prozesse mittels beider Luftbildserien identifiziert werden konnten (Abb. 9).

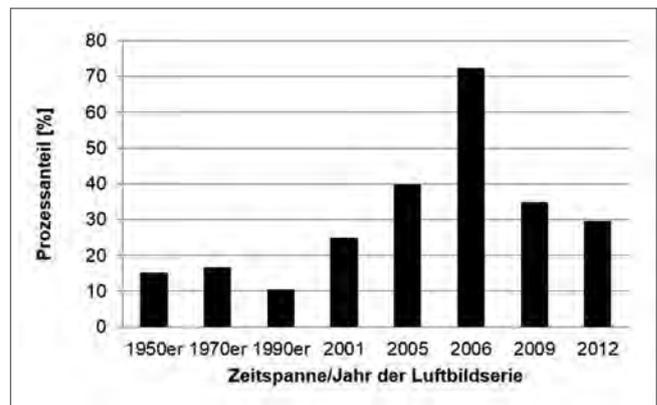
Ferner wurden die Prozesse im Kerngebiet im Bregenzerwald, welches innerhalb der Katastrophenregion vom August 2005 gelegen ist, mittels Daten, die durch multitemporale Luftbildauswertung erzielt wurden, ausgewertet. Hierdurch hat sich ergeben, dass eine relativ hohe gesamthafte Prozessinformationsdichte vorliegt (Kerngebiet: ca. 2,8 Prozesse/km²; Vorarlberg: ca. 1,2 Prozesse/km²). Hauptsächlich wurden dort ebenfalls gravitative Massenbewegungen im Lockergestein identifiziert (Abb. 10, 12). Der Anteil unsicherer Prozessinformationen ist ebenso wie bei der landesweiten Luftbildauswertung mit 20 % relativ gering, was vermutlich überwiegend in den der regionalen Katastrophe vom August 2005 zeitnahen Luftbildern von 2005 und 2006 begründet ist.

Hierbei handelt es sich entweder um identifizierte Prozessräume, die aber aufgrund von Abschattungen und Abschirmungen hinsichtlich des Aspektes „Verortung“ als unsichere Prozessinformation bewertet wurden. Oder es handelt sich um vermeintliche Prozessräume, bei denen unklar blieb, ob es überhaupt gravitative Massenbewegungen sind.

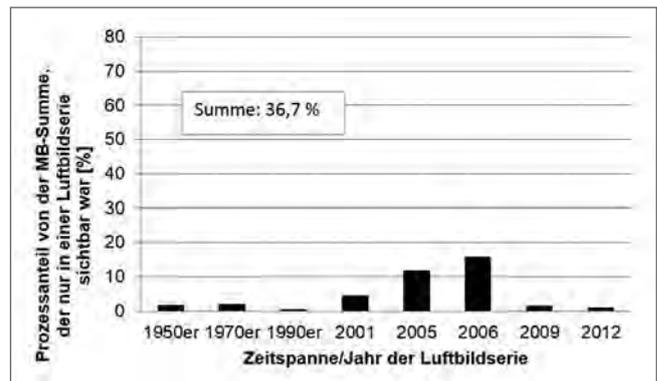
Im Vergleich zu den landesweiten Ergebnissen ist der Anteil jener identifizierten Prozesse, die im Nahbereich von Straßen/Wege positioniert sind, etwas höher (11 % statt 7,5 %). Im Gegensatz dazu ist der Anteil jener Prozesse, die sich im Nahbereich der Gerinne befinden und somit potenziell durch fluviatile Ufererosion bedingt sind, etwas geringer (26 % statt 30 %). Dies liegt überwiegend in den räumlich variablen topografischen und klimatischen Verhältnissen begründet, die sich wiederum auf die räumlich variable Siedlungsstruktur und Verkehrswegdichte sowie auf die Gewässernetzdichte und -typen auswirken.

All diese Auswertungen machen deutlich, dass die Anzahl identifizierbarer Prozesse insbesondere durch die zur überregionalen Katastrophe zeitnahen Luftbilder aufgrund der sichtbar erhaltenen Prozessphänomenologie sehr erhöht werden kann, und dies somit zu einem tendenziell vollständigen Prozesskataster führen kann.

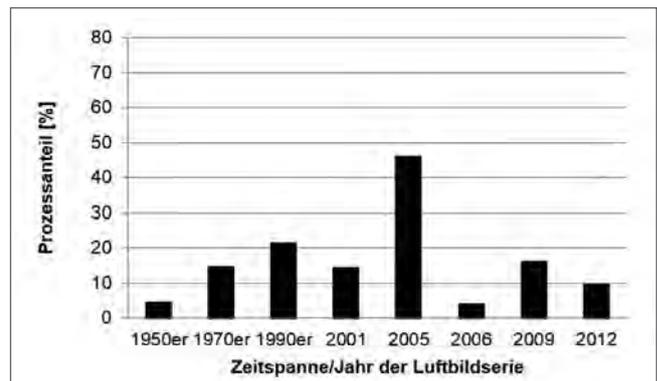
Zusätzlich bestätigt wird dies dadurch, dass die Anzahl der mittels der Luftbilder von 2005 und 2006 identifizierten Prozesse deutlich größer ist, als jene, welche mittels anderer Luftbilder erzielt wurden (Abb. 13a). Obwohl die Luftbilder von 2005 nicht flächendeckend zur Verfügung stehen, ist der Anteil jener Prozesse recht groß, die nur in dieser Luftbildserie sichtbar sind (Abb. 13c), allerdings ist auch der Anteil nicht sichtbarer Prozesse recht groß (Abb. 13b, d). So beträgt auch der gesamthafte Anteil jener Prozesse, die nur in einer Luftbildserie zu identifizieren sind, immerhin 36,7 % (Abb. 13b), wobei hier die Anteile der zur überregionalen Katastrophe im August 2005 zeitnahen Luftbilder von 2005 und 2006 besonders groß sind (11,5 % und 15,7 %).



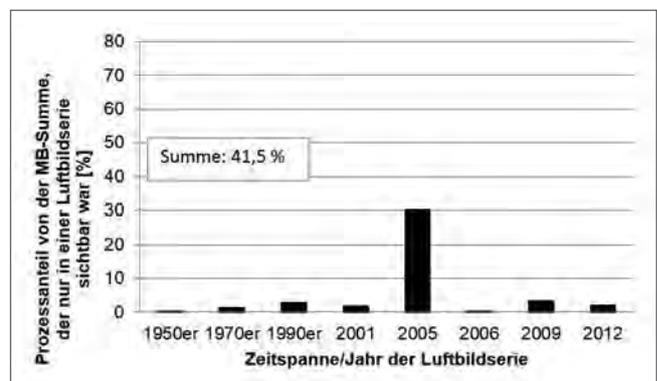
a)



b)



c)



d)

Abb. 13. Anteile jener Prozessinformationen, welche mittels multitemporaler Luftbildauswertung für das untersuchte Kerngebiet im Bregenzerwald identifiziert wurden: Die auf die gesamthafte Prozesssumme bezogenen Prozessanteile, die je Luftbildserie sichtbar (a) und nur in der jeweiligen Luftbildserie sichtbar (b) waren sowie jene, die je Luftbildserie nicht sichtbar (c) und nur in der jeweiligen Luftbildserie nicht sichtbar (d) waren.

Aufgrund von zufälligen Abschattungen und Überschirmungen ist es möglich, dass ein erheblicher Anteil der Prozesse nicht identifiziert werden kann. So konnten beispielsweise im Bereich der Luftbilder von 2005 79 Prozesse nicht identifiziert werden, die mittels der Luftbilder von 2006 identifiziert werden konnten. Im umgekehrten Fall handelt es sich um 340 Prozesse.

Auch der Vergleich der erzielten Prozesssumme beider Luftbildserien (2005, 2006) mit jener, welche mittels aller Luftbildserien erzielt wurde, zeigt, dass 152 Prozesse aus unterschiedlichen Gründen (Abschattungen, Überschirmungen, vergängliche Prozessphänomenologie) nicht identifiziert würden (Abb. 14), wenn nicht alle anderen Luftbildserien auch ausgewertet worden wären.

Eine Auswertung möglichst vieler Luftbildserien unterschiedlichen Datums ermöglicht auch eine zeitliche Eingrenzung des Zeitraumes der Prozessentstehung. So hat sich beispielsweise im bearbeiteten Kerngebiet ergeben, dass 70 % (Summe: 557) der gesamthaft mittels der Luftbilder von 2005 und 2006 identifizierten Prozesse (Summe: 789, Abb. 14) erstmalig mittels dieser Luftbilder identifiziert werden konnten (Abb. 14). Es handelt sich somit um potenziell neu entstandene Prozessräume. Bei etwa 30 % handelt es sich demnach um ältere Prozesse, die aufgrund ihrer progressiven Entwicklung und/oder dauerhaft sichtbaren Prozessphänomenologie auch in diesen Luftbildern sichtbar sind.

Von den 557 Prozessen, welche mittels der Luftbilder von 2005 und 2006 erstmals identifiziert wurden, sind 369 Prozesse nur in diesen Luftbildern sichtbar. Dies bedeutet, dass etwa 47 % der im Kernbereich gesamthaft identifizierten Prozesse nicht erfasst worden wären, wenn es die zur überregionalen Katastrophe zeitnahen Luftbilder nicht gegeben hätte. Hierbei handelt es sich vornehmlich um flachgründige Prozesse im Lockergestein (Hangmuren: ca. 78 %; Lockergesteinsrutschungen: ca. 14 %) mit eher vergänglicher Prozessphänomenologie. Insgesamt unterstreichen die Ergebnisse die Wichtigkeit von Luftbildern, die kurz nach regionalen Katastrophen erzeugt wurden.

Insbesondere in siedlungsnahen Bereichen wird die Prozessphänomenologie nach der Prozessentstehung alsbald beseitigt. Aber auch durch andere dominante Prozesse kann die Prozessphänomenologie in weiterer Folge überlagert oder beseitigt werden. So ist in den höher gelegenen Bereichen oftmals festgestellt worden, dass die für flachgründige Rutschungen und Hangmuren signifikante Phänomenologie aufgrund von Schneeschurfprozessen beseitigt wird.

Im Gegensatz dazu handelt es sich im Fall der Prozesse mit eher dauerhaft sichtbarer Prozessphänomenologie naturgemäß zumeist um eher tiefgründige und/oder großflächige Prozesse, deren Phänomenologie nicht mittels einfacher Maßnahmen beseitigt werden kann. Aber auch jene Prozessräume, die durch fluviatile Ufererosion, aufgrund von wiederholten Hochwasserereignissen, ausgelöst und/oder episodisch reaktiviert werden, sind über längere Zeiträume identifizierbar.

Diese Ergebnisse zeigen auch deutlich auf, dass eine Auswertung möglichst vieler Luftbildserien unterschiedlichen Datums eine Unterscheidung von

- spontan entstandenen und durch eine vergängliche Prozessphänomenologie gekennzeichnete Prozessräume und
- immer wieder episodisch reaktivierten oder sich progressiv über längere Zeiträume weiter entwickelnde Prozessräume mit eher dauerhaft sichtbarer Prozessphänomenologie

ermöglicht.

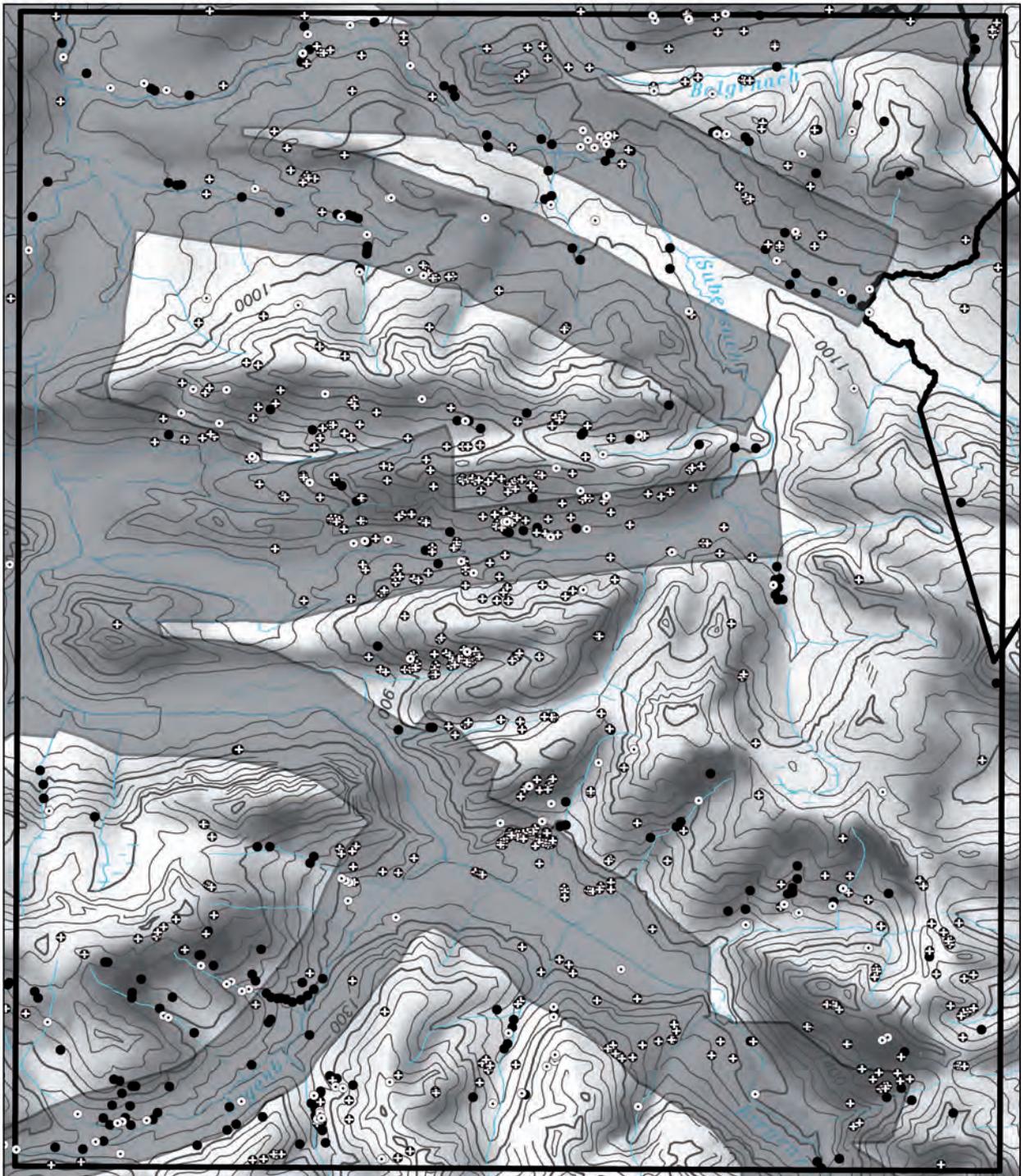
Ein weiteres Potenzial multitemporaler Luftbildauswertungen ist, dass Aussagen zur zeitlichen Abhängigkeit der Identifizierbarkeit von Prozessen möglich sind. So kann beispielsweise die potenzielle Dauer der Identifizierbarkeit der Prozesse abgeleitet werden.

So hat sich unter der Berücksichtigung all jener im Kerngebiet identifizierten Prozesse, welche mittels der Luftbilder von 2001 erstmals erfasst wurden, ergeben, dass die Identifizierbarkeit aller Prozesse gemeinsam über die Jahre kontinuierlich abnimmt (Abb. 15a). Dies liegt einerseits in aufnahmetechnischen Aspekten (z.B. Abschattungen, Überschirmungen der Vegetation), andererseits aber auch in der naturgemäßen Degradierung der Prozessphänomenologie begründet.

Hierbei nimmt vor allem der Anteil der sichtbaren Hangmuren und jener Massenbewegungen im Lockergestein, bei denen es sich vermutlich zu einem Anteil auch um Hangmuren handelt, deutlich über die Folgejahre ab. Im Gegensatz dazu scheinen die Lockergesteinsrutschungen im Mittel noch länger sichtbar zu sein. Dies könnte darin begründet sein, dass sich ein beträchtlicher Anteil der Hangrutschungen im Nahbereich von Gerinnen befindet, wo episodisch auftretende Hochwässer zur Ufererosion führen, was möglicherweise wiederum eine Reaktivierung der Prozessräume bewirkt. Dies wird auch dadurch bestätigt, dass vor allem viele gerinnennahe Lockergesteinsrutschungen, für welche die Ufererosion als wichtiger potenzieller Prozessauslöser und -reaktivierer beurteilt wurde, noch viele Jahre mittels Luftbildern identifiziert werden konnten (Abb. 15b). Im Gegensatz dazu sind viele der gerinnefernen Lockergesteinsrutschungen bereits nach wenigen Jahren nicht mehr sichtbar. Auch für jene Prozesse, die in den Luftbildern der Jahre 2005 und 2006 erstmals identifiziert werden konnten, haben sich vergleichbare Relationen ergeben (Abb. 15c-f). Allerdings nimmt der sichtbare Anteil aller betrachteten Prozessgruppen und -Arten vor allem in den ersten Jahren nach der Prozessentstehung deutlicher ab. Dies ist insbesondere bei den Hangmuren der Fall, von denen bereits nach einem Jahr nur noch 60 % sichtbar sind. Ähnliches trifft auch auf die Gesamtheit aller Prozesse zu, da Hangmuren den größten Anteil stellen.

Insbesondere sind auch viele jener Lockergesteinsrutschungen nur über wenige Jahre identifizierbar, für die aufgrund der gerinnefernen Lage Ufererosion als prozessauslösender oder -reaktivierender Faktor ausgeschlossen werden kann. Dies trifft für all jene gerinnefernen Lockergesteinsrutschungen zu, die erstmals in der Luftbildserie von 2005 identifiziert wurden. So sind bereits in der Luftbildserie von 2006 nur noch 60 % sichtbar.

Diese Ergebnisse zeigen somit deutlich auf, dass viele der flachgründigen Prozesse im Lockergestein auch nur dann mittels multitemporaler Luftbildauswertung erfasst werden können, wenn zum Entstehungszeitpunkt der Prozesse



Legende

- gravitative Massenbewegung, mittels der Luftbilder von 2005 und 2006 sichtbar
- gravitative Massenbewegung, mittels Luftbilder von 2005 und 2006 nicht sichtbar
- ⊕ gravitative Massenbewegung, mittels der Luftbilder von 2005 und 2006 sichtbar und neu entstanden

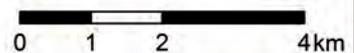
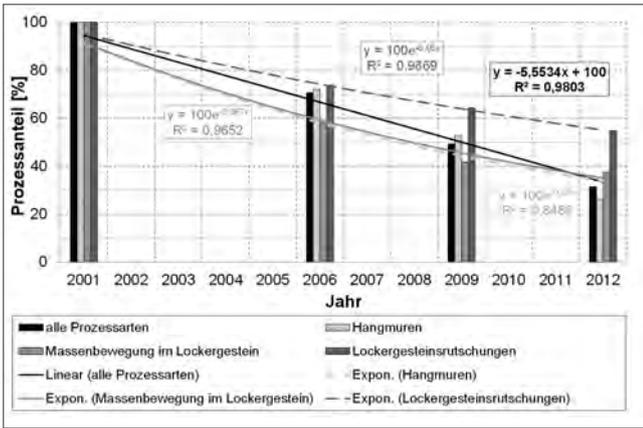
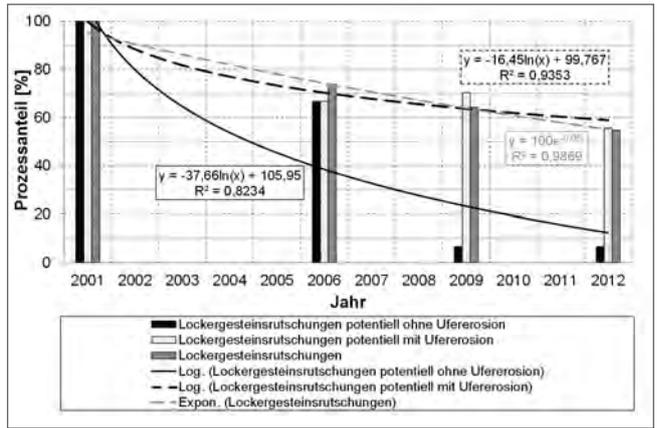


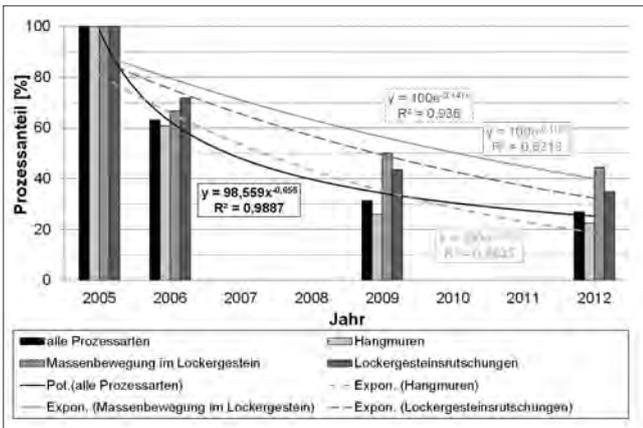
Abb. 14.
In den verfügbaren Luftbildern der Jahre 2005 und 2006 im Bereich des Kerngebietes (schwarze Umgrenzung) identifizierte und verortete gravitative Massenbewegungen (Summe: 789), mit den im Zeitraum 2005 bis 2006 neu entstandenen, sichtbaren gravitativen Massenbewegungen (Summe 557) und mit jenen, die *nicht* in den Luftbildern von 2005 und 2006 im Kerngebiet sichtbar sind (Summe: 152). Grau hinterlegter Bereich: Bereich der verfügbaren Luftbildserie des Jahres 2005. Quelle von DHM, Landesgrenzen und Situation: BEV ©.



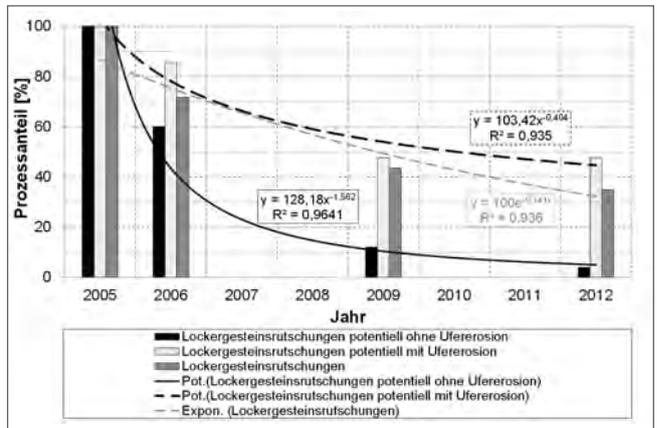
a) Abnahme des Anteils aller Prozesse und der Anteile von verschiedenen Prozessarten, die im Luftbild von 2001 erstmals im mittels multitemporaler Luftbilddauswertung untersuchten Kerngebiet identifiziert werden konnten, und in den folgenden Luftbildserien von 2006, 2009 und 2012 noch als solche identifiziert werden konnten.



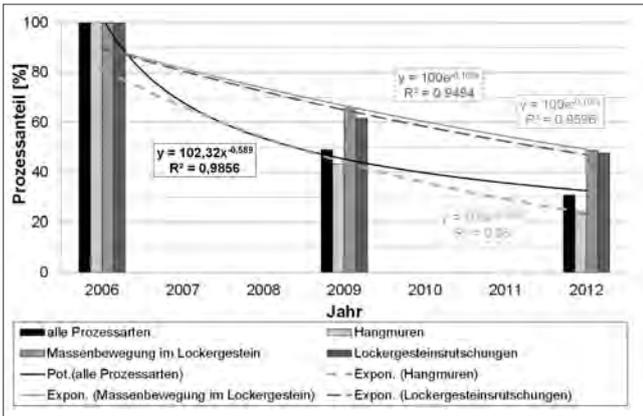
b) Abnahme der Anteile von verschiedenen Gruppen von Lockergesteinsrutschungen, die im Luftbild von 2001 erstmals im mittels multitemporaler Luftbilddauswertung untersuchten Kerngebiet sichtbar waren und identifiziert werden konnten, und in den folgenden Luftbildserien von 2006, 2009 und 2012 noch sichtbar waren und als solche identifiziert werden konnten.



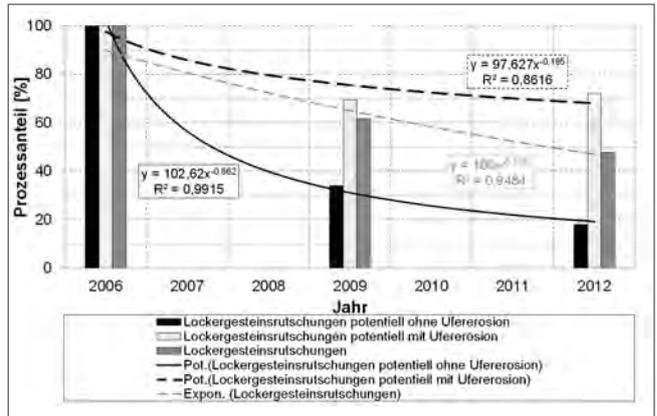
c) Abnahme der Anteile von verschiedenen Prozessarten, die im Jahr 2005 erstmals im mittels multitemporaler Luftbilddauswertung untersuchten Kerngebiet sichtbar waren und identifiziert werden konnten, und in den folgenden Luftbildserien noch sichtbar waren und als solche identifiziert werden konnten. Achtung: Hierbei handelt es sich um eine Auswertung der Prozessinformationen, die im Bereich partiell vorhandener Luftbilder erzielt wurden. Es handelt sich hierbei nicht um einen repräsentativen Bereich des hier untersuchten Kerngebietes.



d) Abnahme der Anteile von verschiedenen Gruppen von Lockergesteinsrutschungen, die im Luftbild von 2005 erstmals im mittels multitemporaler Luftbilddauswertung untersuchten Kerngebiet sichtbar waren und identifiziert werden konnten, und in den folgenden Luftbildserien von 2006, 2009 und 2012 noch sichtbar waren und als solche identifiziert werden konnten.



e) Abnahme der Anteile von verschiedenen Prozessarten, die im Jahr 2006 erstmals im mittels multitemporaler Luftbilddauswertung untersuchten Kerngebiet sichtbar waren und identifiziert werden konnten, und in den folgenden Luftbildserien noch sichtbar waren und als solche identifiziert werden konnten.



f) Abnahme der Anteile von verschiedenen Gruppen von Lockergesteinsrutschungen, die im Luftbild von 2006 erstmals im mittels multitemporaler Luftbilddauswertung untersuchten Kerngebiet sichtbar waren und identifiziert werden konnten, und in den folgenden Luftbildserien von 2009 und 2012 noch sichtbar waren und als solche identifiziert werden konnten.

Abb. 15. Mittels der Luftbildserien 2001, 2005 und 2006 erstmals identifizierte Prozessarten und deren jeweilige Prozessanteile, die mittels zeitlich folgender Luftbildserien noch identifiziert werden können.

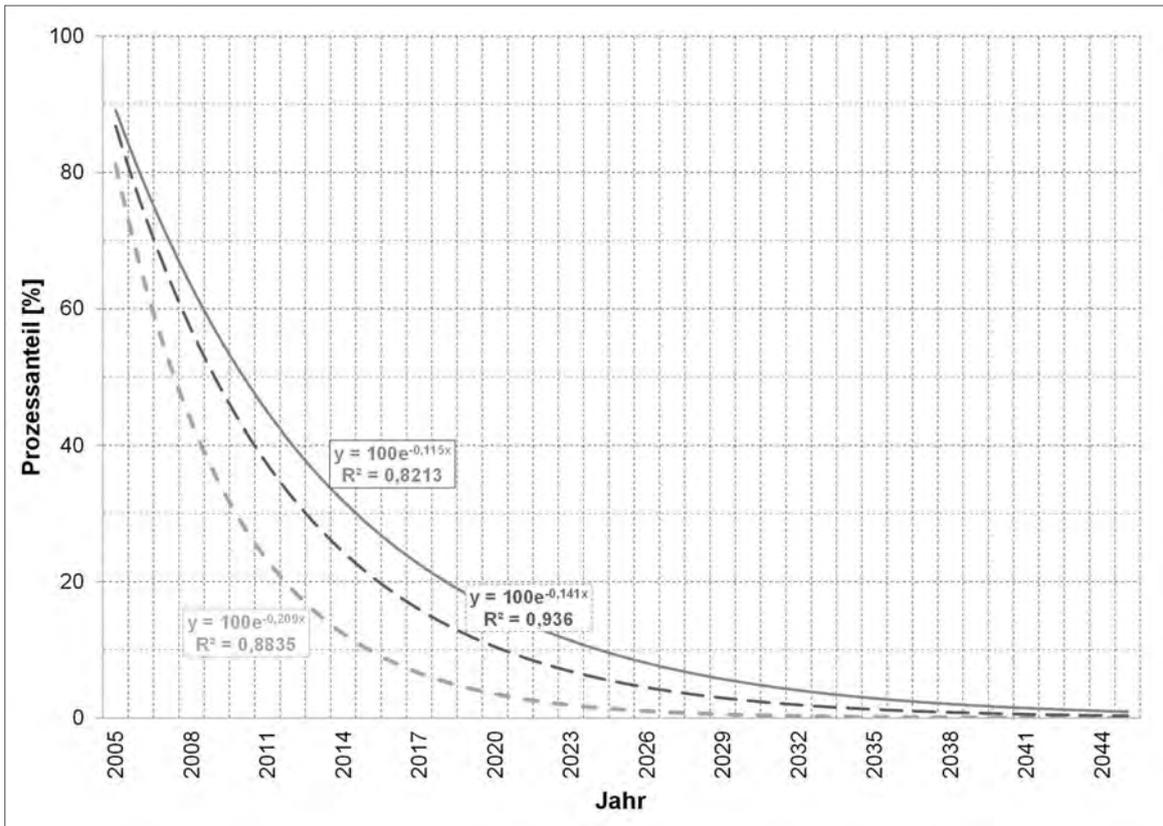


Abb. 16. Zeitlich extrapolierte Abnahme der Anteile von verschiedenen Prozessarten (rot: Hangmuren, orange: Lockergesteinsrutschungen, grün: Massenbewegungen im Lockergestein) die im Jahr 2005 erstmals im mittels multitemporaler Luftbilddauswertung untersuchten Kerngebiet identifiziert werden konnten, und in den folgenden Luftbildserien noch als solche identifiziert werden konnten.

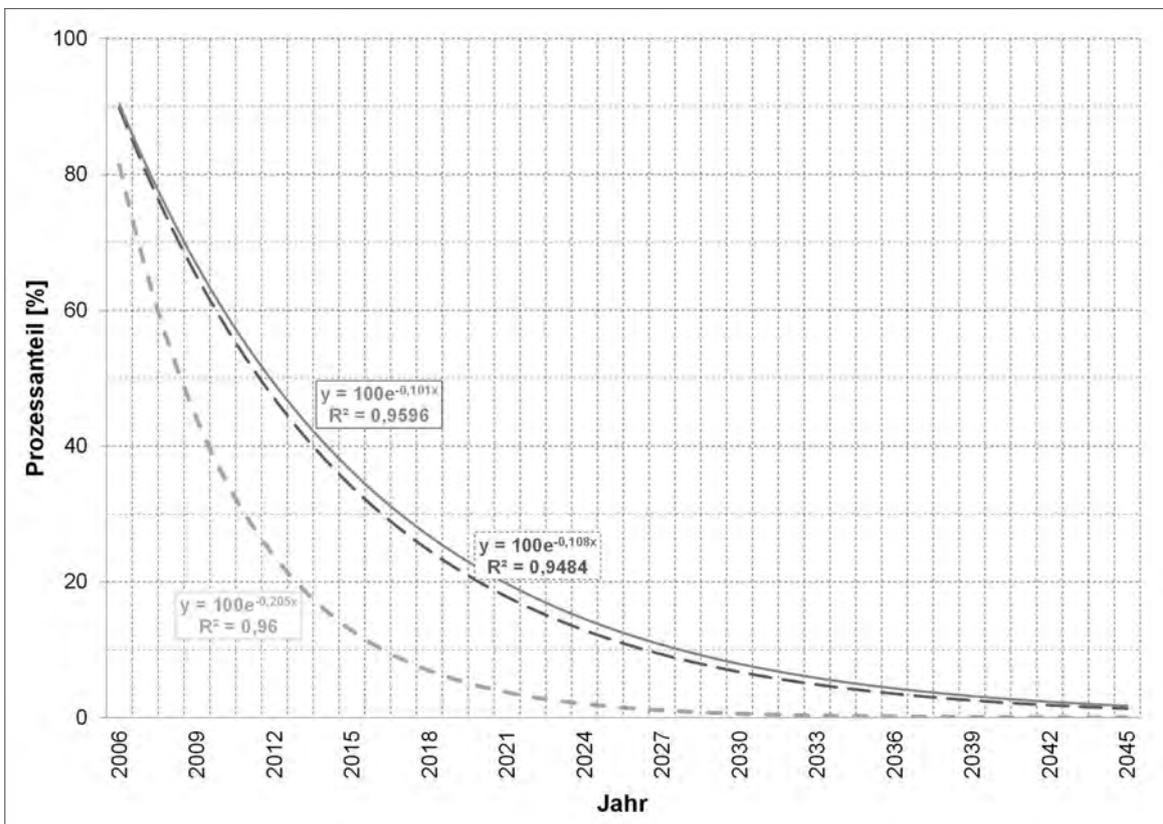


Abb. 17. Zeitlich extrapolierte Abnahme der Anteile von verschiedenen Prozessarten (rot: Hangmuren, orange: Lockergesteinsrutschungen, grün: Massenbewegungen im Lockergestein) die im Jahr 2006 erstmals im mittels multitemporaler Luftbilddauswertung untersuchten Kerngebiet identifiziert werden konnten, und in den folgenden Luftbildserien noch als solche identifiziert werden konnten.

zeitnahe Luftbilder vorhanden sind. Bereits wenige Jahre reichen aus, dass viele dieser Prozesse nicht mehr sichtbar sind, so dass sehr unvollständige und zufällige Prozessinventare resultieren. Insbesondere nach regionalen Rutschungskatastrophen sollten daher möglichst bald und möglichst flächendeckend neue Luftbilder erstellt werden.

Mittels der erzielten Ergebnisse lassen sich auch Trends für die zeitliche Abnahme der Anteile identifizierbarer Prozessgruppen und Prozessarten kalkulieren (Abb. 16, 17). Sofern dies zulässig ist, können sich basierend auf diesen Trends näherungsweise dahingehend Aussagen ergeben, nach wie vielen Jahren nur noch sehr wenige oder keine Prozesse mehr identifizierbar wären. So hat sich beispielsweise für die in der Luftbildserie von 2005 erstmals sichtbaren Prozesse im Lockergestein ergeben, dass von den Hangmuren bereits 2015 nur noch 10 % und etwa 2030 keine mehr identifizierbar wären, während hinsichtlich der Lockergesteinsrutschungen und Massenbewegungen im Lockergestein ein Anteil von 10 % noch 2020 bzw. 2025 identifizierbar wäre. Nach etwa 30 Jahren wäre fast kein Prozess mehr identifizierbar. Eine vergleichbare Relation hat sich auch basierend auf jenen Prozessen ergeben, die in der Luftbildserie von 2006 erstmals identifiziert wurden (Abb. 14).

Extraktion von Prozessdaten hoher Qualität für Modellrechnungen

Hinsichtlich der Verwendung von Prozessdaten für Modellrechnungen, beispielsweise hinsichtlich der Erzeugung von Prozessdispositionskarten, ist es sehr wichtig, die Daten einer Qualitäts- und Eignungskontrolle zu unterziehen.

Unter Qualitätskontrolle wird in diesem Zusammenhang verstanden, dass die Prozessdaten unter Einbeziehung der Aspekte

- relative Identifizierungsgüte (Luftbildqualität, Abschätzungen etc.) und
- relative Lagegenauigkeit, auf einen Maßstab bezogen

hinsichtlich ihrer Qualität beurteilt werden.

Hingegen wird in diesem Zusammenhang unter Eignungskontrolle verstanden, dass die Prozessdaten unter Einbeziehung der Aspekte

- vorliegende Informationen zu prozessdisponierenden Faktoren (Straßen/Wege, potenzielle fluviale Ufererosion),
- Relevanz eines Prozesses hinsichtlich der Modellierung prozessspezifischer Dispositionskarten (-> Identifizierte der Prozessart/Gruppe) sowie
- Relevanz eines Prozesses hinsichtlich ereignisbezogener Modellrechnungen

hinsichtlich fragestellungsorientierter Modellrechnungen geeignet sind.

So konnte beispielsweise seitens der GBA basierend auf bisher durchgeführten Modellrechnungen zwecks Erzeugung prozessorientierter Dispositionskarten abgeleitet werden, dass all diese Aspekte neben der Anzahl und Dichte der Prozessdaten einen bedeutsamen Einfluss auf die Modellergebnisse haben können.

Vor diesem Hintergrund wurden die mittels multitemporaler Luftbildauswertung erzielten Prozessdaten einer hier-

archischen Qualitäts- und Eignungskontrolle unterzogen, in dem Schrittweise all jene Prozesse aus dem gesamt-erzielten Datensatz entfernt wurden, die geringe Qualität und eine nur eingeschränkte Eignung für gezielte Fragestellungen aufweisen (Abb. 18).

Im Folgenden wird kurz auf die einzelnen Schritte dieser Datenkontrolle eingegangen:

- 1) Zunächst werden all jene Daten extrahiert, die sich im Modellgebiet (Kerngebiet im Bregenzerwald) befinden. Hierbei handelt es sich um 789 Prozesse.
- 2) Aufgrund kumulativer Datenunsicherheiten (schlechter Bildqualität, Teilabschattungen, teilweiser Abbildung im Luftbild und relativ schlechter Verortungsgenauigkeit) wurden aus dem sich unter 1.) ergebenden Datensatz weitere 134 Prozesse eliminiert. Demzufolge haben 655 Prozesse eine hohe Datenqualität. Der sich so ergebende Datensatz mit hoher Qualität ist für Modellrechnungen hinsichtlich prozess-, ereignis- und auslöserunabhängiger Fragestellungen geeignet.
- 3) In einem weiteren Schritt wurden all jene Prozesse aus dem Datensatz eliminiert ($n = 153$), die potenziell nicht allein aufgrund hanghydrologischer Prozesse ausgelöst wurden. Hierbei handelt es sich um jene Prozesse,

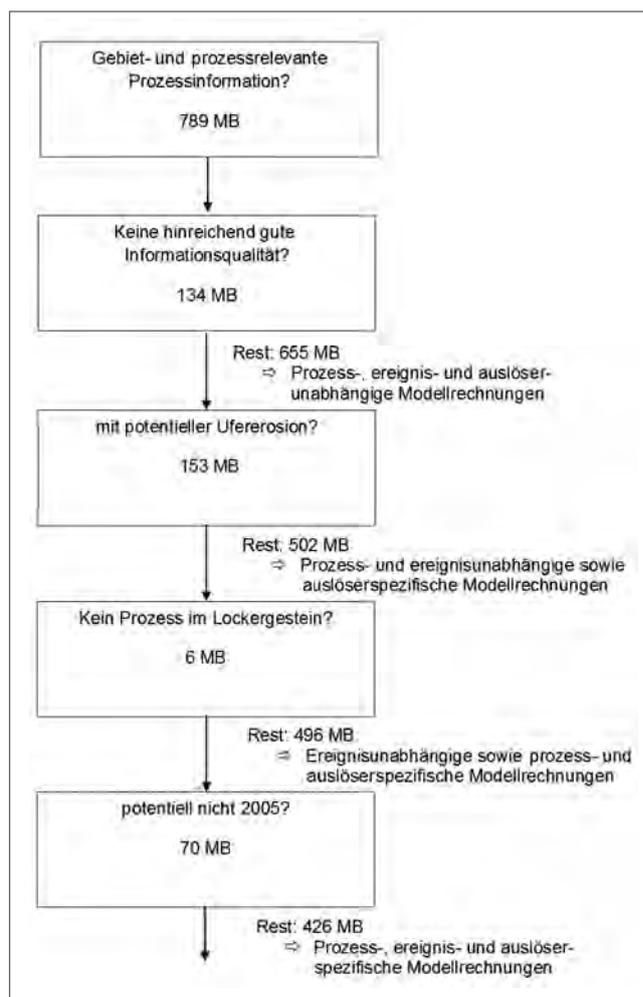


Abb. 18. Hierarchische Qualitäts- und Eignungskontrolle der mittels multitemporaler Luftbildauswertung im Kerngebiet erzielten Prozessdaten hinsichtlich der Verwendung für Modellrechnungen zwecks Erzeugung von (ereignisspezifischer) Dispositionskarten für Massenbewegungen (MB) im Lockergestein.



Abb. 19. Vergleich der Luftbilder von 2005 (links) und 2006 (rechts) und dadurch identifizierte Prozesse, die erst nach dem Datum des Luftbildes von 2005 entstanden sind. Es handelt sich somit um Prozesse, die potenziell nicht aufgrund des Niederschlagsereignisses entstanden sind, die zur überregionalen Katastrophe im August 2005 führten. Abbildungen oben: Im Bereich Ahornvorsäß westlich von Au; Abbildungen unten: Im Bereich der Gopfalpe südlich Reuthe. Quelle der Luftbilder: WMS-Service der Vorarlberger Landesregierung.

deren Prozessräume sich im Nahbereich von Gerinnen befinden (überwiegend auf Grabenflanken), die somit potenziell durch fluviatile Ufererosion ausgelöst wurden.

Der sich so ergebende verbleibende Datensatz ($n = 502$) mit hoher Qualität ist für Modellrechnungen hinsichtlich prozess- und ereignisunabhängiger sowie auslöserspezifischer Fragestellungen geeignet.

- 4) In weiterer Folge werden all jene Prozesse extrahiert, bei denen es sich relativ sicher ausschließlich um gravitative Massenbewegungen im Lockergestein handelt ($n = 496$).

Demnach handelt es sich bei 6 Informationen um unsichere Prozessinterpretationen (z.B. Massenbewegung allgemein), oder es wurden Massenbewegungen im Festgestein identifiziert (z.B. Festgesteinsrutschung). Der sich so ergebende verbleibende Datensatz ($n = 496$) mit hoher Qualität ist für Modellrechnungen hinsichtlich ereignisunabhängiger sowie prozess- (Massenbewegungen im Lockergestein) und auslöserspezifische (Hanghydrologie) Fragestellungen und Zielsetzungen geeignet.

- 5) In einem letzten Schritt werden all jene Prozessinformationen extrahiert, die eine Prozessentstehung im Kontext zum überregionalen Katastrophenereignis im August 2005 annehmen lassen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass all jene Prozesse aus dem Datensatz eliminiert werden, die einerseits bereits in älteren Luft-

bildern identifiziert wurden. Es handelt sich demnach um Prozesse, die bereits vor dem Ereignis existierten und fallweise durch das Ereignis reaktiviert wurden. Andererseits sind auch all jene Prozesse aus dem Datensatz zu entfernen, die erst nach dem Ereignis im August entstanden sind. Dies ist deshalb wichtig, da die Luftbilder vom August 2005 nur für einen Teilbereich des betrachteten Gebietes existieren und der andere verbleibende Teilbereich des Gebietes mittels der Luftbilder von 2006 beurteilt werden muss. Es ist anzunehmen, dass dort auch junge, frische Prozesse identifiziert werden, die aber nicht im zeitlichen Kontext zum überregionalen Ereignis vom August 2005 stehen. Dies wird dadurch bestätigt, dass in jenem Bereich, wo beide Luftbildserien existieren, 5 Prozesse jüngerer Datums als August 2005 identifiziert wurden (Abb. 19). Deren Anteil ist jedoch an der gesamthaften Prozessanzahl im Bereich der Luftbilder von 2005 gering (2,3 %). Unter der Annahme eines vergleichbaren Prozessanteils für jenen Bereich, für den nur die Luftbilder von 2006 existieren, ergibt sich eine hinsichtlich des Entstehungsdatums fehlinterpretierte Summe von 5 weiteren Prozessen. Aufgrund des geringen Anteils kann aber die dadurch entstehende Unsicherheit für die Modellergebnisse eher vernachlässigt werden.

Der sich so ergebende verbleibende Datensatz ($n = 426$, Abb. 20) mit hoher Qualität ist für Modellrechnungen hinsichtlich prozess-, ereignis- und auslöserspezifischer Fragestellungen und Zielsetzungen geeignet.

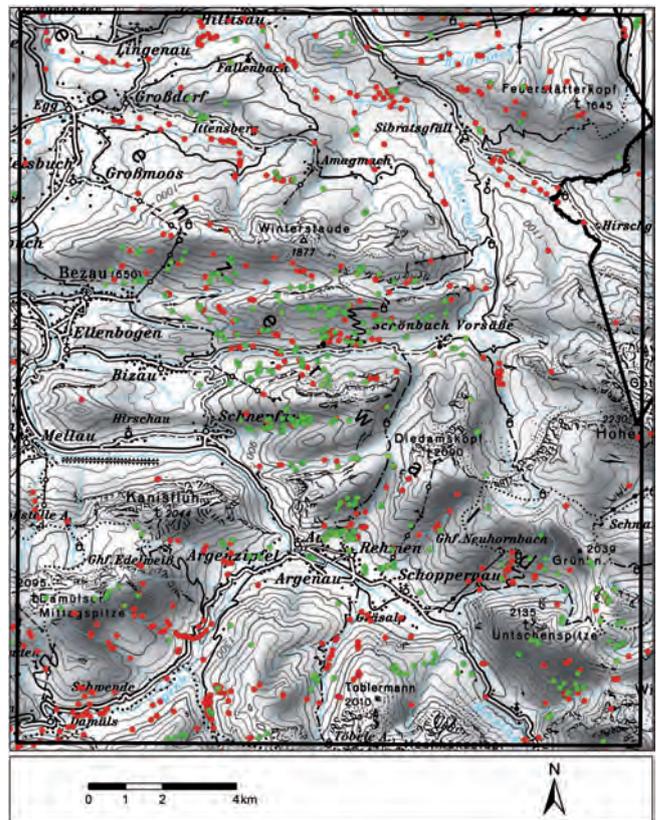


Abb. 20. Mittels Qualitäts- und Eignungskontrolle identifizierte Prozessdaten, die für eine prozessorientierte Modellierung ereignisspezifischer Dispositionskarten hoher Qualität von hinsichtlich hanghydrologisch bedingter gravitativer Massenbewegungen im Lockergestein geeignet sind (grüne Punkte) oder nicht geeignet sind (rote Punkte). Quelle von DHM, Landesgrenzen und Situation: BEV ©.

Eine Unterscheidung von prozessspezifischen und -unspezifischen sowie auslöserspezifischen und -unspezifischen Datensätzen ist deshalb sehr bedeutsam, da in Abhängigkeit von der Prozessart und dem lageabhängigen Prozesskomplex naturgemäß auch unterschiedliche Standortfaktoren und auslösende Faktoren bedeutsam sind. Für diese Faktoren sind deshalb bestenfalls auch Parameter-Daten und Parameter-Karten in die Modellrechnung einzubeziehen, so dass auch potenziell prozessorientierte Dispositionskarten modelliert werden. Ebenso ist eine Unterscheidung von ereignisspezifischen Prozessdaten dann bedeutsam, wenn Niederschlagskarten als zeitlich triggernde Faktoren in eine Modellrechnung integriert werden.

Schlussfolgerungen und Diskussion

Mittels der gesamthaft bisher durchgeführten Luftbildauswertungen konnten 3.019 gravitative Massenbewegungen in Vorarlberg identifiziert und verortet werden. Hierbei handelt es sich vornehmlich um gravitative Massenbewegungen im Lockergestein i.w.S. (gesamt 92 %). Hieran haben Hangmuren ($n = 1.506$), Lockergesteinsrutschungen ($n = 962$) und gravitative Massenbewegungen im Lockergestein i.e.S. ($n = 282$) den größten Anteil.

Im Gegensatz zu durchgeführten Studien in anderen Regionen Österreichs, im Rahmen derer im Gelände kartierte Informationen vorlagen (z.B. Gasen-Haslau, Klingfurth), hat sich mittels der bisherigen Luftbildauswertungen ergeben, dass der Anteil jener Prozesse sehr klein ist (7,5 %), für welche die Straßen und Wege als bedeutsamer Standortfaktor oder gar indirekt auslösender Faktor (Ableitung von Oberflächenwasser) wahrscheinlich sind. Dies ist möglicherweise in der Methodik der Luftbildauswertung begründet, da kleinere und/oder ältere Forstwege und Straßen im Luftbild aufgrund der Abschirmung durch Vegetation nicht erkannt werden.

Es wurde auch eine gesonderte Auswertung der auf Basis der Luftbilder von 2006 erzielten Ergebnisse vorgenommen, da sich diese dann auf landesweit konform verfügbare Luftbilder bezieht. So wurden jene Prozesse nicht berücksichtigt, die im Bereich des untersuchten Kerngebietes

- mittels älterer Luftbilder identifiziert wurden, aber aufgrund von Lichtabschattungen und/oder Abschirmungen der Vegetation oder vergänglicher Prozessphänomenologie in den Luftbildern von 2006 nicht identifiziert werden konnten, bzw.
- erst mittels jüngerer Luftbilder als Prozesse jüngerer Datums identifiziert wurden.

Dadurch wurden insbesondere jene Prozesse identifiziert, die im Zuge der überregionalen Katastrophe im August 2005 entstanden sind. Dies bestätigt sich durch die räumliche Verteilung der so erzielten Prozessinformationen ($n = 2.532$), da die Prozessinformationsdichte im Bereich der im August 2005 betroffenen Katastrophenregionen im nördlichen Landesgebiet deutlich höher ist. Eine vergleichbare Verteilung ergibt sich auch für die mittels der Luftbildstreifen von 2005 erzielten Prozessinformationen ($n = 1.053$). Hierbei handelt es sich aber teilweise um redundante Prozessinformationen ($n = 713$), so dass aufgrund der nicht langfristig geplanten Befliegungen zwecks

Erzeugung von zur Katastrophe im August 2005 zeitnahen Luftbildern 340 Prozesse zusätzlich identifiziert und verortet werden konnten.

Somit wurden etwa 63 % der Prozesse nur mittels der Luftbilder von 2006 (man bedenke die flächendeckende Verfügbarkeit der Luftbilder), etwa 12 % der Prozesse nur mittels der Luftbilder von 2005 und etwa 25 % der Prozesse mittels beider Luftbildserien identifiziert.

Diese Ergebnisse machen deutlich, dass insbesondere durch zu regionalen Katastrophen zeitnahe Luftbilder die Anzahl identifizierbarer Prozesse aufgrund der im Allgemeinen noch deutlichen Prozessphänomenologie sehr erhöht werden kann und dies somit zu einem tendenziell vollständigen Prozesskataster führen kann.

Multitemporale Luftbildauswertungen in einem Kerngebiet im Bereich des Bregenzerwaldes bestätigen zusätzlich, dass dort die Anzahl der mittels der Luftbilder von 2005 und 2006 identifizierten Prozesse deutlich größer ist als jene, welche mittels aller anderen Luftbildserien zusammen erzielt wurde. Obwohl die Luftbilder von 2005 nicht flächendeckend zur Verfügung standen, ist der Anteil jener Prozesse recht groß, die nur in dieser Luftbildserie sichtbar waren, allerdings ist auch der Anteil nicht sichtbarer Prozesse recht groß.

Der Anteil jener Prozesse, die nur in einer Luftbildserie identifiziert werden konnten, beträgt immerhin 36,7 %, wobei hierbei die Anteile der zur überregionalen Katastrophe im August 2005 zeitnahen Luftbilder von 2005 und 2006 besonders groß sind (11,5 % und 15,7 %). Dies unterstreicht, dass auch eine Auswertung möglichst vieler Luftbildserien unterschiedlichen Datums sehr wichtig ist. Auch der Vergleich der erzielten Prozesssumme beider Luftbildserien mit jener, welche mittels aller Luftbildserien erzielt wurde, zeigt, dass 152 Prozesse aus unterschiedlichen Gründen (Abschattungen, Übershirmungen, vergängliche Prozessphänomenologie) nicht identifiziert würden, wenn nicht alle anderen Luftbildserien auch ausgewertet worden wären.

Am Beispiel der durchgeführten Auswertungen konnte ferner aufgezeigt werden, dass möglichst viele Luftbildserien unterschiedlichen Datums auch eine zeitliche Eingrenzung des Zeitraumes der Prozessentstehung ermöglichen. So hat sich beispielsweise im bearbeiteten Kerngebiet ergeben, dass 70 % (Summe: 557) der gesamthaft mittels der Luftbilder von 2005 und 2006 identifizierten Prozesse (Summe: 789) erstmalig mittels dieser Luftbilder identifiziert werden konnten. Es handelt sich somit um potenziell neu entstandene Prozessräume. Bei etwa 30 % handelt es sich demnach um ältere Prozesse, die aufgrund ihrer progressiven Entwicklung und/oder dauerhaft sichtbaren Prozessphänomenologie auch in diesen Luftbildern sichtbar sind.

Von den 557 Prozessen, welche mittels der Luftbilder von 2005 und 2006 erstmals identifiziert wurden, sind 369 Prozesse nur in diesen Luftbildern sichtbar. Dies bedeutet, dass etwa 47 % der im Kernbereich gesamthaft identifizierten Prozesse nicht erfasst worden wären, wenn es die zur überregionalen Katastrophe zeitnahen Luftbilder nicht gegeben hätte. Hierbei handelt es sich vornehmlich um flachgründige Prozesse im Lockergestein (Hangmuren: ca. 78 %; Lockergesteinsrutschungen: ca. 14 %) mit eher ver-

gänglicher Prozessphänomenologie. Insgesamt unterstreichen die Ergebnisse zusätzlich die Wichtigkeit von Luftbildern, die kurz nach regionalen Katastrophen erzeugt wurden.

Ein weiteres Potenzial multitemporaler Luftbildauswertungen ist, dass Aussagen zur zeitlichen Abhängigkeit der Identifizierbarkeit von Prozessen möglich sind, indem beispielsweise die potenzielle Dauer der Identifizierbarkeit der Prozesse abgeleitet wird. So hat sich beispielsweise für jene Prozesse ergeben, die erstmals in der Luftbildserie von 2001, 2005 oder 2006 sichtbar waren, dass bereits nach wenigen Jahren ein recht großer Prozessanteil (insbesondere viele der flachgründigen Prozesse im Lockergestein) nicht mehr identifiziert werden kann. Auf Basis von Luftbildauswertungen resultieren dann sehr unvollständige und zufällige Prozessinventare. Insbesondere nach regionalen Rutschungskatastrophen sollten daher möglichst bald und möglichst flächendeckend neue Luftbilder erstellt werden.

Basierend auf eigenen bisher durchgeführten Ereignisdokumentationen im Feld und den Erkenntnissen im Rahmen der Luftbildauswertungen der vorliegenden Studie lassen sich folgende Vor- und Nachteile für diese beiden Erkundungsmethoden hinsichtlich gravitativer Massenbewegungen im Lockergestein formulieren:

- Neben dem erheblich größeren Zeitaufwand der Geländeerhebung besteht bei dieser auch ein wesentlicher Nachteil hinsichtlich der Verortungsgenauigkeit und räumlichen Abgrenzung der Prozesse. Dies kann mittels der Luftbildauswertung wesentlich genauer erfolgen, insofern Luftbilder existieren, in denen die Prozessphänomenologie noch deutlich sichtbar und abgrenzbar ist.
- Darüber hinaus besteht ein Nachteil der Geländeerhebung darin, dass Prozesse in entlegenen und nicht gut einsehbaren Gebietsbereichen häufig nicht erfasst wer-

den. Dort werden mittels Luftbildauswertung im Allgemeinen mehr Prozesse erfasst.

- Ein wesentlicher Vorteil von Geländeerhebungen ist, dass diese unabhängig von der zeitlichen Zufälligkeit existierender Luftbilder zeitnah zu bekannten bedeutsamen Ereignissen zumindest partiell durchgeführt werden können (für größere Gebiete ist dies jedoch mit einem entsprechend größeren Zeitaufwand verbunden, so dass dann vielerorts nicht von einer zeitnahen Geländeerhebung ausgegangen werden kann). Dort werden dann mehr Prozesse identifiziert und die Prozessräume besser räumlich abgegrenzt, als dies mittels nicht zeitnaher Luftbilder möglich ist.
- Ein weiterer Vorteil der Geländeerhebungen besteht darin, dass auch jene Prozesse erfasst werden können, die mittels Luftbildauswertung aufgrund der Abschirmung durch Vegetation und/oder Abschattungen nicht oder nur rudimentär erfasst werden können.
- Nicht zuletzt ist ein weiterer großer Vorteil der Geländeerhebung im Vergleich zur Luftbildauswertung, dass über den Nachweis der Existenz eines Prozessraumes hinaus mittels Geländeerhebung detaillierte Informationen zum Prozess (Prozessart, Größe) und zu den Standortfaktoren (z.B. Gesteinsart, Gefügedaten, Vegetation, Topografie) erhalten werden, während man sich diesbezüglich im Rahmen der abschließlichen Luftbildauswertung auf die Luftbildinformationen und andere allgemein verfügbare Daten (z.B. Geologische Karte, Landnutzungskarte, ALS-Daten) stützen muss.

Im Kerngebiet wurde eine Qualitäts- und Eignungskontrolle der erzielten Prozessdaten hinsichtlich ihrer Verwendung für Modellrechnungen zwecks Erzeugung von Prozessdispositionskarten durchgeführt. Hierdurch hat sich ergeben, dass lediglich 46 % des ursprünglichen Datensatzes für Modellrechnungen relevant ist, mit Hilfe derer prozess- und ereignisspezifische Dispositionskarten hoher Qualität erzeugt werden können.

Literatur

AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG (2006): Das Starkregen- und Hochwasserereignis des August 2005 in Vorarlberg. – Bericht des Amtes der Vorarlberger Landesregierung, 58 S., Feldkirch.

CHUNG, C.J. & FABBRI, A.G. (2003): Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. – *Natural Hazards*, **30**, 451–472, Dordrecht (Springer).

MARKART, G., PERZL, F., KOHL, B., LUZIAN, R., KLEEMAYR, K., ESS, B. & MAYERL, J. (2007): 22. und 23. August 2005 – Analyse von Hochwasser- und Rutschungsereignissen in ausgewählten Gebieten Vorarlbergs. – BFW-Dokumentation, Schriftenreihe des Bundesforschungs- und Ausbildungszentrums für Wald, Naturgefahren und Landschaft, **5/2007**, 48 S., Wien–Innsbruck.

TILCH, N., SCHWARZ, L. & WINKLER, E. (2011): Einfluss der Prozessdatenqualität auf die mittels Neuronaler Netze, logistischer Regression und heuristischer GBA-Methode erstellten Dispositionskarten hinsichtlich spontaner gravitativer Massenbewegungen im Lockergestein und die Ergebnisvalidierung. – Poster im Rahmen des Geoforums Umhausen, 20./21.10.2011, Niederthai.

TILCH, N., SCHWARZ, L. & WINKLER, E. (2013): Gefahren(hinweis)karten für gravitative Massenbewegungen (Hangrutschungen und Hangmuren) – Herausforderungen, Limitierungen, Chancen. – *Ber. Geol. B.-A.*, **100**, 47–53, Wien.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt](#)

Jahr/Year: 2014

Band/Volume: [154](#)

Autor(en)/Author(s): Tilch Nils

Artikel/Article: [Identifizierung gravitativer Massenbewegungen mittels multitemporaler Luftbildauswertung in Vorarlberg und angrenzender Gebiete 21-39](#)