



Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004 – RIVA / TRIENT

VERÄNDERUNG DER LANDNUTZUNGSSTRUKTUR UND DEREN AUSWIRKUNG AUF WASSERHAUSHALT UND HANGSTABILITÄT

FALLBEISPIEL VON EINEM VOM WINTERSCHISPORT GEPRÄGTEN ALPINEN EINZUGSGEBIET IN DER STEIERMARK, ÖSTERREICH

LANDUSE CHANGE AND ITS IMPACT ON WATER BALANCE AND SLOPE STABILITY

CASE STUDY FROM A DRAINAGE CATCHMENT INTENSELY INFLUENCED BY WINTER SKIING ACTIVITIES IN STYRIA, AUSTRIA

Andreas Kellerer-Pirklbauer¹

ZUSAMMENFASSUNG

Eine Umgestaltung der Landnutzungsstruktur kann spontane oder verzögerte Änderungen anderer physischer Landschaftsparameter bewirken. Bezogen auf das Georisiko sind dabei primär Einflüsse auf Wasserhaushalt und Hangstabilität von Interesse. Die vorliegende Arbeit analysiert derartige Zusammenhang qualitativ und quantitativ für den Zeitraum von 1954 bis 2000 am Beispiel eines alpinen Einzugsgebietes in der Steiermark, Österreich. Die Ergebnisse zeigen, dass die Flächenbeanspruchung der Wintersportinfrastruktur extrem zugenommen hat. Diese Landschaftsveränderungen bewirkten u.a. einen signifikanten Anstieg der Flächenanteile mit hohen Abflusskoeffizienten und begünstigten Rutschungen, Rutschungskomplexe und andere Massenbewegungen. Da ähnliche Landnutzungsveränderungen in den letzten Jahrzehnten in alpinen Einzugsgebieten anderer Wintersportregionen vorgenommen wurden, können Teilergebnisse dieser Arbeit auf ähnlich strukturierte Räume übertragen werden.

Key words: Wintersport, Hangstabilität, Wasserhaushalt

ABSTRACT

As a consequence of changes in the land use pattern, physical landscape parameters may get influenced suddenly or with some delay. Changes in water balance and slope stability are of special interest in terms of natural hazard assessment. The study analyses this relationship qualitatively as well as quantitatively. In order to fulfil this target landscape changes and their impacts on an alpine drainage catchment in Styria, Austria have been examined for the period 1954 to 2000. Results show that during this period land use demands for winter skiing infrastructures have increased extremely. These land use changes caused e.g. an remarkable

¹ MMag. Andreas Kellerer-Pirklbauer, Institut für Digitale Bildverarbeitung, JOANNEUM RESEARCH, Wastiangasse 6, Graz, Österreich, (Tel.: +43-316-876-1383; email: andreas.kellerer@joanneum.at)

increase of areas with high runoff coefficients. Furthermore the spatial distribution of landslides and landslide complexes indicates a strong correlation to anthropogenic landscape changes. Especially road construction activities are of crucial importance. Because of the fact that a number of alpine drainage catchments in winter skiing areas show similar land use changes during the last decades, this study may help to understand geomorphic processes of such comparable areas.

Key words: winter sport, slope stability, water balance

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Vegetation sowie Art der Landnutzung beeinflussen in erheblichem Maße hydrologische wie auch geomorphodynamische Prozesse. Neben reinen Veränderungen des Bewuchses und der Landnutzung ist es aber vor allem auch die künstliche Modifikation des Geländes, welche sich negativ auf das Landschaftsgleichgewicht auswirken kann. Das Relief und der Aufbau des oberflächennahen Untergrundes steuern die Prozesse im Stoffhaushalt der Landschaft im Makro- wie Mikromaßstab. Wandel der Landnutzung und Eingriffe in den Wasserhaushalt können zu spontanem oder schleichendem Wandel der Reliefformen, aber auch zu Massenbewegungen einige Jahre nach Ende eines Landschaftseingriffes führen. Zur besseren Abschätzung der Bedeutung der Landnutzung auf Wasserhaushalt und Hangdynamik ist es deshalb auch sinnvoll frühere Landnutzungsverhältnisse zu berücksichtigen.

Von besonderer Bedeutung für ökologisch sensible alpine Räume sind massive Landschaftsveränderungen wie sie etwa durch die Errichtung von Schiabfahrten und Liftrassen verursacht werden können. Diesbezügliche Landschaftsmodifikationen sind in Österreich für die Zeit nach 1945 von Bedeutung, wobei zur Zeit 200km² oder 2,5% der Landesfläche Österreichs durch Schipistenflächen eingenommen werden (ÖROK 1999). Zu diesen Pistenflächen addieren sich Liftrassen von ca. 40km² (bei Verwendung eines typischen Verhältnisses Liftrassen- zu Schipistenfläche von ~1:5). Weiters sei ergänzt, dass zu Flächen von Schipisten und Liftrassen auch noch die notwendigen Komplementäranlagen der Seilbahnen, Schilifte und Pisten hinzugerechnet werden müssen, wie etwa Zufahrtsstraßen, Versorgungswege, Parkplätze und in jüngerer Zeit vor allem auch Einrichtungen, welche den Beschneiungsanlagen dienen. In Summe gesehen dürfte in Österreich somit eine Fläche von ca. 250km² durch den alpinen Schiwintersport beansprucht werden.

Aufgrund eines verstärkt ökologischen Denkens aber auch strengeren gesetzlichen Auflagen veränderte sich die Flächenbeanspruchung durch Schipisten in den 90er Jahren nur wenig. Beispielsweise hat es in Tirol zwischen 1990 und 1997 kaum Veränderungen bei Schipistenflächen gegeben bzw. ist die Anzahl der Aufstiegshilfenanlagen sogar von 1.262 auf 1.187 gesunken. Im Gegensatz dazu stieg die Transportkapazität im gleichen Zeitraum um 13%. In Tirol verteilten sich Ende der 90er Jahre die ca. 81km² Schipistenflächen auf (a) 23% landwirtschaftlichen Dauersiedlungsraum vor allem im Bereich der Talböden - Tendenz sinkend, (b) 22% Waldregion – Tendenz gleichbleibend und (c) 55% Almen und Ödland - Tendenz steigend. Diese Tendenzen zeigen eine ökologische Entlastung tieferer Regionen auf Kosten hochalpiner Gebiete. Ähnliches gilt auch für ganz Österreich (ÖROK 1999).

Massenschilauflauf auf planierten und präparierten Pisten bedingt je nach Ausmaß und Intensität der Eingriffe schwerwiegende Bodenveränderungen und –belastungen. Ein unsachgemäßes Vorgehen bei der Errichtung Schisport-relevanter Infrastruktur kann Erosionsprozesse ermöglichen oder beschleunigen, oder aber auch zu Massenselbstbewegungen in Form von Rutschungen oder sogar Murgängen führen. Zusätzlich dazu sind nachteilige Boden- und

Vegetationsauswirkungen des Pistenschibetriebs bei zu geringen und ungleichmäßigen Schneelagen gegeben. Über die ökologischen Auswirkungen des Baues und Betriebes von Schipisten sei hier beispielsweise auf die Arbeiten von CERNUSCA (1984) oder vor allem MAYER (1990) verwiesen.

Um den oben genannten Fragestellungen gerecht zu werden, wurde in der gegenständlichen Studie anhand eines kleinräumigen alpinen Einzugsgebietes (Ennslingbach, Schladminger Tauern, Steiermark, Österreich) die Veränderung der Landnutzungsstruktur von 1954 bis 2000 mit Hilfe einer GIS-gestützten, multitemporalen Luftbildauswertung detailliert untersucht. Basierend auf diese Auswertung sowie Ergebnisse aus Geländekartierungen und Literaturrecherche wurde versucht, den anthropogenen Anteil ökologischen Veränderungen zu bestimmen. Ausgewählt wurde dieses Untersuchungsgebiet aufgrund der einerseits gut dokumentierten und schitouristisch bedingt extremen Landschaftsveränderung in den letzten rund 50 Jahren und andererseits der genauen Kenntnis morphologischer und morphodynamischer Verhältnisse durch den Bearbeiter.

2. UNTERSUCHUNGSGBIET

Das Einzugsgebiet des Ennslingbaches liegt im NW des Bundeslandes Steiermark wenig östlich der beiden bekannten Schiorte Schladming sowie Haus im Ennstal (Abb. 1). Das Untersuchungsgebiet umfasst das gesamte hydrologische Einzugsgebiet des Ennslingbaches (3,22km²), eines rechtsufrigen Zubringers der Enns an der Nordflanke des Hauser Kaiblings (2.015m). Der höchste Punkt des Einzugsgebietes liegt auf 2000m, der Gipfel des Hauser Kaiblings liegt etwas südlich der Wasserscheide. Die Mündung des Ennslingbaches liegt auf 697m, und die Länge des Gerinnes beträgt rund 4,1km. Die Reliefenergie des gesamten Untersuchungsgebietes beträgt ~1.300m und der Höhenunterschied zwischen dem Ursprung des Ennslingbaches und der Mündung in die Enns 838m.

Das Untersuchungsgebiet liegt im Übergangsbereich zwischen der tektonisch vorgezeichneten, rund 1km breiten Längstalfurche der Enns, der Grauwackenzone und dem mittelostalpinen Kristallin. Der Ennslingbach schüttete auf die pleistozänen und holozänen Talverfüllungen des Ennstales einen mächtigen Schwemmkegel auf, welcher vom Talausgang des Ennslingbaches bis zur Einmündung in die Enns einen Höhenunterschied von über 100m aufweist. Der untere Hangbereich der Nordabdachung des Hauser Kaiblings ist aus wenig standfesten und zerrütteten Ennstaler Phylliten mit eingeschalteten Grünschieferzügen aufgebaut. Beide Gesteinstypen gehören der Ennstaler Phyllitzone (Grauwackenzone) an. Südlich daran anschließend bis in die Gipfelzone dominieren phyllitische Glimmerschiefer und Glimmerschiefer, welche dem Komplex der Wölzer Glimmerschiefer (Mittelostalpinen Kristallin) angehören. Dazwischen eingelagert findet man Granat führende Glimmerschiefer, graphitische Phyllite, Graphitquarzite und Marmore. Die Glimmerschiefer weisen eine ähnlich gering Standfestigkeit wie die Ennstaler Phyllite auf. Die Festgesteine im Untersuchungsgebiet werden zum Teil von Moränenmaterial und Hangschutt überdeckt.

3. VERÄNDERUNG DER LANDNUTZUNG ZWISCHEN 1954 UND 2000

Die Rauminformation der fünf Jahrgänge 1954, 1978, 1988, 1995 und 2000 basiert auf unterschiedlichen Quellen. Für die Jahre 1954 und 1978 standen analoge Luftbilder zur Verfügung. Daten für 1988 wurden aus zwei analogen Orthophotos gewonnen. Für 1995 konnte eine digitale Orthophotokarte verwendet werden. Luftbilder und Orthophotos wurden vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien, sowie vom Referat für

Informations- und Kommunikationstechnik der Steiermärkischen Landesregierung, Graz, zur Verfügung gestellt. Daten zur aktuellen Landnutzung (2000) basieren auf Geländekartierungen. Bei der Auswertung wurden elf Landnutzungsklassen unterschieden, welche sich wie folgt untergliedern lassen: stehende Gewässer (Klasse 1), Waldflächen (Klasse 2, 3, 4), waldfreie, naturnahe Flächen (Klasse 5, 6), verbaute Flächen und Verkehrsflächen (Klasse 7, 8, 9) sowie Liftrassen und Schipisten (Klasse 10, 11). Die Landnutzungsveränderungen für die genannten Zeiträume finden sich kartographisch in Abbildung 1, bzw. tabellarisch mit genauen relativen Mengenangaben in Abbildung 2.

Stehende Gewässer (Klasse 1): Im Jahr 1954 waren noch 0% der Fläche des Einzugsgebietes der Klasse 1 zuzuordnen. Seit dem Bau eines Wasserspeichers für Beschneigungs-zwecke (90er Jahre) beträgt der Anteil 0,21%.

Waldflächen (Klasse 2, 3, 4): Die Landnutzungs-kategorie „dichter Wald und Baumgruppen in niederen Lagen“ (Kl. 2) beträgt in allen 5 Jahrgängen mindestens 50%. Auffällig ist der relativ geringe Anteil der Klasse 2 (50,7%) und der relativ hohe Anteil der Klasse 3 – „Jungwald in niederen Lagen“ (21,8%) im Jahr 1954, was durch großflächige junge Aufforstungsflächen bedingt ist. Auch die Klasse 4, ein offener von Lärchen dominierter Wald in höheren Lagen, reichte aufgrund der noch intensiveren almwirtschaftlichen Nutzung damals in tiefere Lagen. In den späteren 4 Jahrgängen verhalten sich die Anteile der drei Klassen relativ ähnlich. Addiert man alle Waldklassen zusammen, so ergibt sich für das Jahr 1954 ein Wert von 79%. In den folgenden 46 Jahren ist eine Abnahme auf 71% zu verzeichnen. Diese relativ geringe Veränderung, trotz intensiver Erweiterung von Schipisten und Liftrassen, lässt sich vor allem durch das Vorrücken der Waldgrenze in höhere Lagen erklären. Einerseits wurden somit baumbestandene Flächen durch den Ausbau der Wintersportinfrastruktur zerstört und andererseits konnte durch die Abnahme der almwirtschaftlichen Nutzung die Wald- und Baumgrenze in höhere Lagen vorstoßen. Dadurch reduzierte sich der Wert für waldfreie Flächen in der höheren subalpinen Stufe („Übergangsstrauchstufe“) von 9% auf 4%.

Waldfreie, naturnahe Flächen (Klasse 5, 6): Durch die Abnahme der almwirtschaftlichen Nutzung und der dadurch verursachten „Rückbesiedelung“ höherer Lagen durch aufkommende Lärchen und Zirben schwand der Anteil von waldfreien Flächen in der subalpinen Stufe (Kl. 5) kontinuierlich. Waldgesellschaften drängten die Klasse 5 von 8,91% im Jahr 1954 auf 3,92% im Jahr 2000 zurück. Die Klasse 4 (Grünflächen) hat sich während der gesamten Untersuchungsperiode nur wenig verändert.

Verbaute Flächen und Verkehrsflächen (Klasse 7, 8, 9): Gesteuerte Verkehrsflächen (Kl. 8) nehmen in allen 5 Jahrgängen nur einen flächenmäßig unbedeutenden Anteil von 0,1% (1954) bis 0,3% (2000) ein. Verbaute Bereiche (Kl. 7) sind von ähnlich geringer Bedeutung, wobei während des gesamten Untersuchungszeitraumes eine Flächenverdoppelung von 0,6% auf 1,2% zu verzeichnen ist. Markant ist dabei vor allem die massive Verbauung durch Lift-Bergstationen, Hütten und Häuser auf der ca. 1.840 m hoch gelegenen Kuppe im Bereich der Krummholzhütte im SW-Bereich des Untersuchungsraumes (vgl. KELLERER-PIRKLBAUER 2001, S. 112). Eine markante Zunahme verzeichnete die Klasse breiter Schotter- bzw. Forststraßen, wobei in fast 50 Jahren eine Zunahme des Anteiles von 0,2% auf 2,3% der Gesamtfläche erfolgte. Hierbei sei angemerkt, dass viele in diesem Zeitraum neu entstandenen Schotterstraßen primär als Zufahrtsstraßen der Winterschisporteinrichtungen genutzt werden. Schmale Forstwege und Wanderwege wurden in dieser Auswertung nicht berücksichtigt.

Liftrassen und Schipisten (Klasse 10, 11): Extrem haben sich die Flächenanteile der beiden Klassen „Liftrasse“ (Kl. 10) und „Schipiste“ (Kl. 11) verändert. Im Jahr 1954 wiesen nur 0,85% eine der beiden Nutzungsformen auf. Lediglich ein schmaler Streifen von wenigen Metern Breite wurde damals als Piste genutzt. Durch den Bau weiterer Liftanlagen und der Ausdehnung der Pistenflächen in den 70er und 80er Jahren des 20. Jahrhunderts nahm dieser

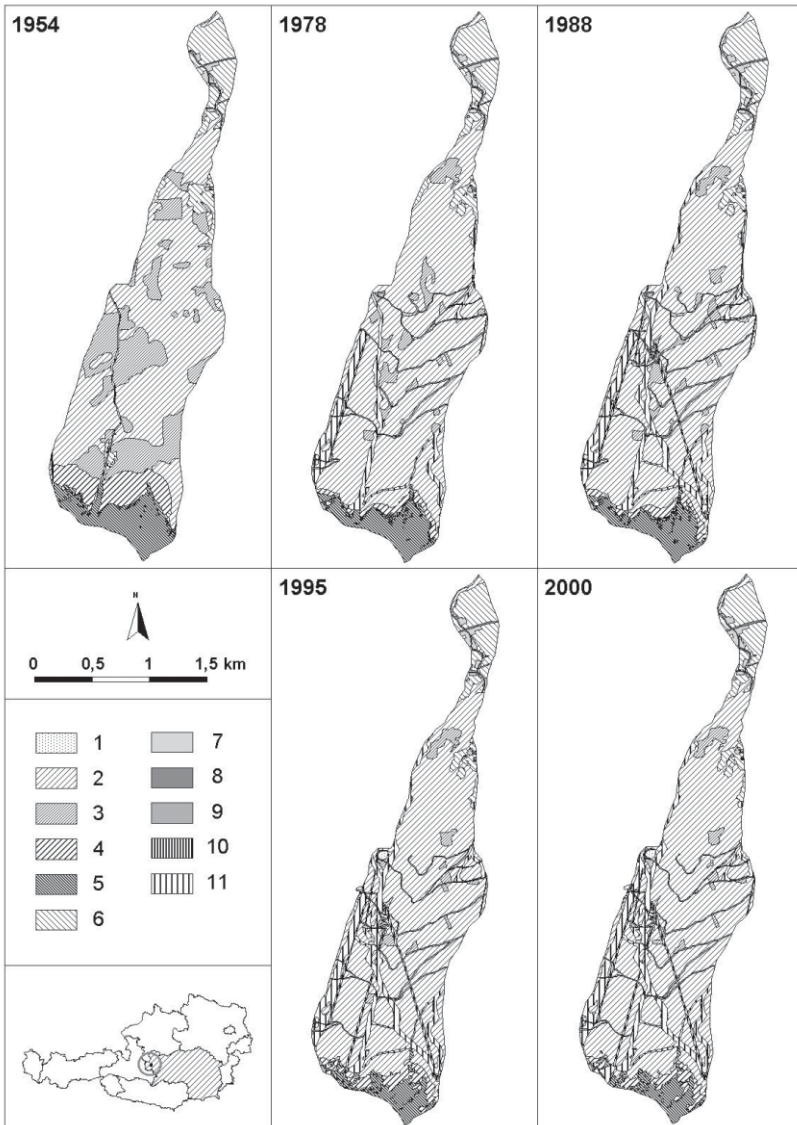


Abb. 1: Übersichtskarte und Karten der Landnutzung 1954, 1978, 1988, 1995 und 2000 im Einzugsgebiet des Ennslingbaches; 1 *Stehendes Gewässer*, 2 *Dichter Wald und Baumgruppen in niederen Lagen*, 3 *Jungwald in niederen Lagen (Aufforstungsflächen)*, 4 *Offener Wald im Bereich der „Kampfzone“*, 5 *Grünfläche ohne Schibetrieb in der oberen subalpinen Stufe (Übergangsstrauchstufe)*, 6 *Grünfläche ohne Schibetrieb in der montanen und unteren subalpinen Stufe (Mähwiesen und Weiden)*, 7 *Verbaute Fläche*, 8 *geteerte Verkehrsfläche*, 9 *breite Schotterstraße /Forststraße*, 10 *Liftrasse*, 11 *Schipiste*.

Fig. 1: Overview map and maps of land use situation 1954, 1978, 1988, 1995 and 2000 in the Ennsling Creek drainage catchment; 1 *pond*, 2 *dense forest and tree groups in low altitudes*, 3 *reforestation area*, 4 *open forest around tree line (pine, larch)*, 5 *unforested area above tree line – not used by skiing industry*, 6 *meadow or pasture below tree line – not used by skiing industry*, 7 *built-up area*, 8 *sealed/tarred road*, 9 *major unsealed/gravel road*, 10 *ski lift*, 11 *ski run*.

Anteil extrem zu, wobei 1978 8% und 1988 12% des Untersuchungsraumes für den Schisport genutzt wurden. In den 90er Jahren veränderten sich diese Flächenteile nur gering, wobei alte Lifтанlagen eingestellt oder modernisiert wurden. Neue Pistenflächen entstanden nur im Sinne von kurzen Verbindungsstücken zweier Schipisten. In Summe standen im Jahr 2000 – gleich wie im Jahr 2003 - 13,19% unter einer dieser beiden Nutzungsformen, was einer mehr als Verfünffachung zwischen 1954 und 2000 entspricht. Im Jahr 2000 waren sieben Lift- und Seilbahnanlagen (gesamte Anlage oder abschnittsweise) im Einzugsgebiet des Ennslingbaches zu verzeichnen. Diese zwei Sessellift-, zwei Schleplift-, ein Übungslift- und zwei Seilbahnanlagen nehmen dabei eine Fläche von 2,0% des Untersuchungsgebietes ein. Sieben Abfahrten und einige Pistenverbindungsflächen umfassen einen Anteil von 11,2%, wobei der Charakter von ‚Schiautobahnen‘ (Breiten von über 50m) dominiert. Vor allem im SW- und W-Bereich des Untersuchungsgebietes – im Bereich sanfter Rücken und Höhenzüge - kam es durch diese touristischen Infrastrukturen zu einer starken Landschaftsüberprägung.

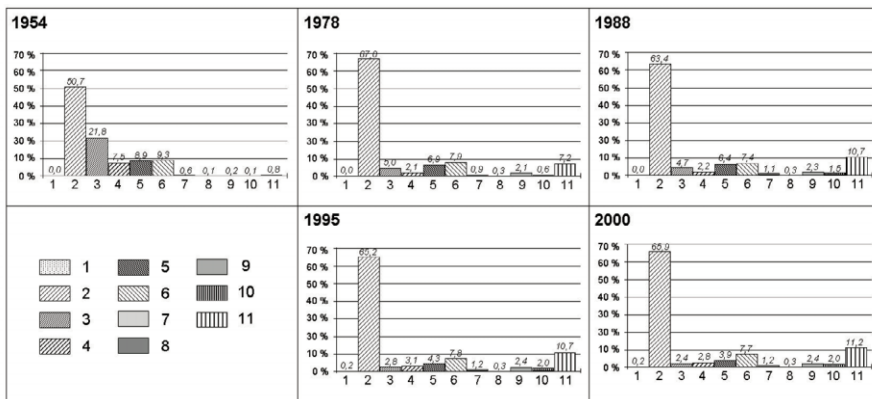


Abb. 2: Grafiken der Landnutzung 1954, 1978, 1988, 1995 und 2000 im Einzugsgebiet des Ennslingbaches; 1 Stehendes Gewässer, 2 Dichter Wald und Baumgruppen in niederen Lagen, 3 Jungwald in niederen Lagen (Aufforstungsflächen), 4 Offener Wald im Bereich der „Kampfzone“, 5 Grünfläche ohne Schibetrieb in der oberen subalpinen Stufe (Übergangstrauchstufe), 6 Grünfläche ohne Schibetrieb in der montanen und unteren subalpinen Stufe (Mähwiesen und Weiden), 7 Verbaute Fläche, 8 geteerte Verkehrsfläche, 9 breite Schotterstraße /Forststraße, 10 Liftrasse, 11 Schipiste.

Fig. 2: Graphs of land use situation 1954, 1978, 1988, 1995 and 2000 in the Ennsling Creek drainage catchment; 1 pond, 2 dense forest and tree groups in low altitudes, 3 reforestation area, 4 open forest around tree line (pine, larch), 5 unforested area above tree line – not used by skiing industry, 6 meadow or pasture below tree line – not used by skiing industry, 7 built-up area, 8 sealed/tarred road, 9 major unsealed/gravel road, 10 ski lift, 11 ski run.

4. AUSWIRKUNGEN AUF DEN WASSERHAUSHALT

Im Untersuchungsgebiet wirkt sich der anthropogene Einfluss auf das Abflussverhalten und die Abflussmenge des Ennslingbaches vor allem in zweierlei Hinsicht aus: einerseits durch die (a) direkte Entnahme oder Zuleitung von abfließendem Wasser von stehenden oder rinnenden Gewässer und andererseits durch die (b) Veränderung von Anlaufzeit und Oberflächenabflusskoeffizienten bei einem Niederschlagsereignis durch eine modifizierte Landnutzungssituation.

Der Ennslingbach entspringt in zwei Quellbächen am Nordhang des Hauser Kaiblings im Bürgerwald von Haus. Am östlichen Quellast sind die bedeutenderen Quellen zu finden,

wobei es sich vorwiegend um Schichtquellen handelt. Im Bereich der Haupttieflinie dieses östlichen Quelllastes finden sich auch zwei große Wasserfassungen, in denen Wasser für zwei Speicherteiche abgeleitet wird. Diese Speicherteiche dienen den Beschneigungsanlagen am Hauser Kaibling. Speicherteich I - mit einem maximalen Fassungsvermögen von 35.000m³ - liegt innerhalb des Untersuchungsgebietes. Speicherteich II mit 3.500m³ Fassungsvermögen liegt wenig westlich der Wasserscheide. Die Überwässer von Speicherteich I werden über ein geschlossenes Kanalsystem dem Ennslingbach zugeleitet. Der westliche Quelllast ist bezogen auf die Wasserschüttung von geringerer Bedeutung und durch die intensive anthropogene Umgestaltung der Landschaft in Form von Pisten- und Lifتانlagen bzw. Pistentwässerungssystemen stark verändert worden. So wird beispielsweise in einer Seehöhe zwischen 1.350m und 1.420m das Niederschlags- und Schneeschmelzwasser auf einer Pistenfläche von 22.700m² gesammelt, einem Schlammfang zugeführt und unterirdisch dem Wasserspeicher I zugeleitet.

Neben der gewollten Beeinflussung des Wasserhaushaltes für Nutzungszwecke kommt es auch zu einem ungewollten Einfluss auf die Wasserwege. Durch den Bau und den Betrieb der breiten Schiabfahrten wurden vor allem wasserspeichernde Waldböden zerstört und so in degradierte Böden umgewandelt. Diese ermöglichen meist nur eine geringe Infiltration von Oberflächenwasser, was den relativen Oberflächenabfluss bei gleichzeitiger Verringerung der Anlaufzeit (die Zeit bis es bei einem Niederschlagsereignis zum Oberflächenabfluss kommt) erhöht. Im Untersuchungsgebiet liegen keine Untersuchungen bezüglich der Abflussverhältnisse an Schipisten vor, aber zahlreiche Arbeiten in den Alpen weisen auf diese Problematik hin (z.B. CERNUSCA 1984, KOHL *et al.* 1997, MAYER 1990, MARKART *et al.* 2000, MOSIMAN 1981, SCHAFFHAUSER 1979 und SCHWEIGHOFER 1989). Besonders sei auf die Arbeit von MARKART *et al.* (2000) hingewiesen, in welcher Abfluss- und Infiltrationsverhalten von unterschiedlichen Boden-/Vegetationseinheiten im Bereich Schladming – Planai – Hochwurzen diskutiert werden.

Um den Einfluss der Landnutzungsveränderung auf den Oberflächenabfluss quantifizieren zu können, wurden die Daten der Landnutzungssituationen der Jahrgänge 1954 und 2000 mit Angaben über Abflusskoeffizienten unterschiedlicher Bedeckungsart aus der Literatur verschnitten. Zusätzlich floss die Hangneigung in diese Auswertung mit ein (basierend auf ein DHM mit 15x15m Auflösung), wobei zwischen flachen, mittelsteilen und steilen Hanglagen unterschieden wurde. Die Verscheidung der zehn Landnutzungs- mit den drei Hangneigungsklassen ergibt die in Tabelle 1 dargestellten Werte, bzw. die in Abbildung 3 gezeigte räumliche Verteilung.

Tab. 1: Abflusskoeffizienten für unterschiedliche Landnutzungs- sowie Hangneigungsklassen.

Tab. 1: Runoff coefficients for different land use classes and slope angle classes.

Landnutzungs-kategorie	Hangneigungsklasse ⁽⁵⁾		
	flach (0 - 8°)	mittel (8 - 26°)	steil (26 - 60°)
Dichte Waldbedeckung ⁽¹⁾	0,0	0,1	0,2
Jungwald in niederen Lagen (Aufforstungsflächen) ⁽²⁾	0,1	0,3	0,5
Offener Wald im Bereich der "Kampfbzone" ⁽²⁾	0,2	0,4	0,6
Waldfreie Fläche oberhalb der Baumgrenze ⁽¹⁾	0,0	0,1	0,2
Grünfläche ohne Schibetrieb unterhalb der Baumgrenze ⁽³⁾	0,3	0,4	0,6
Liftrasse ⁽⁴⁾	0,4	0,5	0,7
Schipiste ^{(1) und (4)}	0,4	0,5	0,7
Verbaute Fläche	1,0	1,0	1,0
Verkehrsfläche (geteert)	1,0	1,0	1,0
Schotterstraße (Forststraße)	0,8	0,9	1,0

⁽¹⁾ MARKART *et al.* 2000, ⁽²⁾ HAMPPEL 1989 (nach MÜLLER, R.), ⁽³⁾ MARKART & KOHL 1995, ⁽⁴⁾ CERNUSCA 1984, ⁽⁵⁾ LESER 1977

Das Muster der räumlichen Verbreitung der Abflusskoeffizienten zeigt eine dramatische Veränderung zwischen 1954 und 2000 trotz relativ gleichbleibender Mittelwerte. Vergleicht man die beiden Abflusskoeffizienten-Mittelwerte für das gesamte Untersuchungsgebiet, so liegt dieser Wert 1954 bei 0,23 und 2000 nur wenig höher bei 0,25. Diese Situation ergibt sich aufgrund der im Jahr 1954 gegenüber 2000 großräumigeren Verbreitung von Jungwäldern und Aufforstungsflächen sowie Grünflächen ohne Schibetrieb oberhalb der damals noch tiefer gelegenen Baumgrenze. Dem gegenüber stehen im Jahr 2000 die weitverbreiteten Lifтанlagen, Schitrassen und Forststraßen bei kleineren Flächen von Jungwäldern und Grünflächen ohne Schibetrieb oberhalb der Baumgrenze, welche gesamt gerechnet trotzdem noch den Mittelwert auf 0,25 anstiegen ließen. Bei Betrachtung der quantitativen Verteilung im gesamten Einzugsgebiet des Ennslingbaches lässt sich erkennen, dass 1954 die Koeffizientenklassen 0,0 bis 0,3 in Summe 81,4% erreichten, die mittlere Gruppe mit 0,4, 0,5 sowie 0,6 umfasste in Summe 17,6% und die höchsten Abflusskoeffizientenklassen mit 0,7 bis 1,0 ergaben gemeinsam nur 1,0%. Die selben drei Koeffizientengruppen verschoben sich bis zum Jahr 2000 auf 76,4% für die erste Gruppe, 19,0% für die mittlere Gruppe und 4,7% für die Gruppe mit den höchsten Abflusskoeffizienten. Diese nahezu Verfünffachung der letzten Gruppe ist in Abbildung 4B dargestellt. Dabei nahmen Flächen mit den Abflusskoeffizienten 1,0 um das 2,5fache, 0,7 um das 9fache und 0,9 sogar um das 18fache zu. Dies bedeutet, dass es - obwohl sich der Mittelwert eben nur wenig veränderte - zu einer extremen Zunahme von Flächen mit hohen bis sehr hohen Abflusskoeffizienten gekommen ist.

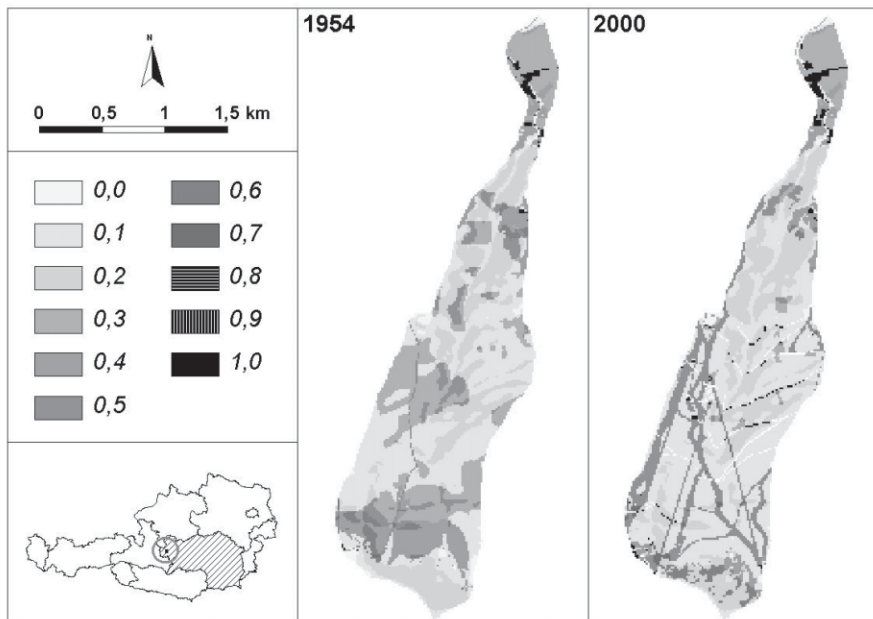


Abb. 3: Räumliche Verbreitung der Abflusskoeffizienten im Untersuchungsgebiet unter Berücksichtigung der Landnutzung und Hangneigung für die Jahrgänge 1954 und 2000.

Fig. 3: Spatial distribution of runoff coefficients in the study area considering land use and slope angle in the year 1954 and 2000.

Zusätzlich ist anzumerken, dass die Anlaufzeit durch diese Landnutzungsveränderung ebenfalls negativ beeinflusst wurde, d.h. sich verkürzte, wie etwa auch deutlich aus der Arbeit

von MARKART und anderen (2000) von Beregnungsversuchen auf Pistenflächen der nahegelegenen Schladminger Planai hervorgeht. Weiters wird darauf hingewiesen, dass ein nicht unwesentlicher Teil der Flächen mit hohen Abflusskoeffizienten im näheren Einzugsgebiet von aktiven Rutschungen und Rutschungskomplexen liegt. Diese beiden letztgenannten Aspekte können einen negativen Einfluss auf das Hochwasserverhalten des Ennslingbaches, der Murgangdisposition sowie den Bodenwasserhaushalt - besonders oberhalb von instabilen Hangbereichen wie etwa an einem Geländeknick zwischen einer geschobenen Piste und einem Einhang (vgl. KELLERER-PIRKLBAUER 2001, S. 76) - ausüben.

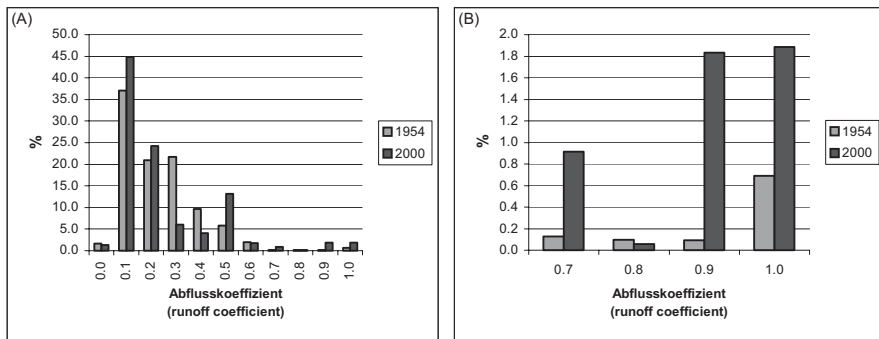


Abb. 4: Relative Flächenanteile unterschiedlicher Abflusskoeffizienten im Untersuchungsgebiet unter Berücksichtigung der Landnutzung und Hangneigung für die Jahrgänge 1954 und 2000: (A) für alle 10 Koeffizienten, (B) für Koeffizienten 0,7 bis 1,0.

Fig. 4: Relative area proportions of different runoff coefficients in the study area considering land use and slope angle in the year 1954 and 2000: (A) for all 10 coefficients, (B) for coefficients 0.7 to 1.0.

5. AUSWIRKUNGEN AUF DIE HANGSTABILITÄT

Im Untersuchungsgebiet treten relativ häufig aktive morphodynamische Prozesse und ihre Auswirkungen in Erscheinung. Dabei sind vorwiegend tiefgründige Hangdeformationen, Rutschungen in flächenhafter wie stromförmiger Ausprägung und die morphodynamischen Verhältnisse im Bachbett des Ennslingbaches selbst zu nennen (vgl. KELLERER-PIRKLBAUER 2001). Anthropogen induzierte Massenbewegungen können dabei durch die Veränderung der Landnutzung alleine, oder aber durch die zusätzliche Umgestaltung des Reliefs und dadurch erfolgter Veränderungen der Spannungsverhältnisse ganzer Hangpartien – z.B. durch Wegebau, Pisten- oder Liftrassenaufschüttungen bzw. -abgrabungen – ausgelöst worden sein. Bei Pistenflächen muss man zwischen Naturpiste und geschobener Piste unterscheiden. Während Naturpisten der natürlichen Topographie angepasst sind, werden bei geschobenen Pisten durch Planierungen, Aufschüttungen und Abgrabungen die ursprünglichen Oberflächenformen verändert (MAYER 1990). Im Untersuchungsgebiet überwiegen geschobene Pisten.

Morphodynamische Prozesse in Form von kleinen Rutschungen sind häufig auf der Bergseite der geschobenen Pisten zu beobachten. Durch die Unterschneidung des Hanges wird die Hangstabilität reduziert, und im Zuge der Durchfeuchtung durch Schmelz- oder Niederschlagswasser erfolgt ein Grundbruch und die Ausbildung einer meist seichtgründigen Translations- oder Rotationsrutschung. Auf der talwärtigen Seite von geschobenen Pisten kann es durch die zusätzliche Auflast von Material in Verbindung mit einem hohen Wasserangebot bzw. Porenwasserüberdruck ebenfalls zu Rutschungsabbrüchen kommen (vgl.

KELLERER-PIRKLBAUER 2002). Beispielsweise sei hier erwähnt eine Rutschmasse am Rand der sogenannten „Prennerabfahrt“ in einer Seehöhe von 1.240m. Dieser Rutschkörper ist durch die zusätzliche künstliche Aufschüttung durch den Schipistenbau am Übergang eines flachen Hangrückens zum Einhang des Ennslingbaches in ihrer Bewegung verstärkt wenn nicht ausgelöst worden. Zusätzlich begünstigen zwei die Rutschung anscheinende Wirtschaftswege ca. 50m und ca. 80m unterhalb der Anrisszone die Aktivität dieser Rutschung. Ähnliches gilt für Liftrassen von Schleppliften.

Neben den direkten Anlagen für den Wintersport ist auch das Netz an Forststraßen und Zufahrtsstraßen zu diversen Liftanlagen ein wichtiger Einflussfaktor für Massenbewegungen im Untersuchungsgebiet. Kleinere Hangbewegungen, in ähnlicher Form wie bei den oben genannten Pistenflächen, treten entlang den Forststraßen immer wieder in Erscheinung. An den Einhängen des Mittellaufes des Untersuchungsgebietes sind wahrscheinlich einige große Hangbewegungen durch die Errichtung von Forststraßen in ihrer Bewegung ausgelöst oder zumindest beschleunigt worden.

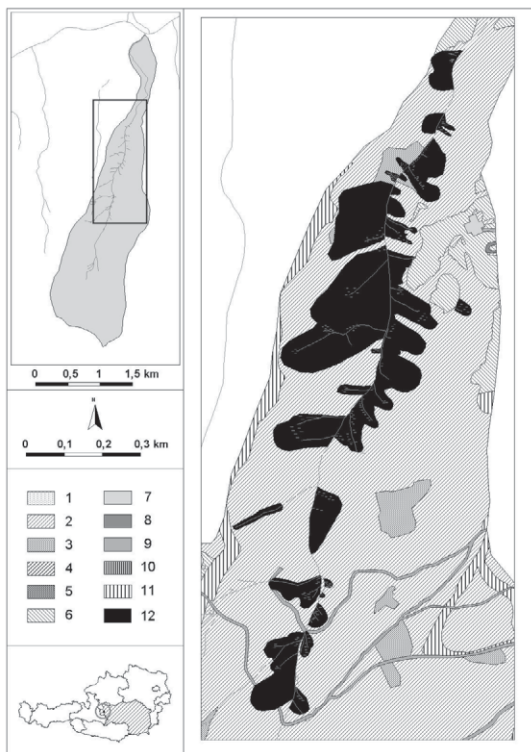
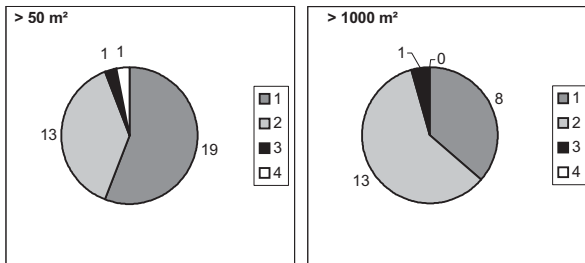


Abb. 5: Landnutzung 2000 und Verteilung von Rutschungen und Rutschungskomplexen im Einzugsgebiet des Ennslingbaches; 1 *Stehendes Gewässer*, 2 *Dichter Wald und Baumgruppen in niederen Lagen*, 3 *Jungwald in niederen Lagen (Aufforstungsflächen)*, 4 *Offener Wald im Bereich der „Kampfzone“*, 5 *Grünfläche ohne Schibetrieb in der oberen subalpinen Stufe (Übergangstrauchstufe)*, 6 *Grünfläche ohne Schibetrieb in der montanen und unteren subalpinen Stufe (Mähwiesen und Weiden)*, 7 *Verbaute Fläche*, 8: *geteerte Verkehrsfläche*, 9 *breite Schotterstraße /Forststraße*, 10 *Liftrasse*, 11 *Schipiste*, 12 *Rutschung/Rutschungskomplex*.

Fig. 5. Land use situation 2000 and distribution of landslides and landslide complexes in the Ennsling Creek drainage catchment; 1 *pond*, 2 *dense forest and tree groups in low altitudes*, 3 *reforestation area*, 4 *open forest around tree line (pine, larch)*, 5 *unforested area above tree line – not used by skiing industry*, 6 *meadow or pasture below tree line – not used by skiing industry*, 7 *built-up area*, 8 *sealed/tarred road*, 9 *major unsealed/gravel road*, 10 *ski lift*, 11 *ski run*, 12 *landslide/landslide complex*.

Geländekartierungen im Untersuchungsgebiet ergaben in Summe achtundvierzig Rutschungen mit einer räumlichen Ausdehnung >50m². In mehreren Fällen lagen dabei den primären Massenselbstbewegungen kleinere sekundäre Rutschungen auf. Als sekundäre Rutschungen sind kleinflächige, seichtgründige und meist stark durchnässte stromartige Rutschkörper auf großflächigeren, mittel- bis tiefgründigen Rutschmassen zu verstehen. Derartige Massenbewegungskomplexe wurden im Zuge dieser Auswertung jeweils als ein Rutschungskomplex gezählt, wodurch sich die Anzahl auf vierunddreißig reduzierte (Abb. 5).

Bei der Beurteilung und Analyse der vierunddreißig Rutschungen wurde bezogen auf die räumliche Ausdehnung zwischen klein (G1: 50-1.000m²), mittel (G2: 1.000-5.000m²) und groß (G3: >5.000m²) unterschieden, wobei zwölf Rutschungen G1, fünfzehn G2 und sieben G3 zugeordnet wurden. Bei den zwölf G1 Rutschungen dominieren als Auslösefaktoren naturbedingte Verhältnisse (Geologie, Relief und Hydrologie). Nur eine G1-Rutschung ist rein durch den Pistenbau aktiviert worden. Bei den fünfzehn G2 Rutschungen sind sieben durch die natürlichen Gegebenheiten bedingt, an sieben weiteren tritt zusätzlich der Wegebau als wichtiger Faktor in Erscheinung und an einer G2 Rutschung bestimmen Forstweg und Schipiste deren Aktivitätsgrad. Bei den sieben Rutschungen über 5.000m² Flächenausdehnung sind sechs durch den Wegebau in ihrer Bewegung verstärkt wenn nicht ausgelöst worden. Nur eine G3 Rutschung ist nicht anthropogen verursacht oder verstärkt. Fasst man die Rutschungen in vier Auslöser- bzw. Aktivitätsbeeinflussungsgruppen zusammen (Kl.1 rein naturbedingt, Kl.2 zusätzlich Wegebau, Kl.3 zusätzlich Wege- und Pistenbau, Kl.4 rein



Pistenbau), so ergibt sich das in Abbildung 6 dargestellte Bild. In der linken Grafik werden dabei alle Rutschungen >50m² (34), in der rechten Grafik hingegen nur alle Rutschungen >1.000m² (22) berücksichtigt.

Abb. 6: Bedeutung des anthropogenen Faktors bei aktiven Rutschungen und Rutschungskomplexen im Untersuchungsgebiet für Rutschungen/Rutschungskomplexe >50m² und >1.000m²; 1 rein naturbedingt, 2 zusätzlich Wegebau, 3 zusätzlich Wege- und Pistenbau, 4 rein Pistenbau.

Fig. 6. Relevance of human action on landslides and landslide complexes in the study area for landslide/landslide complexes exceeding an area of 50m² and 1.000m²; 1 purely natural causes, 2 natural causes plus road construction activities, 3 natural causes plus road and ski run construction activities, 4 pure ski run construction.

6. DISKUSSION

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass in den letzten rund 50 Jahren die Flächenbeanspruchung von Wintersportinfrastruktur im Untersuchungsgebiet extrem zugenommen hat. So stieg der Anteil der Nutzungsformen "Liftrasse" und "Schipiste" von 0,85% im Jahr 1954 auf 13,19% im Jahr 2000 an. Ähnlich verhält sich die relative Zunahme von Forst- und Schotterstraßen mit 0,2% 1954 auf 2,4% im Jahr 2000. Für Vegetation, Wasserhaushalt sowie Massenbewegungsdynamik sind solche Veränderungen von wesentlicher Signifikanz. Ein direkter Vergleich der beiden Jahre 1954 und 2000 zeigt diese Anstiege sehr deutlich. Trotz relativ gleichbleibender Mittelwerte in diesen ca. 50 Jahren nahm jedoch die Gruppe der höchsten Abflusskoeffizienten um das 4,7fache zu. Veränderte hydrologische Rahmenbedingungen (Abflusskoeffizienten, Pistenentwässerung, Beschneigungsanlagen) wie auch eine intensive anthropogene Geländeüberprägung (Pisten-, Liftrassen- und Forstwegebau) reduzierten im Untersuchungsgebiet die Hangstabilitätsverhältnisse. Die Verteilungskarte aktiver Rutschungen lässt einen Zusammenhang mit der Art der Landnutzung deutlich erkennen. Dabei zeigen vor allem Pistenrandbereiche und Forstwegeinschnitte in wenig standfesten Material eine hohe Neigung zur Auslösung von Massenbewegungen.

Aufgrund der angesprochenen möglichen zeitlichen Verzögerung anthropogen induzierter Hanginstabilitäten könnten in Zukunft weitere Hangbereiche in Bewegung geraten. Diese Zunahme des Georisikopotentials erhöht v.a. im Weiler Ennsling auf dem Schwemmkegel des Ennslingbaches die Gefahr von Hochwasser- und Murenereignissen.

Viele alpine Wintersportgebiete im Westen Österreichs liegen in lithologisch gesehen vergleichbaren Räumen und machten in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts auch ähnliche gravierende Landschaftsveränderungen durch. Deshalb kann man beim Einzugsgebiet des Ennslingbaches wahrscheinlich von einem repräsentativen Untersuchungsgebiet für andere alpine Wintersportregionen in Österreich sprechen. Teilergebnisse der vorliegenden Arbeit können auf ähnlich strukturierte Räume übertragen werden.

LITERATUR

- Cernusca A. (1984): „Ökologische Auswirkungen des Baues und Betriebes von Schipisten“. *Beiträge und Diskussion zu Interpraevent 1984*, Villach, Vol. 3; 57 - 77.
- Hampel R. (1989): „Studie über kurze Starkregen“. *Zeitschrift des Vereins der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs*, Vol. 111; 23 - 46.
- Kellerer-Pirklbauer A. (2001): „GIS-gestützte Analyse der Murgangdisposition im Einzugsgebiet des Ennslingbaches bei Haus im Ennstal“. *Unveröff. Dipl. Arb., Karl-Franzens Universität Graz, Institut für Geographie und Raumforschung*, Graz.
- Kellerer-Pirklbauer A. (2002): „The influence of landuse on the stability of slopes with some examples from the European Alps“. *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, Graz, Vol. 132; 43 - 62.
- Kohl B., Markart G., Stary U., Proske H., Trinkaus P. (1997): „Abfluss- und Infiltrationsverhalten von Böden unter Fichtenaltbeständen in der Gleinalm (Stmk.): Vergleich zweier Großregenanlagen“. *Beiträge zur Wildbachforschung*, Wien; 27 - 32.
- Leser H. (1977): „Feld- und Labormethoden der Geomorphologie“. *De Gruyter*, Berlin.
- Markart G., Kohl B. (1995): „Starkregensimulation und bodenphysikalische Kennwerte als Grundlage der Abschätzung von Abfluss- und Infiltrationseigenschaften alpiner Boden-/Vegetationseinheiten. Ergebnisse der Berechnungsversuche im Mustereinzugsgebiet Löhnersbach bei Saalbach in Salzburg“. *Berichte der forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien Waldforschungszentrum*, Wien, Vol. 89.
- Markart G., Kohl B., Bauer W. (2000): „Ergebnisse der Berechnungen und erste Resultate der bodenphysikalischen Analysen. Unveröffentlichter Zwischenbericht über Untersuchungen zum Abfluss- und Infiltrationsverhalten der Boden-/Vegetationseinheiten im Bereich Schladming – Planai – Hochwurzen“. *Institut für Lawinen- und Wildbachforschung der Forstlichen Bundesversuchsanstalt*, Innsbruck.
- Mayer H. (1990): „Schipistenökologische Umweltverträglichkeitsprüfung der Wald-Abfahrten im Gasteiner Schi-Zirkus“. *Österreichische Akademie der Wissenschaften, Universitätsverlag Wagner*, Innsbruck.
- Mosiman T. (1981): „Geoökologische Standortsindikatoren für die Erosionsanfälligkeit alpiner Hänge nach Geländeeingriffen für Pistenanlagen“. *Geometho.*, Vol. 6; 143 - 174.
- ÖROK (1999): „Strukturwandel und Flächennutzungsänderungen in der österreichischen Land- und Forstwirtschaft“. *Gutachten des Österreichischen Instituts für Raumplanung (ÖIR) – Österreichische Raumordnungskonferenz (ÖROK)*, Wien, Vol. 145.
- Schaffhauser H. (1979): „Berechnungsversuche auf Schipisten“. *Informationsdienst der FBVA*, Vol. 179. Folge, Allgemeine Forstzeitung, Jg. 90/1.
- Schweighofer W. (1989): „Gegenüberstellung von Untersuchungen über das Abflussverhalten unterschiedlich bewirtschafteter Böden“. *Österr. Forstzeitung*, Vol. 3/1989; 25 - 27.