

Technische Hilfe im Rahmen des österreichischen Programms LE 07-13

GRAVIPROFOR

Verbesserung der Erfassung der Schutzwaldkulisse für die forstliche Raumplanung

Synthese und Zusammenfassung:

Ziele, Grundlagen und Ergebnisse der Modellierung von Waldflächen mit Lawinen- und Steinschlag-Objektschutzfunktion



Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW)

Institut für Naturgefahren

Innsbruck, November 2014

Projektsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft im Rahmen der Technischen Hilfe des österreichischen Programms LE 07-13 mit Unterstützung von Bund, Ländern und der Europäischen Union. Hauptbericht.

Zahl: BMLFUW-LE.1.3-7/0020-II/5/2012

Kurzbezeichnung: Schutzwaldkulisse in der forstlichen Raumplanung

Deckblattfoto: Lambert Rammer

Autoren:

Frank Perzl, Bundesforschungszentrum für Wald (BFW)

Andreas Huber, Bundesforschungszentrum für Wald (BFW)

Mit Unterstützung durch die Bundesländer (Abteilungen für Forstwesen, Raumordnung und Geoinformation):

Burgenland

Kärnten

Niederösterreich

Oberösterreich

Salzburg

Steiermark

Tirol

Vorarlberg

Wien



Mit Unterstützung durch das



und die



Die Modellierungen und ihre Ergebnisse haben keine rechtsbegründende, rechtsändernde oder rechtsgestaltende Wirkung.

INHALT

Abkürzungsverzeichnis	4
1. Ausgangslage und Ziele	5
1.1 Ausgangslage 2012.....	5
1.2 Ziele.....	7
1.3 Aufbau der Projektberichte.....	10
1.4 Datenmodell, räumliches Referenzsystem und Bearbeitungseinheiten.....	10
2. Schutzwald – Begriff und Bedeutung	11
2.1 Wald mit direkter und indirekter Schutzfunktion	15
2.2 Die minimale Schutzfunktionsfläche	22
2.3 Bemessungsereignisse der Schutzfunktionenkartierung	23
3. Status quo: Schutzwaldkartierung nach der WEP-Richtlinie	27
3.1 Aufgabe und Planungsprogramm des Waldentwicklungsplans.....	27
3.2 Kartierung und Bewertung der Schutzfunktion nach der WEP-Richtlinie.....	30
3.3 Objektklassifikation nach der WEP-Richtlinie	32
3.4 Schutzfunktion des Waldes und Schutzbauten.....	34
4. GRAVIPROFOR Schutzwaldklassifikation	35
5. Ergebnisse der Aufbereitung der Datengrundlagen	38
5.1 Digitales Geländemodell	38
5.2 Waldlayer	39
5.3 Objektlayer - Objektklassifikation	44
6. Modellierung des Gefahren- und Schadenpotenzials	51
6.1 Steinschlag.....	58
6.2 Schneelawine.....	63
7. Klassifikation des Waldes nach der Objektschutzfunktion	74
7.1 Klassifikation von Wald in potenziellen Steinschlagzonen.....	74
7.2 Klassifikation von Wald in potenziellen Lawinenzonen	77
7.3 Gesamtergebnis	79
8. Kurzfassung und Empfehlungen	81
Literatur	84

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AGWRIL	Adress-, Gebäude und Wohnungsregister
ALS-DGM	Digitales Geländemodell auf der Basis von Airborne Laser Scannings
APGIII	Freileitungsnetz der Austrian Power Grid AG
BergIS	Bergbauinformationssystem
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
BFW	Bundesforschungszentrum für Wald
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
bmwfw	Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft
DKM	Digitale Katastermappe
DKM-NS	Nutzungsebene der Digitalen Katastermappe
DFWK	Digitaler Flächenwidmungsplan auf Kartenebene
DFWP	Digitaler Flächenwidmungsplan auf Planebene
DGM	Digitales Geländemodell
DLM	Digitales Landschaftsmodell
DLM-V	Digitales Landschaftsmodell Verkehr
FG	Forstgesetz
FRP	Forstliche Raumplanung
GDI	Geodateninfrastruktur
GIP	GraphenIntegrationsPlattform
GIS	Geographisches Informationssystem
GNW	Grenzneigungswinkel
GPF	Gefahrenpotenzialflächen
GZP	Gefahrenzonenplan
ISDW	Initiative Schutz durch Wald
KAGIS	Geodatendienst des Landes Kärnten
LE	Programm für die Entwicklung des Ländlichen Raums
N	Fallzahl
MHN	Mittlere Hangneigung [°]
MMXHS	Mittlere maximale Schneehöhe [cm]
OKL	Objektklasse(-n), Objektklassifikation
OSF	Objektschutzfunktion
OSW	Objektschutzwirkung
ÖWI	Österreichische Waldinventur
ÖK 50	Österreichische topographische Karte 1:50.000
RVS	Richtlinien und Vorschriften für den Straßenverkehr
SAE	Schutzwald außer Ertrag
SIE	Schutzwald im Ertrag
S1, S2, S3	Wertziffern der Schutzfunktion: geringe, mittlere, hohe Wertigkeit
WEP	Waldentwicklungsplan
WEP-V	Verordnung über den Waldentwicklungsplan
WEP-R	Richtlinie über Inhalt und Ausgestaltung des Waldentwicklungsplans
WFK	Waldfunktionenkartierung
WOSF	Wald (Waldfläche) mit Objektschutzfunktion
SWK	Schutzwaldkartierung
WKG	Tiroler Waldkategorien (Klassen der Waldflächenerhebung)
WS2	Wirtschaftswald mit Schutzfunktion

1. AUSGANGSLAGE UND ZIELE

1.1 AUSGANGSLAGE 2012

In Österreich werden seit der Forstgesetz-Novelle 2002 zwei Funktionstypen von Schutzwald unterschieden: Objektschutzwald und Standortschutzwald.

Ein Objektschutzwald nach [§ 21 Abs. 2 Forstgesetz \(FG, 2002\)](#) hat die Aufgabe Menschen und ihre Sachgüter vor den schädigenden Auswirkungen von Naturgefahren zu schützen.

Der Standortschutzwald nach [§ 21 Abs. 1 FG 2002](#) stockt auf Standorten mit ungünstigen Boden- und Klimabedingungen. Ein Standortschutzwald schützt den eigenen Standort zur Erhaltung der Bodenfunktionen und des Waldwachstum.

In Österreich haben nach dem FG zwei forstliche Raumpläne die Aufgabe Informationen über die Naturgefahren und den Schutzwald bereit zu stellen: der Waldentwicklungsplan (WEP) und der Gefahrenzonenplan (GZP). WEP und GZP sind informationelle Instrumente des Naturgefahren- und Waldmanagements mit strategischen und vorbeugende Aufgaben. Inhalte und Gestaltung von WEP und GZP sind durch Verordnungen und Richtlinien geregelt. Ergänzend zu diesen kartografischen Informationen dient das statistische Informationsinstrument Österreichische Waldinventur (ÖWI) der Problemerkennung und Unterstützung forstpolitischer Entscheidungen durch die Beobachtung von Waldzustands-Entwicklungstrends.

In Österreich wird die Objektschutzfunktion (OSF) des Waldes bzw. die Waldfunktionsfläche mit Objektschutzwirkung¹ (OSW) von der Forstbehörde im Waldentwicklungsplan (WEP) im Rahmen der Waldfunktionskartierung (WFK) als Teil der forstlichen Raumplanung (FRP) erfasst. Die Kartierung des Schutzwalds (SWK) ist auf Grundlage des Forstgesetzes ([FG, 2002](#)) durch die WEP-Verordnung ([WEP-V, 1977](#)) und im Detail durch die WEP-Richtlinie ([WEP-R, 2012](#)) geregelt. Der WEP ist die strategische und kartografische Grundlage für die Planung und Evaluierung von Maßnahmen zur Pflege und Sanierung des Schutzwaldes der "Landeskonzepte zur Verbesserung der Schutzwirkung des Waldes" und des "Programms für die Entwicklung des Ländlichen Raums" (LE).

Da der Objektschutzwald Menschen und Sachwerte direkt vor gravitativen Naturgefahren schützt, ist seine Schutzwirkung in einem dicht besiedelten Land mit hoher Reliefenergie von großer Bedeutung. Der "Wald mit Objektschutzwirkung" (Objektschutzfunktion) wird nach der derzeit gültigen Planungsrichtlinie ([WEP-R, 2012](#)) im WEP als Flächenanteil der Waldfunktionsfläche und der Waldfläche angegeben. Er ist jedoch nicht in der Waldfunktionskarte ausgewiesen. Denn nach der WEP-Richtlinie hat keine kartographische Erfassung zu erfolgen. Auch die vom Wald zu schützenden Siedlungsflächen und Infrastrukturanlagen sind kartografisch nicht definiert. Nur im Bundesland Tirol wurde bisher der Wald mit Objektschutzfunktion auf Grundlage eines eigenen Kriterienkatalogs, jedoch ohne Plandarstellung der Schutzziele, vollständig kartiert (die Tiroler "Waldkategorien", WKG).

¹ Die Begriffe "Objektschutzfunktion" und "Objektschutzwirkung" werden in Österreich synonym verwendet ([Perzl, 2014](#)). Das Forstgesetz unterscheidet nicht zwischen den Begriffen "Waldfunktion" und "Waldwirkung". Die WEP-Richtlinie ([WEP-R, 2012](#)) führt einen weiteren Begriff für den Objektschutzwald ein, den "Wald mit Objektschutzwirkung". Dieser Begriff steht für die Waldfunktionsfläche mit Objektschutzfunktion. Das Forstgesetz und die daraus abgeleitete Verordnung und Richtlinie über den WEP sind begrifflich nicht konsistent ([Perzl, 2014](#)). Im Rahmen von GRAVIPROFOR bezieht sich der Begriff "Schutzfunktion" auf die Aufgabe des Waldes zu schützen, und der Begriff "Schutzwirkung" auf den Wirkungsmechanismus und das Ausmaß der schützenden Wirkung durch den Wald. Im Gegensatz zur Schutzfunktion ist die Schutzwirkung des Waldes vom Zustand des Waldes abhängig.

Die Darstellung des durch Naturgefahren gefährdeten Siedlungsraums mit Ausnahme der Überflutungsbereiche der großen Flüsse ist in Österreich eine Aufgabe des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinerverbauung (WLV) und erfolgt im GZP. Im Detail regeln die GZP-Verordnung (GZP-V, 1976) und die GZP-Richtlinie (GZP-R, 2011) die Gefahrenzonenkartierung. Der GZP ist das informationelle Kerninstrument des Naturgefahren-Managements im alpinen Raum. Er ist eine Grundlage der Raumplanung und damit der Entwicklung des Siedlungsraums. In der Gefahrenzonenkarte des GZP wird der durch gravitative Naturgefahren gefährdete Siedlungsraum (im sogenannten "raumrelevanten Bereich") in Form von Gefahrenzonen und Hinweisbereichen dargestellt. Die Gefährdung von Verkehrsflächen wird im GZP nur zum Teil erfasst (Perzl & Walter, 2012 a). Durch die unmittelbare, lagetreue Darstellung der Naturgefahren-Prozesszonen hat der GZP eine hohe Informationswirkung. Als Folge dieser inhaltlich eindeutigen Darstellung ist der GZP in hohem Maße bekannt und präventiv wirksam. Der GZP beschränkt sich aber überwiegend auf die Darstellung der bereits akut gefährdeten Siedlungsflächen ohne Ausweisung des Gefahren- und Schadenpotenzials. Es erfolgt keine genauere Zuordnung der Herkunftsgebiete der Naturgefahren und somit auch keine Zuweisung zu den Gefahrenquellen im Wald.

Der Schutzwald wurde in Österreich bislang gutachtlich ohne Unterstützung durch Naturgefahren-Dispositions- und Reichweitenmodelle bestimmt. Weder die WEP-R noch die GZP-R enthalten Kriterien zur Bestimmung der Naturgefahren-Disposition. Die Qualität gutachtlicher Abschätzungen von Naturgefahren-Prozessräumen kann sehr hoch sein. Sie ist aber stark vom Sachbearbeiter abhängig. Bei rein gutachtlicher Beurteilung gibt es eine Tendenz zur großzügigen Ausweisung von Schutzwald (vgl. dazu Weiss 1999, Brang et al. 2006). Als Gründe dafür führen Brang et al. (2006) weiche Schutzwald-Definitionen, methodischen Unsicherheiten und die erhoffte Verfügbarkeit von öffentlichen Fördermitteln für Schutzwaldflächen an. Daraus können Ziel- und Interessenskonflikte entstehen, z. B. bei Maßnahmen in Naturschutzgebieten oder bei jagdwirtschaftlichen Fragen.

Waldflächen, von denen aus aufgrund der Schutzwirkung des Waldes noch keine Lawinen, Steinschläge und Rutschungen bis in den Siedlungsraum gelangten, sowie der potenziell durch solche Prozesse gefährdete Raum wurden bislang weder im WEP noch im GZP kartographisch klar ausgewiesen. WEP und GZP ergänzen sich in der bisherigen Form nicht optimal. Die durch den Wald zu schützenden Siedlungsflächen und Infrastrukturanlagen (die Schutzziele), die potenziellen Prozesswirkungsräume von Naturgefahren aus dem Wald, sowie die Waldflächen mit Gefahren- und Schadenpotenzialen für Schutzziele (also mit der Aufgabe vor Naturgefahren zu schützen), werden von den kartographischen Informationsinstrumenten nicht oder nur zum Teil dargestellt.

Die ÖWI erhebt statistische Informationen über den Wald auf der Grundlage von Stichproben. Mit den Daten der ÖWI kann vor allem der Gesamtzustand und die zeitliche Entwicklung des Waldes beobachtet werden. Räumliche Aussagen zur Verteilung, zur Funktion und zum Zustand des Waldes sind nur beschränkt möglich. Der Schutzwald wurde bisher von der ÖWI nur im Sinne von Standortschutzwald erhoben. Aufgrund der verschiedenen Definitionen, Kriterien und Methoden weisen der WEP und die ÖWI sehr unterschiedliche Schutzwaldflächen aus (Weiss, 1999). Die Objektschutzfunktion und folglich auch die Objektschutzwirkung des Waldes kann mit ÖWI-Methoden nicht festgestellt werden (Hauk & Perzl, 2013). Der Wald mit Objektschutzfunktion kann auch nicht aus der Differenz zwischen der WEP- und der ÖWI-Schutzwaldfläche abgeleitet werden, da der ÖWI-Schutzwald auch Wald mit Objektschutzfunktion enthält. Da im bundesweiten WEP in der neuen Fassung (WEP-R, 2012) nur Anteile des Waldes mit Objektschutzfunktion an den Waldfunktionsflächen angegeben, aber nicht kartografisch abgegrenzt werden, ist es nicht möglich, den ÖWI-Stichproben die Objektschutzfunktion aus dem WEP mit GIS-Techniken zuzuweisen.

Im Rahmen der "Schutzwald-Projektsteuerung" in Tirol und der "Initiative Schutz durch Wald (ISDW)" zur Schutzwaldverbesserung als Teil des LE-Programms 2007–2013 wurden gemäß den

Forderungen des Österreichischen Walddialogs Kriterien zur Bestimmung des Gefahrenpotenzials und der Schutzwirkung des Waldes definiert. Bei der Evaluierung der Programmvorperiode (Perzl, 2005) sowie bei der Planung und Umsetzung des ISDW-Programms hat es sich gezeigt, dass eine kartografische Darstellung der Objektschutzfunktion des Waldes nach einheitlichen Kriterien als Planungs- und Evaluierungsgrundlage fehlt. Ohne eine solche Karte kann die ÖWI nicht optimal für die Evaluierung des Zustands der Wälder mit Objektschutzfunktion eingesetzt werden.

Der Informationsbedarf über Naturgefahren wird durch die bisherige forstliche Raumplanung (WEP, GZP) und die forstlichen Informationsinstrumente nicht mehr ausreichend abgedeckt. Einige Bundesländer haben auf der Basis räumlicher Modellierungen für die Gefahrenarten "Steinschlag" und "Bodenrutschung" eigene Gefahrenkarten erstellt, oder sie setzen derzeit solche Vorhaben um.

Zusammenfassend ist im Jahr 2012 die Ausgangslage des Projekts eine Verbesserungsbedarf der forstlichen Raumplanung in Österreich in Bezug auf die Schutzfunktion des Waldes:

- WEP- und GZP-Richtlinie enthalten keine genaueren Kriterien zur Abgrenzung von Wald mit Objektschutzfunktion. Es fehlen Methoden zur Unterstützung der WFK, vor allem Methoden zur Bestimmung der potenziellen Reichweite von Gefahrenprozessen.
- WEP und GZP generalisieren die Objektschutzfunktion des Waldes. Die potenziellen Auslösungsflächen und Sturzbahnen gravitativer Naturgefahren im Wald und ihr Schadenspotenzial (der geschützte Raum) werden nicht dargestellt.
- Der GZP beschränkt sich überwiegend auf die Darstellung akuter Gefährdungen. Die Gefährdung von Verkehrsflächen wird nur zum Teil erfasst.
- Dadurch fehlen genauere Informationen darüber, auf welchen Flächen – auch wenn bislang keine Gefahrenprozesse stattgefunden haben – bei der Waldbewirtschaftung besonders auf die Auslösung bzw. Vermeidung von Naturgefahren geachtet werden muss.
- Diese Information wird auch bei bereits akuter Gefährdung weder durch den WEP noch im GZP direkt zur Verfügung gestellt.
- Das vermindert die Effizienz der Planung, Umsetzung und Evaluierung der forstlichen Förderprogramme zur Verbesserung der Schutzwirkung des Waldes.
- Die Schutzwaldfläche nach dem WEP und gemäß der ÖWI sind deutlich verschieden. Die Schutzwaldpolitik beruht auf nicht miteinander abgestimmten Informationsinstrumenten.

1.2 ZIELE

Ziel des Projekts war die kartografische Ausweisung von Gefahren- und Schadenspotenzialen durch Schneelawinen und Steinschlag aus dem Wald (der Schutzwaldkulisse) durch Prozessmodellierung auf Ebene einer Gefahrenpotenzialhinweiskarte für ganz Österreich.

Eine kartografische Ausweisung der Schutzwaldkulisse unterstützt die Identifikation potenzieller Schwerpunkte präventiver Maßnahmen und die Evaluierung ihrer Wirksamkeit. Bereits die Kartendarstellung potenzieller Lawinen-Anbruchflächen ist eine Informationsebene, die strategische Planungen und waldbauliche Entscheidungen zur Gefahrenprävention unterstützt. Wo genau befinden sich die potenziellen Lawinen-Anbruchflächen im Wald mit Schadenspotenzial im Siedlungsraum, die eine frühzeitige Einleitung der Verjüngung und eine Begrenzung der Eingriffstärke oder zumindest eine hohe Abstockung erfordern? Kann eine Windwurffläche vollständig geräumt werden, oder ist im Falle einer Räumung mit Lawinen zu rechnen, die den Siedlungsraum erreichen? Solche Fragen können mit Hilfe des WEP und des GZP nicht vollständig beantwortet werden. Es bestand ein Bedarf an einer genaueren Darstellung des Gefahren- und Schadenpotenzials von Waldflächen auf der Grundlage einheitlicher und klarer Kriterien.

Daher wurde das Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) zur Verbesserung der Erfassung der Schutzwaldkulisse beauftragt, von Waldflächen ausgehenden Gefahren- und Schadenspotenziale an Siedlungsflächen und Infrastrukturanlagen durch Scheelawinen und Steinschlag (den Wald mit Objektschutzfunktion, die Schutzwaldkulisse) zu modellieren (Technische Hilfe im Rahmen des Programms LE 2007-2013). Der BFW-Projektname der Beauftragung BMLFUW-LE.1.3-7/0020-II/5/2012 ist **GRAVIPROFOR** (Gravitational Process Protection Forest).

Das Projekt wurde in den Jahren 2013 und 2014 umgesetzt. Die GRAVIPROFOR-Modellierung soll Hilfestellung in Bezug auf folgende Kernfragen der forstlichen Raumplanung bieten:

- Welche Objekte sollen durch den Wald geschützt werden?
- Welche Objekte sind potenziell durch Naturgefahrenprozesse (aus dem Wald) gefährdet?
- Auf welchen Waldflächen sind die Schutzwirkung des Waldes vor Naturgefahren und die Notwendigkeit der Umsetzung von präventiven Maßnahmen zu prüfen?

Eine Bestimmung der Schutzwirkung des Waldes und von anderen Schutzmaßnahmen bei einem bestehenden Gefahren- und Schadenspotential war nicht Teil des Auftrags.

Gemäß dem Arbeitsauftrag basieren die entwickelten Methoden und Modelle auf dem Konzept zur Beurteilung der Schutzwirkung des Waldes, das im Rahmen der "Initiative Schutz durch Wald" (ISDW) des BMLFUW entwickelt wurden. Das GRAVIPROFOR-Konzept baut auf dem bestehenden WEP-Konzept der Darstellung und Klassifikation von Wald mit Objektschutzfunktion auf.

Das Konzept der WEP-Richtlinie wurde im Rahmen von GRAVIPROFOR durch Methoden zur Bestimmung des Gefahrenpotenzials nach dem ISDW-Ansatz und durch Methoden zur Kartierung und Klassifikation der Schutzziele (Objekte) aus vorhandenen digitalen Geodaten ergänzt. Die Klassifikation von Schutzziele nach der WEP-Richtlinie ([WEP-R, 2012](#)) musste auf der Basis von risikoanalytischen Überlegungen und Erfordernissen, die sich auch aus der Geodateninfrastruktur (GDI) ergeben, modifiziert.

Die Methoden zur Bestimmung des Gefahrenpotenzials (der "Grunddisposition") nach dem ISDW-Konzept wurden auf Grundlage neuer Daten überarbeitet.

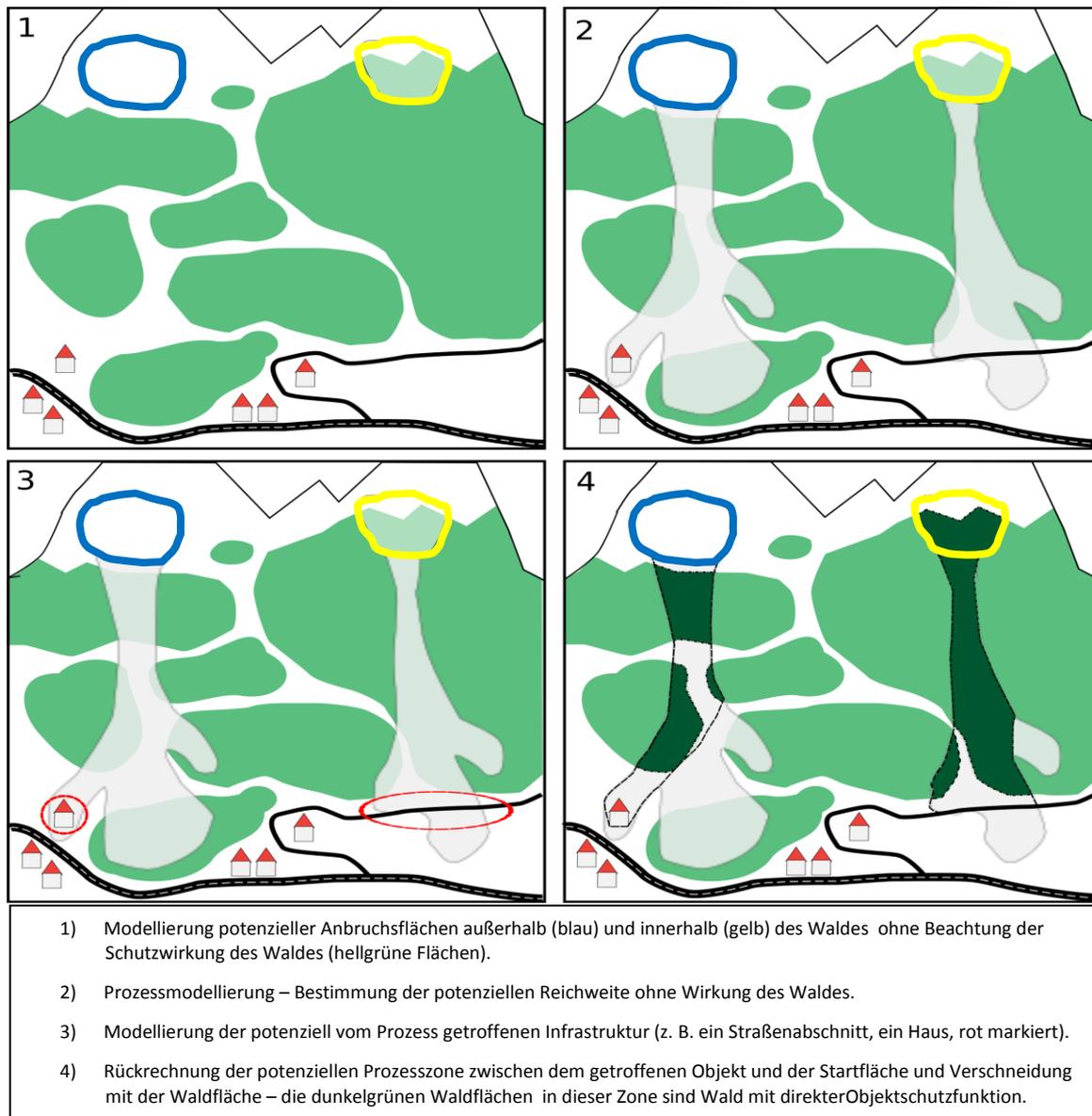
Tabelle 1-2 zeigt die Gliederung der GRAVIPROFOR-Arbeitspakete.

TABELLE 1-2: GRAVIPROFOR ARBEITSBEREICHE.

A Datengrundlagen (Modul "Schadenspotenzial")
A1. Aufbereitung der digitalen Geländemodelle (Modul "DGM")
A2. Österreichische Waldkarte (Modul "Wald")
A3. Erfassung/digitale Darstellung und Klassifikation des zu schützenden Raums (der Objekte)
B Prozessmodellierung (Modul "Start", "Risikopotenzial", "Umsetzung")
B1. Schneelawine: Startflächen (Gefahren-Grunddisposition), potenzielle Prozessreichweite und Rückrechnung potenzieller Objektstreffer auf die zugehörige potenzielle Prozesszone
B2. Steinschlag: Startflächen (Gefahren-Grunddisposition), potenzielle Prozessreichweite und Rückrechnung potenzieller Objektstreffer auf die zugehörige potenzielle Prozesszone
C Schutzwald-Klassifikation (Modul "Schutzfunktionsklasse")
C1. Klassifikation von potenziellen Prozesszonen im Wald aus Wald-Startflächen
C2. Klassifikation von potenziellen Prozesszonen im Wald von Nicht-Wald-Startflächen
C3. Zusammenfassung der Schutzwaldkulisse gegen Lawinen und Steinschlag

Abbildung 1-2 (nach Huber et al. 2013, modifiziert) zeigt schematisch die Abläufe zur Bestimmung der Schutzwaldkulisse in GRAVIPROFOR:

ABBILDUNG 1-1: MODELLIERUNG DES WALDES MIT DIREKTER OBJEKTSCHUTZFUNKTION.



Als Hauptergebnis der Modellierung liegt eine digitale Hinweiskarte der Waldfläche vor, die sich im potenziellen Prozessraum von Schneelawinen und Steinschlag mit einem Schadenspotenzial an zu schützenden Flächen befindet, und Schäden durch diese Gefahrenprozesse vermindern soll.

Diese Waldfläche wurde nach einem modifizierten Bewertungsschema gemäß WEP-R in drei Schutzfunktionsklassen eingeteilt. Die Schutzfunktionsklasse ergibt sich gemäß WEP-R aus dem Gefahrenpotenzial und aus der Bedeutung der Schutzziele (aus dem Schadenspotenzial an Siedlungsflächen und Infrastrukturanlagen).

Die Waldfläche und die potenziellen Startflächen von Steinschlag und Lawinen werden zusätzlich in eigenen digitalen Karten ausgewiesen.

Ein weiteres Teilergebnis ist eine digitale Karte der nach der WEP-R modifiziert klassifizierten zu schützenden Siedlungsflächen und Infrastrukturanlagen.

Im Gegensatz zum Ansatz der vollständig automatischen Modellierung sollen diese Modellierungen die gutachtliche WFK nicht ersetzen, sondern unterstützen und ergänzen. Diese digitalen Ergebniskarten im Rasterformat haben eine räumliche Auflösung von 10 m. Sie sind auf einen Maßstab von maximal 1:10.000 bis 1:50.000 ausgerichtet.

Die Karten sind Hilfsmittel für die Kartierung der Waldfläche mit Objektschutzfunktion. Sie können als Arbeitsgrundlage für den Forstdienst und die Raumplanung, zur Ableitung von Zusatz- bzw. Sonderkarten des WEP gemäß § 3 Abs. 3 der WEP-Verordnung ([WEP-V, 1977](#)) und der WEP-Richtlinie ([WEP-R, 2012](#)), sowie zur Bestimmung von Gefahrenpotenzialflächen (GPF) im WEP verwendet werden. Sie sind eine technische Hilfe für das LE-Programm zur Ausweisung förderbarer Flächen und für die Programmevaluierung. Die modellierte Schutzwaldkulisse kann zur Stratifizierung der ÖWI-Stichproben herangezogen werden.

1.3 AUFBAU DER PROJEKTBERICHTE

Aufgrund der umfangreichen und verschiedenartigen Inhalte des Projekts GRAVIPROFOR wurden mehrere Projektberichte erstellt. Vor allem die digitale Repräsentation der vom Wald zu schützenden Siedlungsflächen und Infrastrukturanlagen erforderte aufgrund der heterogenen GDI in Österreich eine sehr umfangreiche methodische Dokumentation.

Der vorliegende Hauptbericht fasst die Hintergründe, Ziele und Ergebnisse des Projekts zusammen und beschreibt den generellen methodischen Ansatz.

Der Teilbericht "Methodik - Prozessmodellierung Schneelawine" ([Perzl et al., 2014 a](#)) beschreibt die Methodik der Modellierung von potenziellen Anbruchsflächen und Sturzbahnen von Lawinen.

Der Teilbericht "Methodik - Prozessmodellierung Steinschlag" ([Perzl et al., 2014 b](#)) beschreibt die Methodik der Modellierung von potenziellen Anbruchsflächen und Sturzbahnen von Steinschlag.

Der Teilbericht "Methodik - Datengrundlagen" ([Perzl et al., 2014 c](#)) beschreibt die Aufbereitung der für die Modellierung erforderlichen Datengrundlagen (Arbeitspaket A: Module "Schadenspotenzial", "DGM" und "Wald"), im Besonderen die digitale Erfassung und die Klassifikation der Schutzziele (Objekte).

1.4 DATENMODELL, RÄUMLICHES REFERENZSYSTEM UND BEARBEITUNGSEINHEITEN

Die Modellierung erfolgte im Rastermodell mit einer räumlichen Auflösung von 10 m bzw. in Bezug auf einen Referenzmaßstab von 1:10.000 bis 1:50.000.

Eine räumliche Auflösung des digitalen Geländemodells (DGM) von 10 m ist ein geeigneter Kompromiss zwischen den Anforderungen an die geometrische Genauigkeit von Gefahrenhinweis- und Waldfunktionenkarten einerseits und dem Rechenaufwand andererseits ([vgl. Schmidt et al. 2003, Blahut et al. 2010, Perzl et al. 2011, Fischer et al. 2012](#)).

Als räumliches Referenzsystem wurde das vom BMLFUW, vom BFW und von der Statistik Austria für Übersichtsdarstellungen des Bundesgebietes eingesetzte Koordinatensystem EPSG 31287 verwendet.

Die Modellierung erfolgte getrennt für die jeweiligen Bundesländer mit einem Überlappungsbereich von 3 km. Die Verwendung der Bundesländer als räumliche Bearbeitungseinheiten ergab sich aus der GDI Österreichs. Da die meisten Geodaten von den Bundesländern zur Verfügung gestellt, aber zwangsläufig nicht gleichzeitig geliefert und abgearbeitet werden konnten, war eine gestaffelte Bearbeitung nach Bundesländern erforderlich.

2. SCHUTZWALD – BEGRIFF UND BEDEUTUNG

Ein Schutzwald ist ein Wald mit der Funktion², Menschen und ihre Güter vor Naturgefahren (z. B. Schneelawine, Steinschlag, Bodenrutschung) oder Zivilisationsgefahren (z. B. Staub, Lärm) zu schützen (Tromp 1971, Wullschlegler 1984). Ein Schutzwald hat eine Schutzfunktion, jedoch nicht zwangsläufig auch eine Schutzwirkung (Perzl, 2014).

Ein Schutzwald hat mindestens eine oder mehrere Schutzfunktionen. Bei indirekten Mechanismen der Schutzwirkung des Waldbodens und der Waldvegetation durch den Einfluss auf natürliche Ressourcen (wie z. B. Wasser und Luft) werden Schutzfunktionen auch als Wohlfahrtsfunktionen (landschaftsökologische Ausgleichsfunktionen) bezeichnet. Nach der derzeit in Österreich gültigen Richtlinie zur Kartierung der Waldfunktionen (WEP-R, 2012) wird z. B. die luftreinigende Filterwirkung des Waldes, auch bei einer eindeutigen räumlichen Beziehung zwischen den Emittenten von Luftschadstoffen und zu schützenden Flächen, der Wohlfahrtsfunktion zugeordnet.

Die Begriffe "Schutzfunktion", "Schutzwirkung" und "Schutzleistung" werden in der forstlichen Diskussion, Literatur und Gesetzgebung oft vermischt; sie werden unscharf oder synonym verwendet (Perzl 2005, Moser et al. 2008). Sie betreffen aber verschiedene Aspekte (Perzl, 2005).

Der Begriff "Waldfunktion"³ meint in den Worten von Riegert & Bader (2010) „... a societal demand posed to forests ...“. Der Begriff "Schutzfunktion" bezeichnet im Sinne einer Raumfunktion die Aufgabe des Bodens und der Vegetation im Raumelement "Wald" andere Raumelemente (z. B. Verkehrsflächen) vor Natur- und Zivilisationsgefahren zu schützen. Diese Aufgabe kann auch dann von Bedeutung sein, wenn der Wald aufgrund seines Zustands gar nicht schützt, also nicht "wirkt", oder sogar schadet. Die Bezeichnungen "Schutzwald" und "Schutzfunktion" bedeuten nicht, dass der Wald etwas schützt, sondern dass er etwas schützen soll. Ein erweitertes Begriffsverständnis geht auch davon aus, dass der Wald Gefahrenprozesse nicht verstärken bzw. selbst (z. B. durch Baumsturz, Steinschlag durch Wurzelsprengung, Wildholz) nicht schaden soll. Der Begriff Schutzfunktion steht somit für das Interesse an einer bestimmten Schutzwirkung.

Wie und in welchem Ausmaß dieser Schutz erfolgt, das ist die "Schutzwirkung" oder die "Wohlfahrtswirkung". Für das Ausmaß der Schutzwirkung werden aber auch andere Begriffe wie "Schutzfunktionserfüllung", "Schutzgrad" oder umgekehrt "Schutzdefizit" verwendet. Es gibt auch Autoren, (BUWAL 1996, Schönenberger 1998, Perzl 2005), die dem Wald nur dann eine bestimmte Funktion zuweisen, wenn das generelle Wirkungspotenzial so hoch ist, das der Wald zumindest im optimierten Zustand auch eine deutlich bemerkbare Wirkung im Verhältnis zum unbewaldeten Zustand hat. Es ist aber nur schwer möglich dieses Wirkungspotenzial (bzw. eine Potenzialgrenze) zu definieren.

Der Ausdruck "Schutzleistung" wird für den gesellschaftlichen oder ökonomischen Nutzen der Schutzwirkung im Sinne einer Dienstleistung eingesetzt. Dabei kann man die – allerdings nur schwer trennbaren – natürlichen und produzierten Schutzleistungen des Waldes unterscheiden.

In Bezug auf gravitative Naturgefahren definiert die Konferenz der Schweizer Kantonsoberrichter (zit. aus Losey & Wehrli, 2013) den Begriff Schutzwald folgendermaßen: "Ein Schutzwald ist ein

² Das Konzept der Waldfunktionen im Sinne einer Anforderung der Gesellschaft an den Wald oder einer Aufgabe des Waldes für die Gesellschaft stammt von Dieterich (1953); es beruht auf Überlegungen, die mehrere Autoren schon im 19. Jahrhundert publiziert haben (zit. aus Riegert & Bader, 2010).

³ Im österreichischen Forstgesetz von 1975 und den folgenden Fassungen gibt es den Begriff "Schutzfunktion" nicht. Die Schutzfunktion wird als "Schutzwirkung" bezeichnet. Je nach dem Kontext ist damit entweder die Schutzwirkung (z. B. in § 6 Abs. 2 FG 2002) oder die Schutzfunktion (z. B. in § 7 FG 2002) gemeint. Der Begriff "Funktion" wird in der Verordnung über den Waldentwicklungsplan (WEP-V, 1977) verwendet. Dort werden im § 3 die Wirkungen des Waldes in Klammer gesetzt als "Waldfunktionen" bezeichnet. Im weiteren Text der Verordnung gibt es nur mehr den Begriff "Waldfunktion".

Wald, der ein anerkanntes Schadenpotenzial gegen eine bestehende Naturgefahr schützen oder die damit verbundenen Risiken reduzieren kann". Der Begriff "Schadenpotenzial" (Schadenspotential) wird für verschiedene Aspekte des Naturgefahren-Risikos eingesetzt (vgl. dazu Perzl et al., 2014 c). Er steht in dieser Definition für alle Flächen und Anlagen, die als vom Wald zu schützende Objekte definiert sind.

Im österreichischen Forstrecht wurde der Begriff "Schutzwald" erstmals 1879 in der Verordnung des k.k. Ackerbauministeriums zum Reichsforstgesetz 1852 verwendet. Im Forstgesetz von 1975 wurden bereits vor der Novellierung von 2002 zwei funktionelle Typen von Schutzwald definiert, der "Schutzwald" im Sinne des heutigen "Standortschutzwald" und der "Bannwald". Der "Bannwald" deckt sich funktional weitestgehend mit der Schutzwalddefinition der Konferenz der Schweizer Kantonsoberrichter. Der "Standortschutzwald" im österreichischen Sinn ist in der Schweiz nicht gesetzlich definiert.

Die Ausweisung von Bannwald, die "Bannlegung", ist in Österreich an ein komplexes rechtliches Verfahren gebunden. Es sind besondere Maßnahmen vorgeschrieben, für die Begünstigte die Kosten zu tragen haben. Trotz ständiger Zunahme der Siedlungsfläche und der Infrastruktur, und obwohl Bannlegungen von Amts wegen durchzuführen sind, hat die Bannwaldfläche abgenommen. Das Bannwaldinstrument funktionierte nicht als Regulativ im Schutzwaldmanagement (Weiss & Meier-Glaser, 2012).

Durch die Forstgesetz Novelle von 2002 (FG, 2002) wurden als Konsequenz drei forstrechtliche Typen von Schutzwald eingeführt: der Standortschutzwald (§ 21 Abs. 1 FG, 2002), der Objektschutzwald (§ 21 Abs. 2, FG 2002) und der Bannwald (§ 27 Abs. 1, FG 2002):

"Standortschutzwälder (Wälder auf besonderen Standorten) im Sinne dieses Bundesgesetzes sind Wälder, deren Standort durch die abtragenden Kräfte von Wind, Wasser oder Schwerkraft gefährdet ist und die eine besondere Behandlung zum Schutz des Bodens und des Bewuchses sowie zur Sicherung der Wiederbewaldung erfordern. Dies sind:

1. *Wälder auf Flugsand- oder Flugerdeböden.*
2. *Wälder auf zur Verkarstung neigenden oder stark erosionsgefährdeten Standorten.*
3. *Wälder in felsigen, seichtgründigen oder schroffen Lagen, wenn ihre Wiederbewaldung nur unter schwierigen Bedingungen möglich ist,*
4. *Wälder auf Hängen, wo gefährliche Abrutschungen zu befürchten sind,*
5. *der Bewuchs in der Kampfzone des Waldes,*
6. *der unmittelbar daran angrenzende Waldgürtel".*

"Objektschutzwälder im Sinne dieses Bundesgesetzes sind Wälder, die Menschen, menschliche Siedlungen oder Anlagen oder kultivierten Boden insbesondere vor Elementargefahren oder schädigenden Umwelteinflüssen schützen und die eine besondere Behandlung zur Erreichung und Sicherung ihrer Schutzwirkung oder Wohlfahrtswirkung erfordern".

"Objektschutzwälder, die der direkten Abwehr bestimmter Gefahren von Menschen, menschlichen Siedlungen oder Anlagen oder kultivierten Boden dienen, sowie Wälder, deren Wohlfahrtswirkung gegenüber der Nutzwirkung ein Vorrang zukommt, sind durch Bescheid in Bann zu legen, sofern das zu schützende volkswirtschaftliche Interesse (Bannzweck) sich als wichtiger erweist als die mit der Einschränkung der Waldbewirtschaftung infolge der Bannlegung verbundenen Nachteile (Bannwald)".

§ 27 Abs. 2 lit. a FG (2002) definiert Naturgefahrenprozesse, die eine Bannlegung begründen können. Sie werden als "Bannzweck" bezeichnet. Das ist jedoch nicht konsistent, denn der Begriff "Bannzweck" bezieht sich nach Abs. 1 im gleichen Paragraph auf das "... zu schützende volkswirtschaftliche oder sonstige öffentliche Interesse ...":

"Bannzwecke im Sinne des Absatz 1. sind insbesondere a) der Schutz vor Lawinen, Felssturz, Steinschlag, Schneeabsatzung, Erdabrutschung, Hochwasser, Wind oder ähnlichen Gefährdungen, ..."

Im österreichischen Forstrecht wird für Naturgefahren der Begriff "Elementargefahren" verwendet. Die Zuordnung des Schutzwaldes zum Standortschutzwald, Objektschutzwald oder Bannwald regelt die Pflichten und Kostenübernahme der Waldbewirtschaftung.

Die durch den Wald zu schützenden Flächen (auf denen sich Menschen, Tiere oder Güter befinden können) werden in der forstlichen Raumplanung "Objekte" oder "Schutzobjekte" genannt. Die zu schützenden Flächen werden in der Literatur auch als "Schadenspotenzial" bezeichnet (z. B. Losey & Wehrli, 2013). Im engeren Sinn liegt aber ein Schadenspotenzial nur dann vor, wenn der Naturgefahrenprozess ein Objekt auch erreichen und am Objekt Schäden verursachen könnte (vgl. dazu Kienholz et al., 1998). Eine Auflistung von zu schützenden Flächen und Anlagen definiert noch kein Schadenspotenzial. In der Riskoforschung wurden die Aspekte der Vulnerabilität als Funktion der technischer Vulnerabilität, der Prozessintensität und des (ökonomischen) Bestandeswertes eines Gutes zum Begriff Schadenspotenzial verschmolzen. Die Objekte sind also die im Raum vorhandenen Bestandeswerte, für die von der Gesellschaft ein Schutzziel definiert wurde.

Nach der Objektschutzwald-Definition im österreichischen FG ist in einer dicht besiedelten Kulturlandschaft wie Österreich so gut wie jedes Raumelement durch den Wald zu schützen (Perzl, 2014). Das FG definiert die zu schützenden Flächen nur sehr vage. Das hat dazu geführt, dass nach der WEP-R (2012) auch Wanderwege, Wiesen, ja sogar Waldflächen (Forststraßen) ein "... öffentliches Interesse an der Wirkung des Waldes ..." begründen (Perzl, 2014).

Welche Flächen bzw. Nutzungen als (zu schützende) Objekte gelten, ist grundsätzlich eine gesellschafts- und raumpolitische und keine forstfachliche Entscheidung. Die Definition und kartografische oder planliche Darstellung der Objekte ist die entscheidende Schnittstelle zwischen der allgemeinen und der forstlichen Raumplanung. Dennoch definiert meist die Forstpolitik und nicht die Raumplanung die Objekte und ihren Stellenwert im Detail. Die Objekte können nach raumordnungspolitischen Zielen, religiös-ideologischen Kriterien, rein sozio-ökonomischen Kriterien und/oder nach risikoanalytischen Ansätzen ausgewählt und bewertet werden.

Die im Bereich des Naturgefahren-Managements zunehmend implementierten und auch für die Schutzwaldplanung geforderten risikoanalytischen Ansätze zur "Objektivierung" der Definition von Schutzziele auf der Basis von Monetarisierungen sind aber ebenfalls nicht unproblematisch. Sie können zu einer ungleichen Behandlung von Besitzstand und zu Konzentrationseffekten führen, die den Zielen ausgewogener räumlicher Entwicklung entgegen stehen können. Schutzziele als "... Umschreibung von Maß und Verteilung des tolerierbaren Risikos sind eine Gerechtigkeitsfrage" (Hess, 2011).

Der Risiko-Ansatz berücksichtigt neben dem (monetären) Wert auch die Präsenzwahrscheinlichkeit von Personen und beweglichen Gütern an einer bestimmten Stelle, sowie Vulnerabilitätsfaktoren. Die technische Vulnerabilität (Verletzlichkeit, Verwundbarkeit) ist die Widerstandsfähigkeit eines Objektes gegen die Prozesseinwirkung (die technische Belastbarkeit). Sie ist wiederum von der Prozessintensität abhängig. Daher kann das durch die Wirkung des Waldes zu vermindernde Schadenspotenzial im risikoanalytischen Sinn nicht getrennt vom Prozess bestimmt werden. Die Art und die Intensität der Naturgefahr bestimmt die Schutzziele. Dieser Aspekt des Risiko-Ansatzes ist

zweckmäßig. Schneelawinen beschädigen Mähwiesen und Forststraßen meist nur sehr gering. Auch die Präsenzwahrscheinlichkeit von Personen und mobilen Gütern ist so gering, dass das Schadenspotenzial und das Risiko vernachlässigbar gering sind. In Bezug auf Lawinen sind also Wiesen keine zweckmäßigen Schutzziele bzw. Objekte. Der Schutz einer Ackerfläche vor Winderosion durch Wirkungen des Waldes ist ein völlig anderer Bewertungstatbestand. In Bezug auf Winderosion sind landwirtschaftlich Flächen zweckmäßige Schutzziele. Eine solche Differenzierung von Schutzzielen ist jedoch schwieriger umzusetzen. Eine einfache, undifferenzierte Auflistung der Objekte reicht dazu nicht aus.

Nimmt man den ersten Teil der gesetzlichen Definition des Objektschutzwalds im FG wörtlich, dann sind in Österreich nur schutzwirksame Wälder ("... Wälder ... die schützen ...") Objektschutzwälder. Zwangsläufig gilt das auch für Bannwälder, den Bannwälder sind Objektschutzwälder.

Eine z. B. durch Windwurf oder Waldbrand entstandene Blöße auf einem Steilhang mit Potenzial für Lawinenanbrüche oberhalb einer Siedlung ist nach dem FG eigentlich kein Objektschutzwald, da der Wald dort nicht mehr vor Lawinen schützt. Der zweite Teil der gesetzlichen Definition widerspricht jedoch dem Sinn dieser Formulierung, denn "schützende Wälder" erfordern nicht unbedingt besondere Maßnahmen zur Erreichung der Schutz- oder Wohlfahrtswirkung. Solche Maßnahmen sind vor allem in Wäldern mit geringer Schutzwirkung erforderlich. Die Schutzwalddefinitionen des FG binden die "Schutzwaldeigenschaft" an die Notwendigkeit einer "besonderen Behandlung" des Waldes. Wenn keine besondere Behandlung "... zur Erreichung und Sicherung ihrer Schutzwirkung ..." erforderlich ist, und das wäre der angestrebte Idealzustand des Schutzwaldmanagements, dann handelt es sich nicht um Objektschutzwald. Das in der Definition verwendete Bindewort "... und ..." bedeutet im Sinne einer nicht kausalen oder zeitlichen, sondern logischen Konjunktion, dass für einen Objektschutzwald auch gleichzeitig die Notwendigkeit einer besonderen Behandlung des Waldes gegeben sein muss.

Neben der zwangsläufig sehr allgemeinen Beschreibung der zu schützenden Objekte enthalten die Schutzwalddefinitionen des österreichischen FG sehr viele unbestimmte Begriffe wie "besondere Behandlung", "erschwert" oder "gefährlich" mit erheblichem Interpretationsspielraum. Welche forstliche Maßnahme ist eine besondere Behandlung und ab wann ist eine zu befürchtende Abrutschung gefährlich?

Die Schutzwalddefinitionen des österreichischen FG und die darin verwendeten Begriffe sind folglich für die forstliche Raumplanung und das waldbezogene Naturgefahrenmanagement nur bedingt geeignet und müssen zweckmäßig ungesetzt werden. Das Hauptproblem besteht darin, dass das FG nicht zwischen Funktion und Wirkung unterscheidet, und den Schutzwald an die Notwendigkeit einer besonderen Behandlung bindet. In Bayern und in der Schweiz⁴ werden der Schutzwald unabhängig von der Schutzwirkung über die von der Gesellschaft gewünschte Wirkung, also über die Aufgabe (Funktion) des Waldes definiert, und er bezieht sich nur auf Naturgefahren.

In der [WEP-R \(2006, 2012\)](#) mussten daher für die WFK zusätzliche Schutzwaldbegriffe eingeführt werden. Der Standortschutzwald wird in der [WEP-R \(2012\)](#) im Kontext der forstlichen Raumplanung als "Wald mit Standortschutzwirkung", und der Objektschutzwald wird als "Wald mit

⁴ Im derzeit gültigen Bundeswaldgesetz der Schweiz und der Schweizer Waldverordnung ([WaV, 2012](#)) gibt es keine direkte Schutzwalddefinition. Die Formulierung im Schweizer Forstpolizeigesetz von 1902 und in den folgenden Richtlinien definiert jedoch Schutzwald unabhängig von der tatsächlichen Schutzwirkung als Wald mit direkter Schutzfunktion gegen Naturgefahren (einschließlich schädlicher Klimateinflüsse). Der "Objektschutzwald" wurde nach dem Schadenpotential in Wälder mit Schutzfunktion (SF-Wald) und Wälder mit besonderer Schutzfunktion (BSF-Wald) eingeteilt. Diese Unterscheidung wurde 2003 aufgehoben. Im Rahmen von SilvaProtect-CH wurde eine neue Definition eingeführt ([Losey & Wehrli, 2013](#)). Diese Schutzwalddefinition leitet sich aus der Vorgangsweise bei der Ausweisung des Schutzwaldes durch Modellierungen ab.

Objektschutzwirkung" bezeichnet. Der Unterschied zu den Schutzwalddefinitionen nach dem FG besteht darin, dass im Wald mit Standortschutzwirkung und mit Objektschutzwirkung keine besonderen Maßnahmen erforderlich sind (WEP-R, 2012). Der in der Waldfunktionenkarte des WEP dargestellte Inhalt ist jedoch nicht der "Wald mit Standortschutzwirkung" (die Objektschutzwirkung wird nicht kartiert), sondern die Funktionsfläche mit Standortschutzfunktion.

Um den Konflikt zu umgehen, dass nach dem FG nur "schützende" Wälder Schutzwald sind, wird diese Formulierung in der WEP-R (2012) so interpretiert, dass die "schützende Wirkung" über die Umtriebszeit zu betrachten ist.

Raumfunktional betrachtet entsprechen mit Ausnahme der Bindung an besondere Maßnahmen sowohl der Objektschutzwald (Wald mit Objektschutzwirkung) als auch der Bannwald der Schutzwalddefinition der Konferenz der Schweizer Kantonsoberrichter. Der Unterschied zwischen Objektschutzwald und Bannwald sowie zum "alten" Bannwald besteht darin, dass der "neue" Bannwaldbegriff nur für Wälder mit "direkter Objektschutzfunktion" gültig ist. Der Begriff "Objektschutzwald" kann für Wälder mit direkter und mit indirekter Objektschutzfunktion angewendet werden. Das österreichische FG unterscheidet im § 21 Abs. 2 nicht zwischen direkter und indirekter Schutzfunktion.

Aus dem räumlichen Zusammenhang der Schutzfunktion des Waldes in Bezug auf andere Flächen ergeben sich zwei Typen von Schutzwald (Objektschutzwald bzw. Wald mit Objektschutzfunktion): (1) Wald mit direkter und (2) Wald mit indirekter Schutzfunktion (Motta & Haudemand 2000, Weiss 2001, Brang et al. 2006, Wehrli et al. 2007).

2.1 WALD MIT DIREKTER UND INDIREKTER SCHUTZFUNKTION

Eine direkte Schutzfunktion ist dann gegeben, wenn die Wirkung des Waldes von der Anwesenheit eines Waldes an einem ganz bestimmten Ort, meist oberhalb der zu schützenden Flächen, abhängt (Brang et al. 2006, Wehrli et al. 2007). Wald mit Objektschutzfunktion wird durch den potenziellen Prozessraum einer Naturgefahr und das Schadenspotenzial definiert (Perzl et al., 2011).

Eine indirekte Schutzfunktion liegt vor, wenn der räumliche Zusammenhang zwischen dem Wald und dem Schadenspotenzial nicht eindeutig herzustellen ist.

Diese Definitionen stellen folgende Fragen, die für die SWK von entscheidender Bedeutung sind, aber von gesetzlichen Vorschriften und Richtlinien nicht immer vollständig abgedeckt werden:

- Welche Flächen (Objekte) sind durch den Wald zu schützen?
- Gegen welche Gefahrenprozesse besteht eine direkte Schutzfunktion des Waldes?
- Gegen welche Gefahrenprozesse und in welchen Fällen besteht eine indirekte Schutzfunktion?
- In welchen potenziellen Prozesszonen (Start-, Transit-, Ablagerungszone) eines (gravitativen) Gefahrenprozesses besteht eine direkte Schutzfunktion des Waldes?
- Haben auch sehr kleine Waldflächen eine Schutzfunktion?
- Welches Bemessungsereignis ist anzuwenden?

Eine direkte Schutzfunktion des Waldes liegt dann vor, wenn (prozessspezifisch) ein eindeutiger, räumlich eingrenzbarer Gefährdungs- und Wirkungszusammenhang zwischen der Gefahrenquelle, der Waldfläche und den zu schützenden Raumelementen besteht (Perzl 2005, Perzl et al. 2011). Ein typisches Beispiel dafür ist ein Steinschlag-Schutzwald oberhalb einer Siedlung. Der Wald liegt auf einem Hang in der Sturzbahn zwischen der Felsfläche und den Häusern. Steine könnten die Häuser erreichen. Die potenzielle, bewaldete Sturzbahn der Steine von den Felsflächen bis zu den Gebäuden ist ein Wald mit direkter Objektschutzfunktion.

Die direkte Schutzfunktion wird oft mit der Objektschutzfunktion gleichgesetzt (z. B. in [Amt der Tiroler Landesregierung, 2002](#)). Eine Objektschutzfunktion des Waldes muss aber keine direkte Schutzfunktion sein. Eine Objektschutzfunktion kann auf direkte und indirekte räumliche Zusammenhänge und Waldwirkungsmechanismen zurückgehen. Eine indirekte Schutzfunktion lässt sich jedoch wesentlich schwerer objektiv mit Hilfe eindeutiger Kriterien feststellen (nachweisen) und abgrenzen, sowie von einer reinen Standortschutzfunktion trennen. So enthält z. B. die Definition des Standortschutzwaldes im österreichischen FG Aspekte, die auch für einen Wald mit Objektschutzfunktion zutreffen können. Die als Kriterium für einen Standortschutzwald im österreichischen FG angeführten "... gefährlichen Abrutschungen ..." können genauso als Begründung für eine indirekte (bei einem Gefährdungszusammenhang über das Gerinnesystem) wie für eine direkte Objektschutzfunktion (bei Hangrutschungen) angeführt werden.

[BUWAL \(1996\)](#) definiert Wälder nur dann als Wälder mit besonderer Schutzfunktion (Wälder mit Objektschutzfunktion), wenn sie auch das Potenzial haben, Schäden an Objekten zu verhindern oder zu vermindern. Der (Schutz-)Wirkungsmechanismus des Waldes sollte bekannt, differenzierbar, und die Wirkung sollte (annähernd) quantifizierbar sein ([Perzl, 2005](#)).

Bei allen Gefahrenprozessen hängt die Schutzwirkung des Waldes von der Intensität der Gefahrenprozesse und vom Waldzustand ab. Die Intensität der Gefahrenprozesse wird vom auslösenden Ereignis aber auch von der Grunddisposition des Systems bestimmt, die in der forstlichen Raumplanung auch als Gefahrenpotenzial bezeichnet wird. Es gibt generelle Unterschiede des potenziellen Beitrags des Waldes zur Verminderung des Prozesses und des Schadens. Wald verhindert z. B. effektiver den Anbruch von Lawinen als wie die Entstehung von Muren. **Tabelle 2-1** enthält die wichtigsten gravitativen Naturgefahren in Österreich mit einer Beurteilung der Art des Schutzwirkungsmechanismus des Waldes (direkt, indirekt, passiv), des (potenziellen) Effekts des Waldes (positiv, negativ) und der (potenziell positiven) Schutzwirkung (hoch, mittel, gering und fraglich). Es handelt sich um eine Wertung des Autors. Sie beruht auf Angaben in der Literatur.

TABELLE 2-1: GRAVITATIVE NATURGEFAHREN – SCHUTZWIRKUNGSMECHANISMUS DES WALDES

Gefahrenprozess	Art des Objekt-Schutzwirkungsmechanismus Effekt des Waldes auf Objektschäden (potenzielle Schutzwirkung)		
	Startzone	Transitzone	Ablagerungszone
	Schneelawine - Fließlawine	direkt positiv (hoch)	direkt positiv, negativ (mittel)
Scheelawine - Mischlawine	direkt positiv (hoch)	direkt positiv, negativ (gering)	direkt positiv, negativ (gering)
Schneelawine - Staublawine	direkt positiv (hoch)	direkt negativ (gering)	direkt negativ (gering)
Steinschlag	direkt positiv, negativ (hoch)	direkt positiv (mittel)	direkt positiv (mittel)
Felssturz	direkt positiv, negativ (gering)	direkt positiv (gering)	direkt positiv (gering)
Bergsturz	direkt positiv, negativ (gering)	direkt positiv (gering)	direkt positiv (gering)
Spontane Rutschung (Hangmure)	direkt, indirekt positiv (hoch)	direkt positiv (mittel)	direkt positiv, negativ (mittel)
Permanente Rutschung	direkt und indirekt positiv (fraglich)	direkt positiv (gering)	direkt positiv, negativ (gering)
Mure - Vermurung	direkt, indirekt positiv, negativ (hoch)	direkt positiv, negativ (gering)	direkt positiv, negativ (gering)
Geschiebetrieb - Übersarung	Direkt, indirekt positiv, negativ (fraglich)	direkt positiv, negativ (fraglich)	direkt positiv, negativ (gering)
Abfluss - Überflutung	indirekt positiv (mittel)	direkt positiv, negativ (gering)	passiv positiv, negativ (gering)

In der **Tabelle 2-1** wurden die Prozess und Prozesszonen in Fettschrift markiert, die mit den Begriffen direkt und hoch oder mittel attribuiert sind. Es handelt sich um Wirkungen des Waldes, die eine eindeutige Zuweisung einer direkten Objektschutzfunktion erlauben.

In Bezug auf die in Österreich relevanten Naturgefahren gelten die Bedingungen für eine direkte Objektschutzfunktion für Schneelawinen (vor allem für die Auslösung von Lawinen), Steinschlag (Sturzbahnen) und spontane Lockergesteinsrutschungen (Hangmuren).

Schneelawinen:

Wald kann sehr gut die Auslösung von Schneelawinen verhindern. Das zeigt sich dadurch, dass bisher auch in extremen Wintern nur wenige Anbrüche von Schadenslawinen direkt auf dicht bestockten Flächen dokumentiert worden sind (SLF 2000, Perzl & Walter, 2012 b). Diese Anbrüche sind meist die Folge von für die Lawinenbildung sehr günstigen Schneeverhältnissen (vgl. z. B. Gayl 1975, Konetschny 1990, SLF 2000, Teich et al. 2012 a, Perzl & Walter 2012 b) in Kombination mit sehr steilem Gelände und glatter Bodenoberfläche. Wald auf Standorten, von denen aus Lawinen anbrechen und zu schützende Flächen auch erreichen könnten, haben daher eine direkte Objektschutzfunktion. Die Bremswirkung der Bestockung in der Transit- und der Ablagerungszone von Lawinen ist jedoch relativ gering und stark von der Art und Intensität der Lawine abhängig.

Bäume sind aufgrund ihrer Form und Materialeigenschaften ungünstige Widerstandselemente gegen Lawinen. Abhängig von der Elastizität der Holzart und dem Durchmesser der Gehölze brechen Staublawinen ab einem Druck von etwa 3-5 kN/m² und Fließlawinen ab etwa 10-50 kN/m² die Stämme (de Quervain 1978, Margreth 2004, Margreth et al. 2008), sobald sie die Biegsamkeit des Jugendstadiums verlieren. In subalpinen Nadelwäldern tritt dieses Stadium bei einem Wurzelhalsdurchmesser von etwa 6 cm ein (Johnson, 1987). Das entspricht einem BHD von ca. 4 cm (bei Lärche: absolutes Alter $a \sim 13-50$ Jahre, Höhe $h_L \sim 3,3-4,8$ m). Die dafür erforderlichen Kräfte können auch relativ kleine Lawinen haben. Die Bäume können nicht nur gebrochen, sondern auch entwurzelt werden. Die Entwurzelung von Bäumen geht überwiegend auf Fließ- bzw. Bodenlawinen zurück (vgl. dazu Frey, 1977), während Staublawinen Stamm- und Kronenbrüche verursachen. Es kann immer wieder beobachtet werden, dass Staublawinen ganze Waldbestände werfen. Grundsätzlich kann man davon ausgehen, dass eine Bremswirkung nur bei Fließlawinen möglich ist, wenn die Bestockung die Schneedecke deutlich überragt. Ob das der Fall ist, hängt von zahlreichen Faktoren ab. Jungwuchs und Sträucher bis zu einer Höhe von etwa 5 m können bereits vom Druck der Schneedecke nieder gedrückt werden. Sie werden dann von Lawinen ohne Bremswirkung und zum Teil noch ohne Schaden an der Bestockung überfahren (Kajimoto et al. 2004, Anderson & McClung 2012). Bartelt & Stöckli (2001) gehen auf der Basis theoretischer Kalkulationen davon aus, dass der Bruch von Bäumen nur wenig Lawinenergie verbraucht, aber Baumwurf und Eintrag des Holzes in die Schneemasse eine Lawine (< 30.000 m³) abbremst. Eine Lawine durchschlägt einen Waldbestand, wenn ihre Energie doppelt so hoch ist wie die Widerstandsenergie des Waldes (Lorenzato 2001, zit. aus Margreth 2004). Vor allem im Wald oder knapp oberhalb der Waldgrenze angebrochene Lawinen können von der Bestockung abgebremst werden (Margreth, 2004). Die horizontale Länge dieser Zone oberhalb der Waldgrenze in Fallrichtung (die sogenannte Beschleunigungsdistanz) wird von Gubler & Rychetnik (1991) mit 30 bis 60 m, von Stitzinger (1999) und Weir (2002)⁵ mit ca. 50-200 m, von Margreth (2004) mit ca. 80 bis 150 m, sowie von Schneebeli & Bebi (2004) und Teich et al. (2012 b) mit etwa 150 m angegeben.

⁵ Die Angaben von Stitzinger (1999) und Weir (2002, nach Stitzinger 1999) beziehen sich auf in Kanada durchgeführte große Kahlschläge in höheren Lagen. Es handelt sich also um offene Flächen, die im weitesten Sinne mit der Situation oberhalb der Waldfläche vergleichbar sind.

Margreth (2004) geht davon aus, dass eine Bremswirkung nur bei Kleinlawinen mit Kubaturen von weniger als 10.000 m^3 zu erwarten ist. Margreth et al. (2008) berücksichtigen Waldbestände als Schutzelement in Lawinensturzbahnen, wenn der berechnete potenzielle Druck bei Fließlawinen kleiner 50 kN/m^2 und bei Staublawinen kleiner 5 kN/m^2 beträgt. Es kann jedoch beobachtet werden, dass Schneelawinen mit wesentlich kleinerer Sturzmasse und Druckwirkung von dichtem Wald nicht abgebremst werden. Daher steht, im Gegensatz zum Steinschlag, bei der Lawinenschutzfunktion des Waldes der Schutz vor Lawinenanbruch im Vordergrund. Erst in den letzten 10 bis 15 Jahren wurde auch zunehmende die Bremswirkung des Waldes untersucht. Aber auch die neuesten Arbeiten von Takeuchi et al. (2011) und Teich et al. (2012 b) zeigen, dass die Bremswirkung des Waldes auf Fließlawinen beschränkt ist, wenn der Anbruch nicht auf bestockten Flächen erfolgt, oder die Lawine nicht innerhalb von etwa 50 bis 200 m auf dichten Wald trifft.

Berg-, Felssturz, Steinschlag:

Beim Prozess Lawine ist der Wald auf der Anbruchfläche besonders schutzwirksam. Nur bei besonderen Bedingungen hat der Wald negative Effekte, z. B. die Entstehung von Waldlawinen in geschlossenen Beständen durch verminderte Ausstrahlung bei starker Erwärmung vor allem in der Schneeschmelzperiode (Perzl & Walter, 2012 b). Hingegen hat der Wald im Entstehungsgebiet von Steinschlag positive und negative Aspekte (Jahn 1988, Rickli et al. 2004, Kalberer, 2007). Sie können nur schwer relativ zueinander bewertet werden (Frost- und Erosionsschutz, Armierung von Schuttdecken vs. Wurzelsprengung und Übertragung von Wind- und Schneedruck), und sind mit Ausnahme der Fällung von instabilen Bäumen kaum zu beeinflussen. Beim Steinschlag ist daher die Aufgabe der WFK die Zonen mit einer notwendigen Brems- und Auffangwirkung des Waldes zu identifizieren.

Die Bestockung in der Sturzbahn hat keine Schutzwirkung bei Berg- und Felssturzereignissen. Eine Schutzwirkung gegen Block- und Steinschlag ist im besten Fall auf eine Translationsenergie von etwa 3.000 kJ und Blockgrößen von etwa rund 5 m^3 (10.000 kg) beschränkt (Rickli et al. 2004, Gauquelin 2006). Die meisten Block- und Steinschläge haben jedoch wesentlich geringere Kubaturen der Einzelkomponenten. Daher kommt dem Wald eine große Bedeutung für den Steinschlagschutz zu. Untersuchungen in Frankreich haben ergeben, dass durch den Wald durchschnittlich 10 bis 15 % der sich oberhalb von Straßen ablösenden Steine und Blöcke die Straßen erreichen (Cattiau et al. 1995, zit. aus Dorren et al., 2004). Ohne Wald liegt der Anteil bei 60 bis 90 %.

Bodenrutschungen:

Eine permanente Rutschung ist eine tiefgründige, meist großflächige und dauerhaft angelegte Massenbewegung (Keusen et al. 2004). Es gibt zahlreiche, unterschiedliche Erscheinungsformen und Aktivitätsstadien. Eine scharfe Abgrenzung von Prozesszonen ist bei permanenten Rutschungen meist nicht möglich. Ein Nachweis und eine räumliche Zuordnung der Waldfunktion und der Waldwirkung sind schwierig. Waldvegetation beeinflusst diese Rutschungen durch Entwässerung und Schutz vor oberflächlicher Erosion vor allem indirekt im hydrologischen Einzugsgebiet und direkt auf der Rutschmasse (Rickli et al. 2004). Die Bedeutung dieser Wirkung wird aber sehr unterschiedlich beurteilt. Die meisten Autoren (z. B. Gerstel & Badger, 2002) betonen die Möglichkeit⁶ einer Wirkung des Waldes auf tiefgründige Rutschungen. Ein eindeutiger

⁶ Hier wird in der forstlichen Gesetzgebung (Schutzwalddefinition) und bei der Waldfunktionenkartierung häufig nach dem Ansatz des Optionswertes des Waldes ("option value", vgl. dazu auch Hanewinkel, 2011) vorgegangen: Es ist zwar nicht genau bekannt, ob der Wald diesen Prozess maßgeblich beeinflusst oder schützend wirkt, und ob das auch in der speziellen lokalen Situation so ist. Da man aber eine Funktion oder Wirkung des Waldes nicht ausschließen kann, wird von einer Funktion des Waldes ausgegangen, und der Wald z. B. als Schutz- oder Wohlfahrtswald kartiert.

Nachweis ist dem Autor aber bis jetzt nicht bekannt. Generell wird dem Wald nur ein geringer bzw. untergeordneter, indirekter Einfluss auf tiefgründige Rutschungen durch die Entwässerung der Rutschung im Einzugsgebiet zugeschrieben (vgl. dazu [de la Fuente et al. 2002](#), [Rickli et al. 2004](#), [Frehner et al. 2005](#), [Bollinger et al. 2008](#), [Giamboni et al. 2008](#)), da die bodenstabilisierende Wirkung von Baumwurzeln höchstens 5 m tief reicht ([Sidle, 2008](#)), und die Gleitflächen wesentlich tiefer liegen können. Weder das Bestandesgewicht noch das Wurzelsystem haben einen Einfluss auf den Sicherheitsfaktor ([Medicus, 2009](#)). Zonen mit permanenten Massenbewegungen, vor allem die übersteilten Fußbereiche, sind auch anfällig für die Auslösung von Steinschlag und spontane Rutschungen. Daher werden in der ISDW-Richtlinie Anzeichen für eine permanente Rutschung als Indikator für eine erhöhtes Gefahrenpotenzial von Bodenbewegungen verwendet. Es gibt Autoren bzw. waldbauliche Richtlinien (z. B. [FPB, 2004](#)), die davon ausgehen, dass in bestimmten Zonen tiefgründiger Rutschungen durch gezielte Waldbewirtschaftung eine gewisse Schutzwirkung erzielt werden kann. Dazu zählen die übersteilten Rutschungszungen, die aus inkohärentem, stark aufgelockertem Material bestehen, und daher zu spontanen Lockergesteinsrutschungen neigen. Das bedeutet aber, dass der Wald vor allem das Auftreten von spontanen Lockergesteinsrutschungen beeinflusst.

Sogenannte spontane Lockergesteinsrutschungen sind nicht dauerhaft angelegt ([Keusen et al., 2004](#)). Sie entstehen meist durch Porenwasserüberdruck im Boden nach starken Niederschlägen. Murenartig über die Hänge oder kleine Gerinne abfließende spontane Lockergesteinsrutschungen werden als Hangmuren bezeichnet.

Im Gegensatz zu den tiefgründigen Rutschungen ist ein starker Einfluss des Waldes auf das Auftreten von Bodenerosionsprozessen wie flachgründige Spontanrutschungen belegt ([Johnson et al. 2000](#), [May 2002](#), [Glade 2003](#), [Vanacker et al. 2003](#), [Markart et al. 2005](#), [Beguería 2006](#), [Steinacher et al. 2009](#), [Bruschi et al. 2013](#), [Hornich & Adewöhrer 2010](#), [Reichenbach et al. 2014](#)) und gilt als gesichert. Der Wald wirkt sich sowohl auf das Auftreten (Anbrechen) als auch auf die Reichweite und Wirkung ([Johnson 2000](#), [May 2002](#)) solcher Prozesse aus ([Sakals et al., 2006](#)).

Wildbachprozesse und Überflutungen im Tiefland (Mure, Hochwasser):

Auch wenn Wald im Einzugsgebiet eines Wildbaches offensichtlich vor Geschiebeakkumulation durch Erosion/Rutschungen und im Gefahrenbereich (am Kegel) vor einer Ausuferung sowie Geschiebeeinwirkung bei einem Hochwasser oder einer Mure schützt, muss nicht jede Waldfläche, auch nicht jede zur Rutschung neigende oder am Kegel liegende Waldfläche, zwangsläufig für die Gefährdung bzw. den Schutz der Objekte relevant sein. Auch für Muren lassen sich potenziell Geschiebe und Wildholz liefernde Flächen, potenzielle Transportstrecken und Ablagerungsflächen abgrenzen. Es kann ein Schadenspotential bestimmt werden. Aber "die für das Geschiebepotenzial maßgebenden Hangprozesse in den Wildbacheinzugsgebieten treffen in der Regel nicht direkt auf ein Schadenspotenzial und sind somit nicht direkt schadenspotenzialrelevant" ([Giamboni, 2008](#)). Murgänge und murartiger Geschiebetrieb sind komplexe Prozesse mit Wirkungsketten, die aus den Verhältnissen im gesamten Einzugsgebiet resultieren.

Beim SilvaProtect-CH Ansatz, wurden daher alle (bewaldeten) potenziell geschiebelieferenden Flächen im Anschluss an die Gerinne im Einzugsgebiet als Wald mit Objektschutzfunktion definiert, wenn sich am Kegel zu schützende Objekte befinden, die von der (modellierten) potenziellen Mure erreicht werden können ([Giamboni 2008](#), [Losey 2013](#)). Hingegen wurde der Wald im Kegelbereich nicht einbezogen, auch wenn er im potenziellen Gefahren- bzw. Prozessraum liegt. Waldflächen in der Ablagerungszone von Wildbachereignissen, die tatsächlich direkte Bedeutung für den Schutz von Objekten haben, fallen aus der Schutzwaldkulisse.

Es ist aber praktisch unmöglich abzugrenzen (nachzuweisen), welchen Bedeutung eine einzelne Teilfläche des Waldes in Bezug auf die Objekte hat. Und auch wenn keine Objekte im modellierten Prozessraum am Kegel sind, könnten Geschiebe und Wildholz, z. B. in Summe mit Material aus anderen Einzugsgebieten, unterhalb des Vorfluters liegende Objekte schädigen.

Beim "Murschutz" handelt es sich um eine (indirekte) Objektschutzfunktion, die auch dann bestehen bzw. von Bedeutung sein kann, wenn der von Geschiebepotenzialflächen ausgehende (modellerte) potenzielle Prozess auf kein Objekt trifft. Andererseits ist der Wald aber auf Flächen von Bedeutung, die kein Potenzial zur Geschiebebildung haben. Das betrifft drei Arten von Flächen: (1) Flächen mit geringer oder labiler Kapazität des Bodens zur Regulation des Wasserhaushalts, (2) Standorte mit der Neigung zu starkem oberflächennahem Abfluss und (3) Standorte mit Potenzial zur Wildholzbildung.

Wenn der Boden aufgrund seiner Eigenschaften eine sehr geringe Abfluss-Pufferwirkung hat, oder wenn diese Pufferwirkung aufgrund seiner Eigenschaften und der Umweltbedingungen gefährdet ist, dann hat der Wald eine Bodenschutzfunktion. Boden ist ein funktionales Teilelement des Landschaftssystems und wie der Wald gleichzeitig ein zu schützendes Gut (ein Objekt). Die Wirkungen des Waldbodens sind die Grundlage aller anderen Waldwirkungen. Diese Wirkungen werden auch als Bodenfunktionen⁷ bezeichnet. Auch in der Landschaftsökologie werden der Funktions- und der Wirkungsbegriff synonym verwendet.

Der Hochwasser- und Murschutz durch das Landnutzungs- und Waldmanagement beginnt mit dem Bodenschutz. Im österreichischen FG und im Bayerischen Waldgesetzes (Artikel 10, [BayWaldG 2005](#)) wurde dieser Aspekt in die Standortschutzfunktion bzw. die Standortschutzwirkung des Waldes gepackt. Wenn es jedoch Aufgabe des Waldes ist, Flächen außerhalb des Waldes vor Bodendegradation und Bodenerosion zu schützen (z. B. Schutz von Ackerflächen vor Winderosion), dann fällt das in Österreich unter den Begriff Objektschutz. Wald mit Standortschutzfunktion (Bodenschutzfunktion) kann aber auch als Wald mit indirekter Objektschutzfunktion gesehen werden.

[Wullschleger \(1982\)](#) bezeichnet die Abflussreduktion im Sinne einer Aufgabe bzw. mögliche Wirkung des Waldes als "Wasserhaushaltsfunktion" in der Gruppe der "Schutzfunktionen vor Naturgefahren". [Wullschleger \(1982\)](#) definierte Waldbestände in niederschlagsarmen Gebieten auf flachen Hängen und Böden mit großer Infiltrationskapazität sowie hoher Oberflächenrauigkeit (groskskelettreiche Böden) als Wälder mit großer Bedeutung der "Wasserhaushaltsfunktion". Diese Ansicht wurde durch die Arbeiten von [Lüscher et al. 2000 \(Zusammenfassungen in Lüscher & Zürcher 2003, Hegg 2006\)](#) korrigiert. Die Hangneigung beeinflusst die Abflussbildung nur auf sehr steilen Hängen mit geringer Vegetationsdeckung. Sie ist für die Abflusskonzentration, aber nicht für die Abflussbildung entscheidend ([Kennel et al., 2004](#)). Die Schlüsselgröße des hydrologischen Regulationspotenzials des Waldes ist der Boden ([Brosinger & Rothe, 2003](#)). In Bezug auf den Hochwasser- und Murschutz gibt es zwei Gruppen von Waldstandorten mit "Bodenschutzfunktion": den (11) "Schutzwald mit Retentionsfunktion" und den (12) "gerinnerelevanten Schutzwald" ([Schwitter & Bucher, 2009](#)).

Böden mit geringer Infiltrations- und hoher Speicherkapazität neigen zur Bildung von schnellem oberflächennahem Abfluss. Andererseits stellen sie einen großen Bodenpufferspeicher zur Verfügung, den der Wald durch die Evapotranspiration freischaffen kann. Daher haben die Waldbestände auf solchen Standorten eine mit der Bodenschutzfunktion gekoppelte

⁷ Bodenfunktionen sind nach [Kohl \(1993, zit. aus Wohlrab et al., 1995\)](#) die Naturschutzfunktion (Lebensraumfunktion), die Regelungsfunktion (Stoffhaushalt), die Wasserhaushaltsfunktion und die Produktionsfunktion.

Retentionsfunktion. Ein Zusatzkriterium der Funktionsrelevanz ist die Neigung der Standorte zur Abflusskonzentration. Da die Evapotranspiration an Wachsfaktoren gekoppelt ist, sind Standorte mit hoher Bonität und somit in tieferen und mittleren Lagen von Bedeutung, die meist als "Wirtschaftswälder" gesehen werden. Diese Retentionsfunktion ist von der Funktion von Überflutungsräumen zu trennen. In der forstlichen Raumplanung, vor allem in Deutschland, wird der Wald in den Überschwemmungsgebieten als "Wasserschutzwald" mit "Hochwasserrückhalt-" oder "Trinkwasserschutzfunktion" (z. B. AGL 1974, Volk & Schirmer 2003, LFP 2004) ausgewiesen. Trinkwasserschutz ist aber keine Schutz-, sondern eine Wohlfahrtfunktion. Die Retentionswirkung der Auwaldflächen ist eine passive Flächenwirkung, die nicht an die Bestockung gebunden ist.

Auf Böden mit hoher Infiltrations- aber geringer Wasserspeicherkapazität können die Wirkungen des Waldes nur wenig Pufferpotenzial freimachen, und nur wenig Niederschlag zurückhalten. Diese meist steilen, flachgründigen und grobskelettreichen Standorte sind Wälder mit Bodenschutz- bzw. Standortschutzfunktion im engeren Sinn. Diese Standorte neigen zur Bodenerosion und sind indirekt für den Murschutz von Bedeutung, wenn Bodenmaterial und Wildholz unmittelbar in die Gerinne gelangen könnte (gerinnerelevanter Schutzwald).

Wildholz ist ein Sammelbegriff für bereits im Bach liegendes (totes) und bei starker Wasserführung frisch eingetragenes Holz, das "Grünholz" (Rudolf-Miklau et al., 2011). Es kann auch durch Windwurf und Schneelawinen in den Bach gelangt sein. Das bei einem Hochwasserereignis transportierte Wildholz wird als Schwemmholz bezeichnet (Rudolf-Miklau et al., 2011). Wildholz ist eine Gefahr für den Siedlungsraum, da es durch Verklausungen zu Überflutungen, Übersarungen oder Vermurungen führen kann, oder direkt auf die Objekte trifft. Bestockte Flächen im Grabeneinhang, von denen z. B. durch Bodenrutschung, Seitenerosion des Baches, Windwurf oder Lawineneinwirkung Bäume in das Gerinne gelangen können (Mazzorana et al. 2009, Rudolf-Miklau & Hübl 2010, Rudolf-Miklau et al. 2011) sind Wälder mit indirekter Schutzfunktion. Während im deutschsprachigen Raum vor allem die schädigende Wirkung von Wildholz hervorgehoben wird, gibt es in der internationalen Literatur auch Hinweise auf positive Wirkungen von Holzeintrag auf den Murprozess durch Uferschutz, Bremswirkungen und frühzeitige Geschiebeablagerung (z. B. Irasawa et al. 1991, Fetherstone et al. 1995, Lancaster et al. 2003, May & Gresswell 2003, Wilford et al. 2005, Sakals et al. 2006). Flächen mit einem Potenzial für Wild- und Schwemmholzbildung können nicht eindeutig bestimmten zu schützenden Objekten zugeordnet werden (Giamboni, 2008). Die Modellierung des Schadenpotenzials zeigt nur einen Teil der Funktionsrelevanz der Waldfläche. "Selbst dort, wo für bedeutendes Schadenspotenzial die Gefährdung durch Wildbachprozesse nachgewiesen ist, genügt die günstige Wirkung des Waldes auf das Wasserregime alleine noch nicht für die Ausscheidung von besonderer Schutzfunktion" (BUWAL, 1996).

Für solche Waldflächen hat die Forstpolitik den Ansatz der "besonderen Behandlung" entwickelt, der in einigen Alpenländern in die Schutzwalddefinition der Forstgesetzgebung eingegangen ist. Da diese Waldflächen besonders beobachtet und bewirtschaftet werden sollen, um Geschiebe- und Wildholzbildung (schädliche Waldwirkungen) zu vermeiden, gelten sie als Schutzwald. Sie werden auch als Wald mit Objektschutzfunktion betrachtet. Es entspricht der gängigen Praxis der WFK in Österreich "Grabeneinänge" als Schutzwald zu kartieren. Auf solchen Standorten treffen die gesetzlichen Kriterien für Standortschutzwälder zu. Mur- und Lawinenkegel (vor allem alte Murkegel und verwachsene Lawinensturzbahnen in flachem Gelände) werden im WEP jedoch zum Teil als Wald mit Nutz- oder Wohlfahrtsfunktion ausgewiesen. Wilford et al. (2005) weisen darauf hin, dass bei forstlichen Nutzungen und beim Straßenbau die oft flachen Murschuttkegel am Talboden zu wenig als Indikatoren des Gefahrenpotenzials beachtet werden. Liegt die Waldfläche am Kegel genau zwischen dem möglichen Ausbruchsbereich aus dem Gerinne und den zu

schützenden Objekten liegt eine direkte Objektschutzfunktion vor. Ist aber der Wald auf Murkegeln auch potenziell schutzwirksam und somit als Schutzfunktionsfläche zweckmäßig?

In der Literatur wird eine "geschiebefilternde" oder "murfilternde" Wirkung des Waldes angeführt (z. B. Piegay & Bravard 1997, Benda et al. 1998, Rudolf-Miklau & Patek 2004, Sakals et al. 2006). Jedes Widerstandselement in der Sturzbahn bremst eine Massenbewegung mehr oder weniger stark. Dabei muss zwischen Übersarungen (Hochwasser mit Geschiebe), Hangmuren und Muren (Wildbachereignisse) unterschieden werden. Die Wirkung und Effektivität des Waldes ist je nach Prozessart und -intensität unterschiedlich. Felkel (1960), Kauch (1984) und Piegay & Bravard (1997) stellten eine Reduktion der Abflusskapazität von Gerinnen durch Uferwald (Weidengebüsch und Hochwald) durch Geschiebeakkumulation und die Biomasse fest. Johnson et al. (2000) konnten eine verstärkte Ablagerung von Muren in Waldbeständen mit einem Durchmesser von über 30 cm im Verhältnis zu Blößen und Jungwald mit einem Alter bis zu 15 Jahren feststellen. Andererseits konnten in Blößen und Jungwald keine geringeren Reichweiten von Gerinnemuren festgestellt werden, als in ungleichaltrigen Beständen, Baum- und Altholzbeständen (Johnson et al. 2000, May 2002). Die Ergebnisse von May & Gresswell (2003) deuten darauf hin, dass die Bestockung und das Wildholz an Gerinneabschnitten niederer Ordnung wesentlich mehr Geschiebe zurückhalten, als im Bereich der Mur- und Schwemmkegel. Das jeweilige Flusssystem und das Gelände spielen bei diesen komplexen Prozessen eine große Rolle.

Bei Wildbachprozessen können Waldflächen nicht oder weniger genau bestimmten, von ihnen zu schützenden Objekten innerhalb des Prozessraums zugeordnet werden. Aus waldbaulicher Sicht ist diese genaue Zuordnung nicht unbedingt erforderlich. Das kann aber im Zusammenhang mit der Akzeptanz von Nutzungszielen und mit Fragen der Abgeltung von Leistungen sowie der Reihung und öffentlichen Förderung von Maßnahmen, die mit der Ausscheidung und Kategorisierung von Schutzwald verbunden sind, oder beabsichtigt werden, zu Problemen führen.

Waldflächen mit Retentionsfunktion oder mit Potenzial zum Geschiebe- und Wildholzeintrag in die Gerinne sind Schutzfunktionsflächen, die eine direkte oder indirekte Objektschutzfunktion mit nicht eindeutig zuzuordnendem Schadenspotenzial haben. Dafür wurde in Österreich der Begriff "Gebietsschutzwald mit überörtlicher Wirkung" geprägt, aber nicht operational definiert.

2.2 DIE MINIMALE SCHUTZFUNKTIONSFLÄCHE

Die Schutzfunktion des Waldes ist nicht davon abhängig, ob eine Fläche bewaldet ist. Sie wird auch nicht vom Waldzustand definiert, sondern sie ergibt sich primär aus Standorts- und Lagefaktoren. Es ist jedoch nur zweckmäßig Waldflächen eine Funktion zuzuweisen, wenn der Wald (im optimierten Zustand) eine Wirkung haben kann. Das führt zur Frage, wie groß eine Waldfläche sein muss, damit sie eine Schutzwirkung hat. Diese Frage stellt sich vor allem für den Wald in den Prozesszonen gravitativer Naturgefahren (bei direkter Objektschutzfunktion). Die Frage muss für potenziellen Startflächen und potenzielle Sturzbahnen getrennt behandelt werden und berührt die räumliche Auflösung von Kartierungen und Modellierungen.

Die Wirkung des Waldes auf Massentransporte hängt auch von der Länge der bewaldeten Hangabschnitte in Sturz- oder Fließrichtung zwischen den Startflächen der Prozesse und den zu schützenden Objekten ab. Mit zunehmendem Abstand vom Objekt zur Startfläche, zunehmender Geländerauigkeit, zunehmenden Anteil bestockter Flächen und abnehmender Steilheit nimmt die Schutzwirkung zu. Aus diesem Grund ist es auch schwierig in Bezug auf Naturgefahren zulässige "Schlaggrößen" bzw. "Lückenlängen" zu definieren.

Margreth et al. (2008) gehen davon aus, dass Wald nur dann eine relevante Schutzwirkung vor Lawinenanbrüchen hat, wenn er mindestens 20 % des potenziellen Anbruchgebiets bedeckt. Das

Bewaldungsprozent sagt jedoch nur wenig über die Schutzwirkung des Waldes aus, da beim selben Bewaldungsprozent eine sehr unterschiedliche räumliche Verteilung, Größe und innere Struktur unbewaldeter und bewaldeter Flächen vorliegen kann (Perzl & Walter, 2012 a). Auf potenziellen Startflächen bzw. in Bezug auf die Auslösung von Naturgefahren beschränkt sich die Schutzwirkung des Waldes auf den bestockten Bereich. Ist die potenzielle Startfläche größer als die Waldfläche, oder sind kleine Waldflächen mit größeren Abständen auf einer großen potenziellen Startfläche ("im Anbruchgebiet") verteilt, ist die Wirkung des Waldes gegen die Auslösung von Naturgefahren beschränkt. Es ist jedoch nicht möglich zu sagen, welche minimale Größe oder welcher Waldanteil eine potenzielle Schutzwirkung und damit auch eine Schutzfunktion für einen bestimmten Gefahrenprozess begründet. Grundsätzlich besteht jedoch direkt auf der Waldfläche eine potenzielle Schutzwirkung und damit eine Schutzfunktion. Außerdem sind auch kleine Waldflächen Initialstellen der Neu- oder Wiederbewaldung zur Verbesserung der Schutzwirkung.

Bei Waldflächen in der Sturzbahn gravitativer Prozesse ist die Schutzwirkung sehr stark vom Gelände und von der Länge der bewaldeten Strecke abhängig. Ein z. B. 10 m breiter und 100 m langer Streifen Laubholz entlang einer Straße in der sonst unbestockten Sturzbahn einer Großlawine ist nach dem österreichischen FG gerade noch ein Wald (mindestens 1000 m² Fläche und 10 m Breite). Er hat aber kaum Einfluss auf die Lawinen. Dennoch ist es nicht zweckmäßig nur aufgrund der Größe der bestockten Fläche eine Schutzwirkung bzw. Schutzfunktion auszuschließen. Unabhängig von der Größe des Waldes kann eine besondere Behandlung erforderlich sein. Dieser Waldstreifen sollte beispielsweise nicht aus hohen Nadelbäumen bestehen, die dann durch den Staubdruck auf die Straße geworfen werden.

Die Anleitung zur Abschätzung des Gefahrenpotenzials der französischen Schutzwaldrichtlinie GSM (Gauquelin, 2006) schließt eine Steinschlag-Schutzwirkung des Waldes bei einer horizontalen Hanglänge von weniger als 200 Metern aus. Dieser Ansatz wurde von Bauerhansl et al. (2010) übernommen. Er bedeutet bei konsequenter Umsetzung, dass kurze bewaldete Hänge keine Schutzwirkung und daher auch keine Schutzfunktion haben. Perzl et al. (2011) kehren für die Modellierung des Objektschutzwaldes (Charakterisierung des Gefahrenpotenzials) im Rahmen eines Pilotprojekts den Ansatz von Gauquelin (2006) und Bauerhansl et al. (2010) für den Prozess Steinschlag um. Kürzere Waldstrecken in der Sturzbahn haben grundsätzlich eine geringere Schutzwirkung als lange. Da aber das Gelände selbst (ohne Bestockung) bei steilen, kurzen Strecken weniger Bremswirkung hat als bei langen, flacheren Abschnitten, ist die Wirkung des Waldes und damit eine optimale Waldstruktur gerade auf diesen kurzen "Waldhängen" besonders wichtig. Die Untersuchungen von Krättli (2008, zit. aus Zürcher, 2010) und Zürcher et al. (2010, zit. aus Zürcher, 2010) bestätigen diesen Ansatz. Auch bewaldete Hänge von weniger als 50 m Länge können bei günstigen Bedingungen (Gelände, Rauigkeit, Waldstruktur) einen wesentlichen Beitrag zur Schutzwirkung leisten (Zürcher, 2010). Es kann keine generelle minimal bewaldete (bestockte) Hanglänge festgelegt werden, unterhalb der ein Wald keine relevante Schutzwirkung vor Steinschlag hat (Zürcher, 2010).

Die Größe der Waldfläche ist kein geeignetes, limitierendes Kriterium zur Kartierung bzw. Modellierung der Schutzfunktion des Waldes. Die minimale Größe der potenziellen Startfläche eines Gefahrenprozesses ist aber von entscheidender Bedeutung. Sie hängt mit dem Bemessungsereignis der Prozessmodellierung zusammen.

2.3 BEMESSUNGSEREIGNISSE DER SCHUTZFUNKTIONENKARTIERUNG

Die gutachtliche Kartierung von Wald mit direkter Objektschutzfunktion erfolgt meist ohne direkten, nachvollziehbaren Bezug zu einem prozessbestimmenden Bemessungsereignis. Ohne

Bemessungsereigniss lässt es sich nicht konsistent feststellen, ob ein Gefahrenprozess ein zu schützendes Objekt auch erreichen kann, und daher ein Wald mit Objektschutzfunktion vorliegt. Das Ergebnis ist daher eine inhomogene Mischung aus Annahmen, von Rückschlüssen aus "Stummen Zeugen" und aus der Übertragung von Prozessreichweiten der dem Sachbearbeiter bekannten historischen Ereignisse unterschiedlicher Jährlichkeit.

Ein Bemessungsereignis kann nur über eine numerischer Modellierung der Prozessreichweite berücksichtigt werden. Grundsätzlich gibt zwei Arten von Reichweitenmodellen: (1) topografische (statistische) und (2) physikalische (deterministische) Reichweitenmodelle.

Topografische Reichweitenmodelle bestimmen die Reichweite einer Massenbewegung primär aus topografischen Faktoren auf der Basis statistischer Zusammenhänge. Eine diskrete Anbruchsmasse in Bezug auf ein Bemessungsereignis ist nicht erforderlich. Grundsätzlich können in topografische Modelle statistische Abhängigkeiten der Prozessreichweite von prozessauslösenden Faktoren (Bemessungswerte) eingebaut werden. Das Problem dabei sind die Kalibrierungsdaten. Da sie nicht in ausreichendem Umfang zur Verfügung stehen, sind die Modelle meist nur gebiets- oder ereignisspezifisch kalibriert. Es gibt keine globalen topografischen Modelle. Mit dem Einbau von Bemessungswerten (volumsbasierte Ansätze) verlieren topografische Modelle ihre entscheidenden Vorteile in Bezug auf großflächige Modellierungen von Gefahrenprozessen: die Unabhängigkeit von der Art der Abgrenzung der Startfläche, die Unabhängigkeit von schwer festzulegenden und zu bestimmenden Bemessungswerten (z. B. Steingrößen), die Robustheit, und vor allem die höhere Rechengeschwindigkeit.

Beim Einsatz von physikalischen Modellen ist es möglich die Anbruchsmasse eines definierten Bemessungsereignisses global in Ansatz zu bringen. Sie sind grundsätzlich nicht von den Kalibrierungsdaten abhängig, sondern beruhen auf physikalischen (globalen) Gesetzen. Das erfordert aber auch eine exakte zweidimensionale oder dreidimensionale (bei Fels- und Bodenbewegungen) Abgrenzung der potenziellen Startfläche des Gefahrenprozesses. Bei Fels- und Bodenrutschungen ist auch eine Bestimmung der Form der Gleitfläche erforderlich.

In der Praxis der Naturgefahrenkartierung wird ein die Prozessintensität bestimmendes Merkmal eines häufig den Gefahrenprozess auslösenden meteorologischen Ereignisses verwendet, und dann die zu erwartende Größe des Merkmal für eine (gesetzlich) festgelegte statistische Wiederholzeit als Bemessungsereignis angesetzt. Es ist jedoch nicht möglich ausreichend zuverlässige statistische Wiederholzeiten für die Lage und Form der Startflächen zu bestimmen.

Zum Beispiel muss für die Berechnung der Reichweite, der Geschwindigkeit und des Drucks von Lawinen die Schneeanbruchsmasse definiert werden. Das erfordert Angaben zur Anbruchfläche, zur Hangneigung und Bemessungswerte für die Anbruchshöhe und die Schneedichte. Für die Anbruchshöhe bzw. Anbruchmächtigkeit ist es üblich nach dem Ansatz von [Salm et al. \(1990\)](#) und [Burkard & Salm \(1992\)](#) statistische Erwartungswerte der 3-Tages-Neuschneehöhe oder der 3-Tages-Schneehöhen-Differenz zu verwenden. In Österreich wird nach der Verordnung zum Forstgesetz über die Gefahrenzonenpläne (§ 6, [GZP-V 1976](#)) für Lawinen (und Muren) eine Wiederkehrwahrscheinlichkeit von ca. 150 Jahren benutzt⁸. Für die Größe der Anbruchfläche gibt es aber keinen vergleichbaren Ansatz.

⁸ Diese Bestimmung bezieht sich eigentlich auf das gesamte Lawinen- oder Wildbachereignis und nicht nur auf die meteorologischen Auslösfaktoren. Es ist aber nicht in jedem Fall möglich die Wiederkehrwahrscheinlichkeit eines Gefahrenereignisses zu bestimmen, da die dafür erforderlichen Zeitreihen dokumentierter Ereignisse fehlen. Die dokumentierten Ereignisse sind zudem von den zeitlichen Veränderungen des gesamten Systems überprägt und dadurch verzerrt. Es wird daher angenommen, dass ein Niederschlagsereignis bestimmter Jährlichkeit auch ein Naturgefahrenereignis gleicher Jährlichkeit verursacht. Aber auch die Größe meteorologischer Auslösfaktoren (z. B. die 3-Tages-Neuschneehöhe) für bestimmte Wiederkehrwahrscheinlichkeiten unterliegt einem zeitlichen Trend (vgl. [Marty & Blanchet, 2011](#)).

Die Größe von Lawinenanbruchflächen (potential avalanche release areas, PRA oder PARA) wird durch topografische Merkmale (Makro- und Mesorelief) begrenzt (Bertogg 2001, Gruber 2001, Maggioni & Gruber, 2003). Die meisten realen Lawinenanbruchflächen sind jedoch wesentlich kleiner, als wie es die topografischen Bedingungen zulassen würden (Maggioni et al., 2002). Neuere Untersuchungen zeigen auch einen Einfluss des Feinreliefs (der Rauigkeit) auf die Größe der Anbruchflächen (Veitinger et al., 2012).

Maggioni (2004) entwickelte eine Methodik, um mit Hilfe der Gumbel-Extremwertstatistik die Größe einer (potenziellen) Anbruchfläche als Anteil modellierter potenzieller Anbruchflächen (PRA) für spezifische Wiederholzeiten zu bestimmen. Nach den Ergebnissen von Maggioni (2004) entspricht die gesamte nach Maggioni & Gruber (2003) modellierte PRA bereits einer Wiederholzeit von 30 Jahren. Durchschnittlich einmal in 30 Jahren ist die gesamte modellierte PRA die Startfläche eines Lawinenereignisses. Eine 150-jährige Schneehöhe und ein totaler Anbruch der PRA tritt demnach theoretisch einmal in 4.500 Jahren auf. Die Methode repräsentiert aber nur einen Lawinenzug bzw. ein Gebiet in der Schweiz. Derzeit kann noch keine Anbruchflächengröße für bestimmte Wiederkehrwahrscheinlichkeiten in direkter Abhängigkeit von topografischen Faktoren berechnet werden. Zudem ist keine Korrelation zwischen der Wiederkehrwahrscheinlichkeit der meteorologischen Auslösfaktoren und der Größe der realen Anbruchfläche bei gegebener Wiederkehrwahrscheinlichkeit der Auslösfaktoren bekannt.

Giamboni et al. (2008) verwenden im Projekt SilvaProtect-CH eine minimale Fläche von 5000 m² und eine minimale horizontale Länge in Falllinie von 50 m für potenzielle Lawinenanbruchflächen. Das entspricht nach Gruber & Baltensweiler (2007) in Bezug auf den PRA-Modellierungsansatz von Gruber (2001) einer Wiederkehrdauer von 300 Jahren. "Für Lawinen mit einer häufigeren Wiederkehrdauer (z. B. 100 Jahren) muss in der Regel das Anrissgebiet kleiner gewählt werden" (Gruber & Baltensweiler, 2007). Auch wesentlich kleinere Anbruchflächen können Schäden an Siedlungs- und Verkehrsflächen verursachen. Es stellt sich hier auch die Frage, welche Größe bzw. Intensität eines Ereignisses noch eine (relevante) Lawine (z. B. im Sinne des FG⁹) oder nur ein "Schneerutsch" ist. Für Geschädigte dürfte jedoch dieser Unterschied nicht relevant sein.

Die der forstlichen Planung inhärente Anforderung an die GIS-Modellierungen des Schutzwaldes, zur Erzeugung von homogenen, nicht zu stark fragmentierten Schutzwaldflächen, steht in einem gewissen Widerspruch zum Streben nach realistischer Abbildung von potenziellen Startflächen von Naturgefahren, und zwingt zu Glättungstechniken und relativ großen "Minimalflächen".

Noch schwieriger ist die Normierung und Bestimmung der Ereignisintensität bzw. potenziellen Massenauslösung für Bodenrutschungen und Steinschlag.

Trotz großer Fortschritte bei der sogenannten Dispositions- oder Suzeptibilitätsmodellierung von Hangrutschungen, das eigentliche (potenzielle) Anbruchsvolumen lässt sich derzeit noch nicht ex ante für einen bestimmte Stelle des Geländes aus topografischen Faktoren großflächig abschätzen. Dazu sind Karten der Bodenmächtigkeit über potenziellen Gleithorizonten notwendig. Solche Karten gibt es nicht für das gesamte Bundesgebiet.

Die österreichische GZP-Richtlinie (GZP-R, 2011) definiert für Steinschlag und Felssturz ein 150-jähriges Bemessungsereignis, das aufgrund der Sturzenergie festzulegen ist. Dazu muss die

⁹ Sehr kleine Lawinen werden als "Schneerutsche", und nur Ereignisse von größerer Intensität als "Lawinen" bezeichnet. Als Intensitätskriterien werden die Länge bzw. Reichweite, das Ablagerungsvolumen, der Druck oder der Schaden der Lawine verwendet. Es gibt mehrere Intensitäts-Klassifikationssysteme. Häufig wird die kanadische Größenklassifikation (McClung & Schaerer, 1981) oder die der European Avalanche Warning Services (EAWS) verwendet. Beide Systeme sind nur bedingt eindeutig, da mehrere Kriterien ohne Kombinationsmatrix verwendet werden. Im österreichischen Forstgesetz (FG 2002, § 99 Abs. 2) ist der Begriff Lawine definiert. Es sind aber keine quantitative Intensitätskriterien dazu angeführt, ab wann eine Schneebewegung eine Lawine ist.

Sturzenergie (Translationsenergie) eines einmal in 150 Jahren wahrscheinlichen Ereignisses, und daher das entsprechende Gesteinsvolumen bestimmt werden.

Die Wahrscheinlichkeit eines Steinschlags und das Gesteinsvolumen können nur mit indirekten Methoden bestimmt werden (Kalberer, 2007). Absturzbereite Gesteinsvolumina können aus den Ablagerungen oder dem Trennflächenmuster der Felswand geschätzt werden. Das erfordert intensive, gefährliche Feldarbeit, und ist nicht überall bzw. für ganze Regionen nicht möglich. Die vorhandenen statistischen Methoden zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses mit einem bestimmten Steinvolumen, erfordern homogene, zeitlich und räumlich repräsentative Ereignisdokumentationen, die nur selten vorhanden sind (Volkwein et al., 2011). Diese Methoden sind aufgrund des Aufwands (Bedarfs an spezialisierten Fachleuten) und der fehlenden bzw. verzerrten (unvollständigen, zu kurzen) Ereignisdokumentationen meist nicht einsetzbar. Die statistischen Methoden zur Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines bestimmten Ereignisses eignen sich beim Steinschlag generell nur eingeschränkt für Erhebungen des Gefahrenpotenzials bei der WFK, da gerade beim Steinschlag ein kleines und seltenes Ereignis große Schäden auf Siedlungs- und Verkehrsflächen verursachen kann, und meist nur (große) Schadensereignisse wahrgenommen werden. Es ist aber – im Gegensatz zu den hydrologischen Gefahren wie Lawinen – eher unwahrscheinlich, das sich ein großes (seltenes) Bemessungsereignis am selben Ort wiederholt. "Die Einschätzung der Wiederkehrwahrscheinlichkeit bei Sturzprozessen ist nahezu unmöglich, da sehr viele Faktoren für die Auslösung eines Sturzprozesses zusammenspielen, flächendetaillierte Betrachtungen erforderlich sind, und zudem die Regenerierbarkeit der Materialherkunftsbereiche hinsichtlich zukünftiger Ereignisse meistens nicht gegeben ist oder nur schwer abschätzbar ist" (Melzner & Preh, 2012). Rouiller et al. (1998) argumentieren daher, dass beim Felssturz/Steinschlag die Wahrscheinlichkeit der Mobilisierung und die Trefferwahrscheinlichkeit am Objekt entscheidender sind, als die Häufigkeit bzw. die theoretische Wiederkehrwahrscheinlichkeit eines bestimmten Ereignisses.

Für bestimmte Gefahrenprozesse (Steinschlag, Hangrutschung) und wesentliche Aspekte des Gefahrenpotenzials (z. B. Flächengröße des Anbruchs) lassen sich keine Bemessungsgrößen in Bezug auf eine statistische Wiederkehrwahrscheinlichkeit bestimmen. Daher können nur generelle Verteilungen von bei Ereignissen beobachteten Merkmalsgrößen verwendet werden, sofern dafür ausreichende Ereignisdokumentationen vorhanden sind. In Frage kommen Prozessbemessungen, die an statistischen Lokalisations- und Dispersionsparametern ansetzen.

3. STATUS QUO: SCHUTZWALDKARTIERUNG NACH DER WEP-RICHTLINIE

3.1 AUFGABE UND PLANUNGSPROGRAMM DES WALDENTWICKLUNGSPLANS

Die Aufgabe des WEP ist im FG indirekt über die "Aufgabe der forstlichen Raumplanung" definiert (§ 6 Abs. 1, FG 2002):

"Aufgabe der Raumplanung für den Lebensraum Wald (forstliche Raumplanung) ist die Darstellung und vorausschauende Planung der Waldverhältnisse des Bundesgebietes".

Das Ziel dieser Aufgabe ist es (§ 6 Abs. 2, FG 2002), *"... das Vorhandensein von Wald in solchem Umfang und in solcher Beschaffenheit anzustreben, dass seine Wirkungen, nämlich*

- a) die Nutzwirkung, das ist insbesondere die wirtschaftlich nachhaltige Hervorbringung des Rohstoffs Holz,*
- b) die Schutzwirkung, das ist insbesondere der Schutz vor Elementargefahren und schädigenden Umwelteinflüssen sowie die Erhaltung der Bodenkraft gegen Bodenabschwemmung und -verwehung, Geröllbildung und Hangrutschung,*
- c) die Wohlfahrtswirkung, das ist der einfluss auf die Umwelt, und zwar insbesondere auf den ausgleich des Klimas und den Wasserhaushalt, auf die Reinigung und erneuerung von Luft und Wasser,*
- d) die Erholungswirkung, das ist insbesondere die Wirkung des Waldes als Erholungsraum auf die Waldbesucher*

bestmöglich zur Geltung kommen und sichergestellt sind".

Im Gegensatz zur Schutzwalddefinition im § 21 Abs. 2 des FG differenzieren die Bestimmungen über die forstliche Raumplanung zwischen der "Schutzwirkung" und der "Wohlfahrtswirkung" des Waldes. Als Schutzwirkung wird im § 6 FG die Erfüllung von Aufgaben (also Funktionen) des Waldes summiert, die im § 21 des FG als Standortschutzwirkung und Objektschutzwirkung bezeichnet werden und beschrieben sind.

Der Begriff "Funktion des Waldes" wird im § 2 der WEP-Verordnung (WEP-V, 1977) als Darstellungs- und Planungsinhalt des WEP eingeführt. Der Begriff wird im § 2 der Verordnung mit dem Begriff "Wirkung des Waldes" gleichgesetzt. Der Darstellungsinhalt des Kartenteils des WEP ist jedoch nicht die Wirkungen des Waldes, sondern die Funktion des Waldes, die in der WEP-Richtlinie (WEP-R, 2012) wiederum als "Wirkungen" bezeichnet werden. Eine kartografische Darstellung der Wirkung des Waldes ist in einem strategisches Planungsinstrument nicht zweckmäßig. Sie ist vom Waldzustand abhängig. Daher ändert sie sich laufend (unter Umständen schlagartig z. B. durch einen Windwurf). Die Feststellung und Kartierung von Waldwirkungen, sofern diese überhaupt messbar sind, würden intensivste Walderhebungen erfordern. Diese waren nicht nur zum Zeitpunkt der WEP-Entwicklung in den 1960-er und 1970-er Jahren, sondern sie sind auch heute noch trotz erheblich verbesserter Fernerkundungs- und Informationstechnologie langwierig und aufwändig.

Das Planungsprogramm des WEP nach der WEP-V (1977) orientiert sich am Konzept der Leitfunktion des Waldes. Diese Konzept wurde in einer Zeit entwickelt, in der GIS-Technologien zur Verarbeitung und Darstellung von Geoinformation (in Österreich) noch völlig unbekannt waren. Das zwang zu Vereinfachungen, nämlich der Komprimierung komplexer Inhalt in einer Karte. Solche Vereinfachungen haben aber auch Vorteile, die transportierte Information ist leichter aus der Karte zu lesen.

Das Konzept der Leitfunktion besteht darin, dass einer der vier Funktionen des Waldes Vorrang vor allen anderen Funktionen des Waldes zukommt. Es ist eng mit der Gestaltung der kartografischen Darstellung bzw. den damaligen Darstellungsmöglichkeiten verbunden.

Die WEP-Karte (Waldfunktionskarte) stellt flächendeckend sogenannte Funktionsflächen auf Grundlage einer raumtreuen topographischen Karte im Maßstab 1:50.000 (die österreichische Karte ÖK 50) dar. Die minimale räumliche Auflösung flächenhafter Darstellung, die "minimum mapping unit", beträgt 10 ha. Kleinere Funktionsflächen werden als Punkte dargestellt.

Obwohl sie im § 5 Abs. 1 der [WEP-V \(1977\)](#) als "räumliche Einheit von Waldflächen" definiert werden, sind die dargestellten Funktionsflächen keine Waldflächen. Sie enthalten Waldflächen und nicht bewaldete Flächen. In der praktischen Umsetzung sind sie als räumliche Einheiten zu interpretieren, auf denen die (vier) gesetzlich definierten Funktionen eine einheitliche Bedeutung für die Gesellschaft haben. Diese Funktionen ergeben sich aus Standortsbedingungen und Raumbeziehungen. Sie bestehen grundsätzlich unabhängig davon, ob eine Teilfläche innerhalb der Funktionsfläche bewaldet ist oder nicht. Die Funktionsfläche ist die räumliche Gliederungseinheit der Darstellungs-, Beschreibungs- und Planungsinhalte des WEP.

Für jede Funktionsfläche sind nach der [WEP-V \(1977\)](#) die vier Waldfunktionen anhand einer vierstufigen Ordinalskala zu bewerten (**Tabelle 31-1**). Die vier Stufen der Ordinalskala werden als Wertziffern bezeichnet.

TABELLE 31-1: ORDINALSKALA ZUR BEWERTUNG DER WALDFUNKTIONEN

Wertziffer	Wertigkeit der Waldfunktion		Abstufung des öffentlichen Interesses an der Waldwirkung nach WEP-V 2012
	nach WEP-V 1977	nach WEP-R 2012	
0	keine	keine	kein spezifische öffentliches Interesse
1	geringere	geringe	öffentliches Interesse
2	mittlere	mittlere	erhöhtes öffentliches Interesse
3	hohe	hohe	besonderes öffentliches Interesse

Der Bewertungsvorgang zur Festlegung der Leitfunktion ist:

1. Für jede Waldfunktion wird eine Kennzahl angegeben, die sich aus den Wertziffern der einzelnen Funktionen in der Reihenfolge Schutz-, Wohlfahrts- und Erholungsfunktion besteht.
2. Die Nutzfunktion wird nicht mehrstufig bewertet. Sie ist dann Leitfunktion, wenn keine der anderen Funktionen die Wertziffer 3 hat.
3. Wenn mehr als eine der anderen Funktionen die Wertziffer 3 hat, dann gilt die Reihenfolge Schutzfunktion (S) vor Wohlfahrtsfunktion (W) vor Erholungsfunktion (E).

Die WEP-Richtlinien¹⁰ modifizieren den Bewertungsvorgang nach der Verordnung. Die Nutzfunktion wird nicht mehrstufig bewertet. Sie ist automatisch die Leitfunktion, wenn keine andere Funktion die Wertziffer 0 hat. Für die Schutz- und die Wohlfahrtsfunktion wird die Wertziffer 0 nicht vergeben.

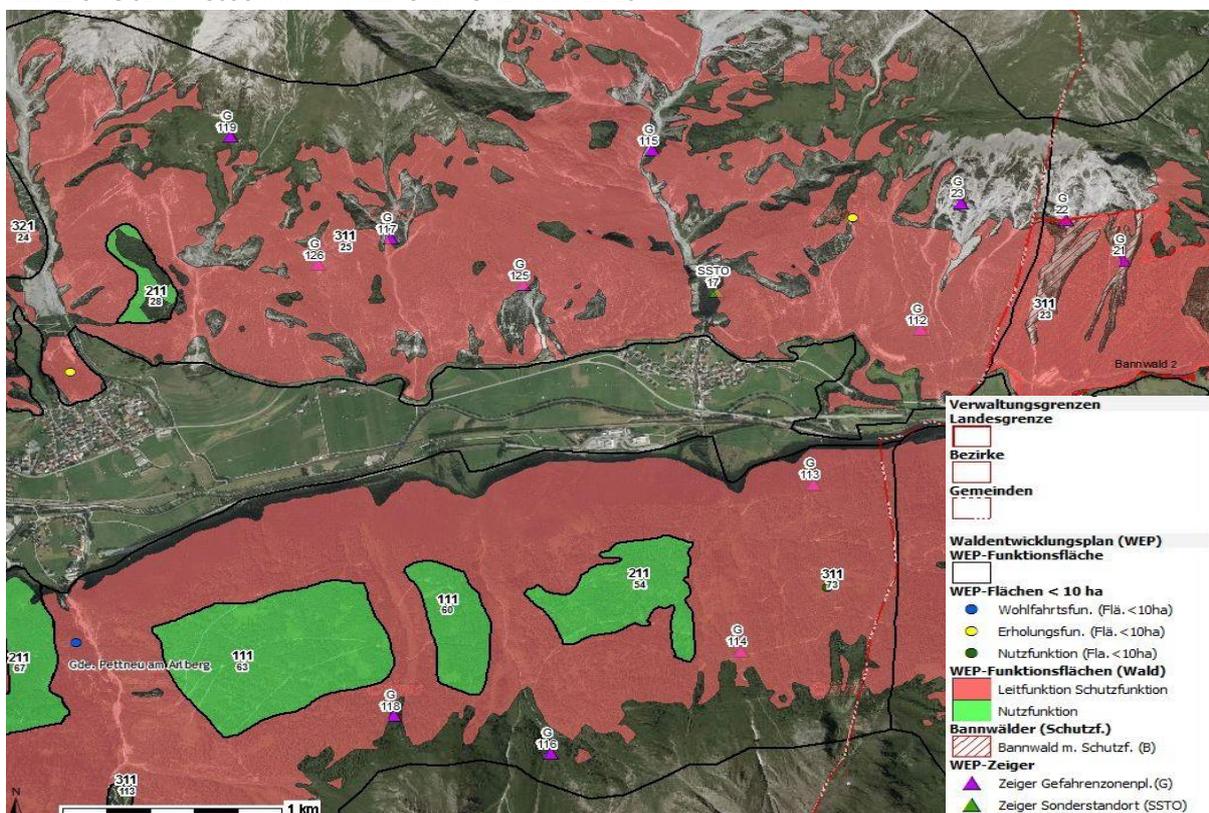
Operationale Kriterien für die Zuordnung der Wertziffern fehlen im Forstgesetz, in der WEP-V und weitestgehend auch in der WEP-Richtlinie. In der Fassung 2006 der WEP-Richtlinie finden sich einige Kriterien für die Bewertung der Standortschutzfunktion und sehr allgemeine gehaltene Kriterien für die Wohlfahrts- und Erholungsfunktion.

¹⁰ Die derzeit gültige WEP-R (2012) ist bis jetzt die dritte Fassung der WEP-R auf Basis des FG 1975.

Als Maßstab für das öffentliche Interesse werden in der [WEP-R \(2012\)](#) die Vermeidung oder Reduktion von Gefahren für Leib und Leben, die volkswirtschaftliche Bedeutung der Waldwirkung und die Besucherfrequenz (des Waldes) angeführt. Nach der Richtlinie ist im Fall eines Waldes mit Objektschutzwirkung (Objektschutzfunktion) der volkswirtschaftliche Wert als fiktive Größe aus der Einsparung technischer Verbauungen heranzuziehen. Genauere Ausführungen zur Bestimmung und Beurteilung dieser Kriterien finden sich nicht. Es handelt sich um Leerformeln. Die Richtlinie lässt immer noch einen "... zu großen Spielraum, um bei einer Waldfläche zu entscheiden, ob sie diese oder jene Funktion von einer bestimmten Wertigkeit hat" ([Krott, 1989](#)).

Bei den ersten analogen und digitalen ([Fürst & Schaffer, 2000](#)) Versionen der Waldfunktionskarte wurde die Waldfläche innerhalb der Funktionsfläche in der Kennfarbe der Leitfunktion dargestellt (**Abbildung 31-1**). Waldflächen mit der Schutzfunktion als Leitfunktion werden in Rot, mit Wohlfahrtsfunktion in Blau, mit Erholungsfunktion in Gelb und mit vorrangiger Nutzfunktion in Grün dargestellt. Die schwarz begrenzten Funktionsflächen sind mit der dreistelligen Kennziffer und darunter mit einer Ordnungsnummer beschriftet. Dafür wurde der Waldlayer der ÖK 50 verwendet. Dieser Waldlayer entspricht jedoch nicht den forstrechtlichen Waldkriterien. Er entspricht auch nicht der Walddefinition der ÖWI. Die ÖK ist eine topographische Symbolkarte zur Orientierung im Raum. Die Walddarstellung ist daher ungenau. Das war, neben anderen Gründen wie erhebliche geometrische und topologische Fehler bei der Digitalisierung der Funktionsflächen, dass die Waldfläche (mit Schutzfunktion) nach dem WEP erheblich von der Waldfläche und der Schutzwaldfläche nach anderen Informationsinstrumenten abweicht. Die entscheidenden Ursachen für die Abweichungen sind aber die geringe Operationalität der Definitionen und nicht aufeinander abgestimmte Informationsinstrumente über die Landnutzung. In der bislang letzten, öffentlich über INSPIRE zugänglichen digitalen Fassung des WEP wurde die Darstellung der Waldfläche (und der Waldfläche mit Schutzfunktion) aufgegeben. Sie enthält nur mehr die Funktionsflächen.

ABBILDUNG 31-1: AUSSCHNITT - WALDFUNKTIONENKARTE DES WEP.



Obwohl das weder im FG, noch in der WEP-Richtlinie oder einer anderen Norm explizit so festgelegt ist, werden in Österreich Waldflächen in einer Funktionsfläche mit der Schutzfunktions-Wertziffer 3 (S3) als Schutzwald, und solche mit S1 nicht als Schutzwald betrachtet. Denn jede Waldfläche hat für die Schutzfunktion mindestens die Wertziffer 1. Sie definiert daher praktisch den "Nullpunkt" der Ordinalskala. Auch vor der Novellierung des FG gab es Wälder mit Objektschutzfunktion für Objekte mit unterschiedlicher Bedeutung. Den Wäldern mit Objektschutzfunktion wurde die Schutzfunktionskennziffer 3, "reinen" Standortschutzwäldern zum Teil die Kennziffer 3, bei flacherem Gelände in tieferen Lagen tendenziell die Ziffer 2 zugewiesen. Der Schutzwald-Status der S2 Flächen ist aber nicht eindeutig geklärt.

Die Einbindung der Objektschutzfunktion nach der Definition des Objektschutzwaldes durch die Novellierung des FG 2002 hat dazu geführt, dass diese Interpretation der Wertziffer nicht mehr möglich ist. Grundsätzlich kann nach der WEP-Richtlinie ein S2-Wald auch ein Wald mit Objektschutzfunktion sein. Theoretisch gilt das auch für einen S1-Wald. Die WEP-Richtlinie schließt nicht explizit aus, dass ein S1-Wald ein Wald mit Objektschutzfunktion sein kann.

3.2 KARTIERUNG UND BEWERTUNG DER SCHUTZFUNKTION NACH DER WEP-RICHTLINIE

Die WEP-Richtlinie verwendet im Wesentlichen die Bestimmungen bzw. Beschreibungen des § 21 FG zur Definition der Schutzfunktionen des Waldes. Es werden jedoch Modifikationen eingeführt, da sich die FG-Bestimmungen nicht zur Definition der Schutzfunktion eignen.

Im Gegensatz zum § 21 des FG schränkt der § 6 FG (Abschnitt forstliche Raumplanung) die Standortschutzfunktion nicht auf den Schutz des eigenen Standorts des Waldes ein. Die Standortschutzfunktion im Sinne der forstlichen Raumplanung entspricht also nur zum Teil der Standortschutzfunktion im Sinne der "Schutzwalddefinition" des FG. Die im § 6 FG beschriebene Bodenschutzfunktion "... Erhaltung der Bodenkraft ..." kann nach der WEP-R sowohl eine direkte und indirekte Objektschutzfunktion als auch eine Standortschutzfunktion sein. Eine Aufteilung ist praktisch unmöglich.

Bei der Darstellung der Aufgaben des Schutzwaldes wird in der Waldfunktionskarte nicht zwischen Objektschutz und Standortschutz differenziert. Der Wald mit Objektschutzfunktion wird nicht kartiert, sondern als Flächenanteil an der Funktionsfläche angegeben. Naturgefahrenprozesse sind lokale Phänomene, die eine Kartierung mit relativ hoher räumlicher Auflösung erfordern würde.

Nach der [WEP-R \(2012\)](#) ergibt sich die als "öffentliches Interesse an der Schutzwirkung des Waldes" umschriebene Bedeutung der Objektschutzfunktion des Waldes aus einer Kombination des "Gefahrenpotenzials" und der "Objektklasse" (OKL). Die Schutzwaldkulisse und ihre Klassifikation wird räumlich von der Lage und Klassifikation der Objekte bestimmt.

TABELLE 32-1: ZUORDNUNGSMATRIX DER SCHUTZFUNKTIONSWERTZIFFER DER OBJEKTSCHUTZWIRKUNG DES WALDES

Gefahrenpotenzial	Objektklasse (vgl. Tabelle 33-1)	Schutzfunktionswertziffer S: Öffentliches Interesse an der Schutzwirkung des Waldes
HOCH 3 Ereignisse mit starker Auswirkung sind möglich	III	3
	II	2 (3 mit Begründung)
	I	2 (1 oder 3 mit Begründung)
MITTEL 2 Ereignis mit schwacher Auswirkung sind möglich	III	2 (3 mit Begründung)
	II	2
	I	1 (2 mit Begründung)
GERING 1 Ereignisse ohne nennenswerte Auswirkung sind möglich	III	1 (2 mit Begründung)
	II	1
	I	1

Nach der WEP-Richtlinie (WEP-R, 2012) ist das Gefahrenpotenzial gravitativer Naturgefahren dreistufig zu bewerten. Die drei Stufen des Gefahrenpotenzials ("hoch", "mittel" und "gering") werden durch das Ausmaß der Auswirkungen möglicher Ereignisse definiert. Es ist also nach der Richtlinie die Intensität potenzieller Ereignisse, nicht jedoch wie bei risikoanalytischen Ansätzen, auch ihre Eintretenswahrscheinlichkeit abzuschätzen.

Die WEP-R enthält nur eine Beschreibung der möglichen Auswirkungen des Gefahrenprozesses in Form der Begriffe "stark", "schwach" und "nicht nennenswert". Eine operationale Definition der drei Klassen des Gefahrenpotenzials fehlt. Die WEP-R führt nur Indikatoren für Bodenrutschungen und die Standortschutzfunktion an. Sie enthält keine genaueren Kriterien zur Bestimmung des Gefahrenpotenzials (der Prozesswahrscheinlichkeit, -intensität und potenziellen Prozessräume) gravitativer Naturgefahren wie von z. B. Schneelawinen, obwohl auch dieses Gefahrenpotenzial dreistufig zu bewerten ist. Es gibt nur einen Hinweis auf die Prozessdefinitionen in der "Technischen Richtlinien für die Wildbach- und Lawinenverbauung" (TR-WLV, 2011). Die Problematik der Festlegung von Kriterien und Grenzwerten des Gefahrenpotenzials wird damit umgangen. Diese Vorgangsweise ist nur dann zweckmäßig, wenn keine Differenzierung der Schutzfunktion nach Gefahrenarten erfolgt. Bei einer Differenzierung müssen räumlich definierbare Grenzwerte für die Möglichkeit, dass der Naturgefahrenprozess stattfindet, definiert werden. Das Auftreten von Schneelawinen ist z. B. an bestimmte Schneehöhen gebunden, die es in bestimmten Gebieten nicht oder nur sehr selten gibt.

Die vom Wald zu schützenden Flächen (die Objekte) werden in der WEP-Richtlinie (WEP-R, 2012) in drei OKLs zusammengefasst und kategorisch aufgezählt. Die OKL ist eine Definition und Bewertung von Schutzzielen. Sie drückt nach der WEP-Richtlinie das öffentlich Interesse an der Sicherheit (Erhaltung und Nutzung) des Objektes aus.

Aus dem Gefahrenpotenzial und der OKL (der Schutzwürdigkeit) ergibt sich die ordinale Schutzfunktionswertziffer (S) 3 (hoch), 2 (mittel) oder 1 (gering). Die WEP-Richtlinie ist dabei begrifflich nicht konsistent. Sie bezeichnet sowohl die OKL (WEP-R, 2012, Tabelle auf den Seiten 21 bis 22) als auch die Schutzfunktionswertziffer (WEP-R, 2012, Tabelle auf Seite 28) als eine Bewertung des "öffentlichen Interesses an der Schutzwirkung des Waldes". Tatsächlich stellt die OKL eine Art Bewertung der "Schadenskosten" oder der "Schutzwürdigkeit" der aufgezählten Objekttypen im Sinne von Schutzzielen und nicht eine Bewertung des öffentlichen Interesses an der Schutzwirkung des Waldes dar. Das "öffentliche Interesse" ergibt sich nach der Logik der WEP-R erst bei Berücksichtigung des Gefahrenpotenzials in Form der Schutzfunktionswertziffer.

Die Schutzfunktionswertziffer soll ausdrücken, inwieweit die Schutzwirkung des Waldes für die Gesellschaft von Bedeutung ist. Risikoanalytisch betrachtet, handelt es sich bei der Wertziffer um eine einfache, ordinale Bewertung des Schadenspotenzials, das sich einerseits aus der soziökonomischen Bedeutung der Objekte und andererseits aus der Intensität (mit "starker, schwacher oder ohne nennenswerte Auswirkung"), nicht jedoch aus der Eintrittswahrscheinlichkeit möglicher Naturgefahren-Prozesse ergibt. Die technische Vulnerabilität der Objekte kann dabei zwangsläufig nicht berücksichtigt werden, da sie sich innerhalb der Objekttypen von Objekt zu Objekt stark unterscheiden kann.

3.3 OBJEKTCLASSIFIKATION NACH DER WEP-RICHTLINIE

Tabelle 33-1 enthält die vom Wald zu schützenden, Objekte (Objektkategorien) und ihre Klassifikation (die Objektklassifikation) nach dem öffentlichen Interesse an der Schutzwirkung des Waldes gemäß WEP-Richtlinie (WEP-R, 2012).

TABELLE 33-1: OBJEKTCLASSEN UND OBJEKTKATEGORIEN NACH DER WEP-RICHTLINIE.

Objektklasse	Öffentliches Interesse an der Schutzwirkung des Waldes (Schutzfunktionsrelevanz):
III	<p>Besonderes öffentliches Interesse besteht, wenn es sich um folgende Objekte handelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • öffentliche Straßen (Autobahnen, Schnell-, Bundes-, Landes- und Gemeindestraßen, regelmäßig frequentierte Privatstraßen, die nicht gesperrt werden können) • Haupt- und Nebenbahnen • Siedlungen, Orte, Weiler, Einzelgebäude (ständig oder zeitweise bewohnt) • Industriegebäude • Gewerbliche Objekte • Zweit- und Ferienwohnsitze • Klöster, Schlösser, Kasernen • Kirchen und sonstige Kulturdenkmäler • Campingplätze • Sport- und Freizeitanlagen in Gebäuden (Sauna, Turnsaal, Fitnessräume, etc.) • Liftstationen und dazugehörige Betriebsgelände • vergleichbare Objekte – eine spezielle Begründung ist ins Formblatt einzutragen
II	<p>Erhöhtes öffentliches Interesse besteht, wenn es sich um folgende Objekte handelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • stark frequentierte Wanderwege mit Einrichtungen, Schrebergartenhütten in Kleingärten • abgeschrankte Privatstraßen, Güterwege, Forststraßen • Schipisten, Promenaden, Radwege • Stromleitungen inkl. Masten, Flugsicherheitseinrichtungen • Umspannungsstationen, Kleinkraftwerke • Kläranlagen, Tiefgaragen, kleinflächige Sport- und Freizeitanlagen im Freien • militärische Anlagen • Almgebäude • oberirdische Trinkwasserversorgungsanlagen (ausgenommen Hausbrunnen) • vergleichbare Objekte – eine spezielle Begründung ist ins Formblatt einzutragen
I	<p>Öffentliches Interesse besteht, wenn es sich um folgende Objekte handelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Materialeilbahnen • Jagdhütten, Arbeiterunterkünfte, etc. • Telefonleitungen, Handymasten, Stromleitungen für Kleinabnehmer • landwirtschaftliche Intensivflächen (z.B. Gemüse, Obst, Wein), Äcker, Wiesen • Forstgärten, Samenplantagen, Christbaumkulturen, Weiden • Bauland (gewidmet, unbebaut) • vergleichbare Objekte – eine spezielle Begründung ist ins Formblatt einzutragen

Die Schutzwaldklassifikation nach der WEP-Richtlinie ist eine stark vereinfachte Form der Risikobewertung. Die Objektklassifikation wurde im Projekt GRAVIPROFOR in Bezug auf vier Informationskriterien (Sekot & Schwarzbauer, 1995) analysiert (Perzl et al., 2014 c): (1) Operationalität der Kategorisierung, (2) Konsistenz der Bewertung und Validität der Aussage über das Risiko, (3) Planungsrelevanz sowie (4) Verfügbarkeit von Geodaten zur Umsetzung einer digitalen Kartierung der Objektklassen. Die Analyse, Details sind (Perzl et al., 2014 c) zu entnehmen, kommt zu folgendem Ergebnis:

Die Objektklassen und -kategorien der WEP-Richtlinie sind abgesehen von der generell sehr schwierigen Definition und Begründung von "öffentlichem Interesse" als Grundlage für die Schutzwaldklassifikation und die digitale Darstellung des vom Wald zu schützenden Raums aus zwei Gründen problematisch:

- Die Definition der Objekte und ihre Klassifikation sind zum Teil nicht eindeutig und aus risikoanalytischer Sicht nicht zweckmäßig, heterogen und widersprüchlich.
- Mit den derzeit digital verfügbaren Datengrundlagen kann die Objektkategorie und damit die Objektklasse nicht überall zuverlässig bestimmt werden.

In **Tabelle 33-1** sind die Objektkategorien in Fettschrift markiert, die nach der Analyse für Lawinen und Steinschlag nicht zweckmäßig klassifiziert sind. Das betrifft vor allem Objekte der Objektklassen I und II, aber auch Objekte der OKL III.

Die Beurteilungslogik des WEP nach **Tabelle 32-1** führt dazu, dass bei hohem Gefahrenpotenzial Objekte von untergeordneter Bedeutung mit relativ geringen Schadensfolgen bzw. geringer Präsenzwahrscheinlichkeit von Personen wie Forststraßen und Güterwege (OKL II) sowie Wiesen und Weiden (OKL I) die selbe Schutzfunktionsziffer erhalten wie z. B. ein Wohngebäude im Dauersiedlungsraum OKL (III) bei mittlerem Gefahrenpotenzial. Es besteht jedoch auch bei Ereignissen von "mittlerer" Intensität keine Verhältnismäßigkeit der möglichen Schadensfolgen von Naturgefahren an Wohngebäuden und an Wiesen. Die Einschätzung der Ereignisintensität (das Gefahrenpotenzial) ist grundsätzlich mit einer größeren Unsicherheit behaftet als die OKL. Daher sollte sich die Bewertung stärker an der OKL orientieren.

Besonders problematisch ist die Zuordnung von Forststraßen sowie Güter- und Wanderwegen zur OKL II. Forststraßen sind nach dem österreichischen FG Waldflächen. In alpinen Regionen mit hoher Reliefenergie und bei der relativ hohen Straßendichte in Österreich führt das dazu, dass praktisch jeder Wald mit einem Gefahrenpotenzial zum Wald mit Objektschutzfunktion der Wertziffer S2 wird. Forststraßen im engeren Sinne (in der Definition nach dem FG) dienen nur der Waldbewirtschaftung bzw. Holznutzung und sind nicht für den öffentlichen Verkehr bestimmt. Sie sind daher in Bezug auf das Risiko (von Personenschäden) mit den Objekten der OKL I vergleichbar. Aus risikoanalytischer Sicht ist es sinnvoller Forststraßen (mit reiner Holzbringungsfunktion) und Güterwege (Feldwege), die ausschließlich als Zufahrten zu landwirtschaftlichen Kulturen dienen, sowie Wanderwege nicht als zu schützende Objekte zu behandeln, oder ihnen höchstens die OKL I zuzuordnen. Alpine Wanderwege sollten grundsätzlich nicht als zu schützende Objekte definiert werden, da ihnen nach der etablierten Rechtsprechung der Status von freiem Gelände zukommt. Es ist jedoch mit den derzeit verfügbaren österreichischen Geodaten – ohne massive und aufwändige Bearbeitung – nicht zuverlässig möglich reine Forststraßen und Feldwege vom Straßennetz mit Erschließungsfunktion für Siedlungen und Arbeitsstätten zu trennen.

Die OKL vernachlässigt einen entscheidenden Aspekt der Raumplanung – die Aktualität der Raumplanung im Verhältnis zur Dynamik der Raumnutzung. Das gewidmete Bauland als Interessensgebiet der Raumnutzung für Siedlungszwecke wird niedriger eingestuft als Anlagen im freien alpinen Raum wie Wanderwege. Auf Bauland werden jedoch laufend zwischen den Revisionszeitpunkten des WEP Gebäude und Anlagen errichtet. Und die waldpauliche Planung erfordert langfristige Ziele. Damit widerspricht die OKL dem gesetzlichen Auftrag der forstlichen Raumplanung zur "... vorausschauenden Planung ..." (§ 6 Abs. 1 FG, 2000). Die Aktualität der Geodaten erlaubt es nicht zuverlässig festzustellen, ob Bauland bereits bebaut ist.

Die Objektkategorien sind nicht auf die GDI und die Praxis der Geodatenerstellung ausgerichtet. Eine Definition von OKL ist nur nach risikoanalytischen Gesichtspunkten unter Berücksichtigung der vorhandenen und künftigen (im Aufbau befindlichen) GDI sinnvoll.

3.4 SCHUTZFUNKTION DES WALDES UND SCHUTZBAUTEN

Der Umgang mit Schutzbauten, vor allem mit dem direkten technischen Objektschutz, z. B. durch eine Lawinengalerie, im Rahmen der WFK ist nicht einheitlich und klar geregelt (Perzl et al., 2011). Hat auch dann der Wald eine direkte Schutzfunktion, wenn ein großer Damm am Fuß eines bewaldeten Steilhangs den Ort ausreichend vor Naturgefahren schützt? Und sind Schutzbauten selbst zu schützende Objekte?

In der WEP-Richtlinie (WEP-R, 2012) finden sich dazu keine Bestimmungen. Die GZP-Richtlinie (GZP-R, 2011) sieht die Berücksichtigung von schutzwirksamen Wald und von permanenten Schutzbauten, sowie von direkten Objektschutzmaßnahmen bei der Ausweisung von aktuellen Gefahrenzonen vor. Es gibt aber keine Ausführungen zur Bemessung der Schutzwirkung des Waldes, sowie zur Bemessung der kombinierten Schutzwirkung von Wald und Schutzbauten.

Weiss (2003) argumentiert in Bezug auf den GZP, dass die Reduktion von Gefahren durch technische Maßnahmen nicht zur Verkleinerung von Gefahrenzonen führen sollte, da ein Restrisiko verbleibt. Außerdem sollen nach Weiss (2003) Schutzmaßnahmen die Sicherheit (der bestehenden Objekte) erhöhen, aber nicht den Flächenverbrauch (die Ausweisung von Bauland) und die Bauwirtschaft fördern bzw. subventionieren. Aus dieser Sicht dürfen also Schutzbauten das ausgewiesene Gefahrenpotenzial nicht einschränken. Bohner et al. (2009) fordern, dass im Gefahrenbereich von Lawinen keine Gebäude und Anlagen errichtet werden dürfen, damit keine Lawinenverbauungen errichtet werden müssen. Sie vermindern nach Bohner et al. (2009) langfristig die Biodiversität in den Lawinenzügen. Eine Ausnahme wäre nach Bohner et al. (2009) die Errichtung von Anlagen, die durch Galerien, Dämme und temporäre Maßnahmen vor Schäden bewahrt werden können. Diese Argumentation spricht indirekt dafür, keine Gefahrenpotenziale aus dem Wald (also keine Objektschutzfunktion des Waldes, sondern eine "Habitatfunktion") auszuweisen, wenn technischen Anlagen vorhanden sind, die Schutzwirkungen des Waldes ersetzen. Schutzwirksame Maßnahmen außerhalb des Waldes sollen also die Schutzfunktion des Waldes ersetzen. Die Sicht auf die Fragestellung ist offensichtlich von den jeweiligen Interessen abhängig. Nach Brang et al. (2006) kann der zusätzliche Schutzeffekt des Waldes wichtig sein, auch wenn Schutzbauten vorhanden sind.

Es ist notwendig und zweckmäßig bestimmte Schutzbauten, z. B. Schutzdämme, bei der Abgrenzung des Gefahrenpotenzials für die Kartierung (Modellierung) von Wald mit direkter Schutzwirkung zu berücksichtigen. Solche Schutzbauten sind sehr stabil. Sie sind Teil des Geländes geworden und werden nur sehr selten zerstört oder abgebaut. Es ist bei der Modellierung des Gefahrenpotenzials nur schwer möglich, das ursprüngliche Terrain zu rekonstruieren. Schutzbauten werden jedoch bei GRAVIPROFOR selbst nicht als zu schützende Objekte behandelt. Das würde erfordern, dass auch der Wald selbst als zu schützendes und nicht als schützendes Element behandelt wird. Schäden an Schutzbauten und Wald durch Naturgefahren verursachen Kosten. Diese Kosten in eine Bewertung der potenziellen Schäden durch Naturgefahren eingehen zu lassen, ist jedoch nicht zweckmäßig. Es ist die Aufgabe von Schutzmaßnahmen die Einwirkung von Naturgefahrenprozessen abzufangen. Mit der Zuordnung dieser Aufgabe ist zwangsläufig in Kauf zu nehmen, dass diese Schutzelemente auch beschädigt werden.

4. GRAVIPROFOR SCHUTZWALDKLASSIFIKATION

Die Einteilung des Schutzwalds im österreichischen FG in Wald mit Objektschutzfunktion und Wald mit Standortschutzfunktion ist in Bezug auf die Definition von Funktionsflächen zum Schutz vor gravitativen Naturgefahren (einschließlich der Prozessketten Abflussbildung – Hochwasser – Mure) nicht optimal. Im Kern geht es bei der Definition im FG nicht um die Frage wo die Waldbewirtschaftung welche Schutzfunktion für die Gesellschaft erfüllen soll, sondern darum, wer die Kosten für die Bewirtschaftung zu tragen hat. Welche indirekten Schutzfunktionen unter welchen Bedingungen auch eine Objektschutzfunktion begründen, lässt das FG weitestgehend offen. Der Gesetzestext und die daraus abgeleiteten Richtlinien schliessen indirekte Wirkungen nicht explizit aus. Der Status der Wälder in den Wildbacheinzugsgebieten ist nicht geklärt (Agerer & Ziegner, 2003). Auch die WEP-R lässt entscheidende Aspekte der Schutzfunktionserfassung offen.

GRAVIPROFOR geht von der Klassifikation der Schutzfunktionen des Waldes gegen gravitative Naturgefahren nach **Tabelle 4-1** aus.

TABELLE 4-1: GRAVIPROFOR SCHUTZWALDKLASSIFIKATION.

Schutzfunktion	Gefahrenprozesse: <i>indirekt wirksam auf</i>	Schutzobjekt und Schutzziel	Methodik der Funktionserfassung
Bodenschutzfunktion	Bodendegradation und – erosion durch Wasser, Schnee, Wind, Klima <i>Gebietsschutzwirkungen</i> <i>direkte Objektschutzwirkungen</i>	Boden: Erhaltung und Verbesserung der Wirkungskapazitäten und Wirkungen des Bodens	Kartierung von Bodenpotenzialen und -gefährdungen
Gebietsschutzfunktionen			
Retentionsfunktion	Abflussbildung und - konzentration (Hochwasser) <i>Bodenrutschungen und Hangmuren</i> <i>fluviatiler Feststofftransport</i> <i>Muren</i>	Siedlungen und Anlagen: Verminderung des Risikos von Schäden durch Überflutung, Bodenrutschung, fluviatilen Feststoff- transport, Mure oder Schwemmholz	Kartierung hydrolo- gischer Regulations- kapazitäten des Bodens
Murschutzfunktion	fluviatiler Feststofftransport Muren		Kartierung von potenziellen Geschiebe- und Wildholzquellen an murfähigen Gerinneabschnitten
direkte Objektschutzfunktionen			
Lawinenschutzfunktion	Schneelawine <i>Bodenerosion</i> <i>Block- und Steinschlag</i> <i>Bodenrutschung und Hangmure</i> <i>fluviatiler Feststofftransport</i> <i>Muren</i>	Siedlungen und Anlagen: Verminderung des Risikos von Schäden durch Schneerutsche oder Schneelawinen	Kartierung von Prozesszonen mit Schadenspotenzial durch Schnee- rutsche oder - lawinen (Baumsturz)
Steinschlagschutzfunktion	Block- und Steinschlag <i>fluviatiler Feststofftransport</i> <i>Muren</i>	Siedlungen und Anlagen: Verminderung des Risikos von Schäden durch Block- oder Stein- schlag	Kartierung von Prozesszonen mit Schadenspotenzial durch Block-/Stein- schlag (Baumsturz)
Rutschungsschutzfunktion	Fels-/Bodenrutschung und Hangmure <i>fluviatiler Feststofftransport</i> <i>Muren</i>	Siedlungen und Anlagen: Verminderung des Risikos von Schäden durch Fels-/Boden- rutschungen oder Hang- muren	Kartierung von Prozesszonen mit Schadenspotenzial durch Boden- rutsche (Baumsturz)

Die Standortschutzfunktion nach § 6 und § 21 (FG, 2002) ist im Kern eine Bodenschutzfunktion. Die Bodenschutzfunktion des Waldes nach § 6 ist nicht wie der Standortschutz nach § 21 auf Waldböden (Waldstandorte) beschränkt. Ein entsprechender Verweis fehlt im FG.

Die (hydrologische) Gebietsschutzfunktion ist die Aufgabe des Waldes durch einen möglichst günstigen Einfluss auf die Wirkungskette "Flächenabfluss – Gerinneabfluss – Rutschung und Erosion (Geschiebeeintrag in Gerinne)" einschließlich minimaler Wild-/Schwemmholtbildung und Schäden durch Überflutungen, Vermurungen und Rutschungen zu vermindern. Es handelt sich um eine indirekte Objektschutzfunktion, die nur bedingt durch die Kartierung bzw. Modellierung von Schadenspotenzialen nachweisbar ist.

Bei direkter Objektschutz- und bei Murschutzfunktion besteht auch eine Bodenschutzfunktion, da "abtragende Kräfte" wirksam sind. Das ist nicht automatisch bei der Retentionsfunktion der Fall.

Zu den direkten Objektschutzfunktionen, die über die Modellierung von Prozesszonen mit Schadenspotenzial räumlich definierbar sind, zählen die Aufgaben des Waldes vor der Wirkung von Schneelawinen, Steinschlag und Bodenrutschung (und damit verbundenen Baumstürzen) zu schützen.

Eine Waldfläche hat unabhängig von der Bestockung dann eine direkte Schutzfunktion vor Naturgefahren, wenn dort potenziell (ohne Schutzwirkung der Bestockung und von künstlichen Schutzmaßnahmen) eine Naturgefahr ausgelöst oder durch den Wald vermindert werden könnte, und dieser Prozess ein zu schützendes Objekt auch erreichen könnte (Perzl et al., 2011).

Die Kartierung des Waldes mit Objektschutzwirkung erfordert den Einsatz von Modellen, mit denen der potenzielle Prozessraum von Naturgefahren bestimmt, und die Verbindung von Gefahrenquelle und zu schützendem Raum hergestellt werden kann. Derartige Modelle sind bisher bei der SWK in Österreich nicht oder nur bei räumlich begrenzten Pilotprojekten zum Einsatz gekommen. International wird die Ausweisung von Schutzwald durch räumliche Modellierung (spatial modelling) zum methodisch anerkannten Standard. Bislang hat nur die Schweiz einen solchen Ansatz vollständig und flächendeckend umgesetzt (SilvaProtect-CH¹¹). Die in einigen Alpenländern (z. B. in Bayern, Südtirol) durchgeführten bzw. laufenden Modellierungen zur Erstellung von Gefahrenhinweiskarten dienen jedoch auch diesem Zweck.

Die Möglichkeiten der Modellierung von Wald mit Objektschutzfunktion werden aber noch durch die Daten- und Modellverfügbarkeit beschränkt. Die in Österreich verfügbaren Geodaten erlauben es noch nicht alle Naturgefahrenprozesse zu berücksichtigen. Die Erstellung der erforderlichen Grundlagendaten ist zeit- und kostenintensiv. Zur Bestimmung der potenziellen Reichweite der Prozesse gibt es viele Modelle mit unterschiedlichen Anforderungen. Die beschränkenden Faktoren für den Einsatz der Modelle sind die verfügbaren Eingangsdaten sowie der finanzielle und zeitliche Aufwand.

Die derzeitige Datenlage in Österreich, der Stand des Wissens und die GRAVIPROFOR Projektressourcen ermöglichen die Modellierung des Gefahren- und Schadenpotenzials von Schneelawine und Steinschlag mit bedingter Zuverlässigkeit für Zwecke der forstlichen Raumplanung. Dazu musste das Klassifikationsschema der WEP-Richtlinie gemäß **Tabelle 32-1** und die Objektklassifikation gemäß **Tabelle 33-1** modifiziert werden.

¹¹ Das Projekt SilvaProtect-CH (vgl. Losey & Wehrli, 2013): Ziel/Ergebnis: Modellierung des Schutzwaldes der Schweiz; Bearbeitungsfläche: 41285 km²; Projektlaufzeit (Phase I und II): 2004 – 2011. Der Abschluss der Schutzwaldfestlegung (Endbericht) erfolgte im Februar 2013 (9 Jahre Gesamtlaufzeit).

Tabelle 4-2 enthält das modifizierte WEP-Klassifikationsschema. Die Klassifikation der Prozesszonen mit Schadenspotenzial bzw. der Waldfläche nach dem GRAVIPROFOR Waldlayer wurde jeweils für die Lawinen- und die Steinschlagschutzfunktion durchgeführt.

TABELLE 4-2: MODIFIZIERTES WEP-KLASSIFIKATIONSSHEMA DER SCHUTZFUNKTION.

Gefahrenpotenzial (prozessspezifisch)	Objektklasse (vgl. Tabelle 4-3)	Schutzfunktionswertziffer S: Öffentliches Interesse an der Schutzwirkung des Waldes
HOCH 3 Große Gefahren-Grunddisposition und/oder starke potenzielle Prozessintensität	3	3
	2	3
	1	1
MITTEL 2 Mittlere Gefahren-Grunddisposition und/oder mittlere potenzielle Prozessintensität	3	3
	2	2
	1	1
GERING 1 Geringe Gefahren-Grunddisposition und/oder geringe potenzielle Prozessintensität	3	2
	2	2
	1	1
SEHR GERING 0 Sehr geringe Gefahren-Grunddisposition	3	0
	2	0
	1	0

Die Objektklassifikation nach GRAVIPROFOR ist keine unmittelbare Bewertung "des öffentlichen Interesses an der Schutzwirkung des Waldes". Sie orientiert sich an der WEP-Richtlinie, drückt aber primär eine Rangfolge der Notwendigkeit der Überprüfung des Gefahren- und Schadenpotenzials sowie der Schutzwirkung des Waldes vor Ort aus (**Tabelle 4-3**).

Die OKL werden aus technischen Gründen in den Geodaten nicht wie in der WEP-Richtlinie mit römischen, sondern mit arabischen Ziffern gekennzeichnet. Objekte, die im Rahmen von GRAVIPROFOR nicht als vom Wald zu schützende Flächen behandelt werden, erhalten die OKL 0.

TABELLE 4-3: KLASSIFIKATION DER SCHUTZWÜRDIGKEIT VON OBJEKTEN NACH DEM WEP UND DIE STRATEGISCHE MASSNAHMENDRINGLICHKEIT AUFGRUND VON SCHUTZINTERESSEN NACH GRAVIPROFOR.

Objektklasse nach		Beschreibung	
WEP	GRAVIPROFOR	nach WEP	nach GRAVIPROFOR
III	3	Es besteht besonderes öffentliches Interesse an der Schutzwirkung des Waldes.	Eine Überprüfung des Gefahren- und Schadenspotenzials von Schneelawinen und Steinschlag aus dem Wald ist vordringlich.
II	2	Es besteht erhöhtes öffentliches Interesse an der Schutzwirkung des Waldes.	Eine Überprüfung des Gefahren- und Schadenspotenzials von Schneelawinen und Steinschlag aus dem Wald ist dringlich.
I	1	Es besteht öffentliches Interesse an der Schutzwirkung des Waldes.	Eine Überprüfung des Gefahren- und Schadenspotenzials von Schneelawinen und Steinschlag aus dem Wald ist nachrangig.
---	0	---	Es erfolgt keine Berücksichtigung bei der Überprüfung des Gefahren- und Schadenspotenzials von Schneelawinen und Steinschlag aus dem Wald.

Die Zuordnung von Entitätstypen nach der verfügbaren GDI wird im Teilbericht "Methodik - Datengrundlagen" (Perzl et al., 2014 c) beschrieben. In **Kapitel 5.3** dieses Berichts werden die Erfassungsstufen der Objekte und die Ergebnisse der Objektklassifikation beschrieben. Die Methodik der Erfassung der Gefahrenpotenziale ist detailliert in den Teilberichten "Methodik - Prozessmodellierung Schneelawine" (Perzl et al., 2014 a) und "Methodik - Prozessmodellierung Steinschlag" (Perzl et al., 2014 b) enthalten.

5. ERGEBNISSE DER AUFBEREITUNG DER DATENGRUNDLAGEN

Zur Modellierung des Waldes mit direkter Objektschutzwirkung mussten folgende Geodaten im Rasterformat aus vorhandenen Geodaten erstellt werden (Perzl et al., 2014 c):

- ein digitales Geländemodell (DGM) von Österreich
- eine digitale Darstellung der Waldfläche Österreichs (der Waldlayer)
- eine digitale Darstellung der vom Wald zu schützenden Flächen (die Objektlayer).

Hinzu kommen naturgefahrenspezifische Geodaten, die am BFW vorhanden sind. Sie werden in den Detailberichten zu den Lawinen- und Steinschlag-Prozessmodellen beschrieben:

- Schneehöhenmodelle
- Naturgefahren-Ereignisdokumentationen (Kalibrierungsdaten).

5.1 DIGITALES GELÄNDEMODELL

Ein digitales Geländemodell (DGM) ist die wichtigste Grundlage der Modellierung von Naturgefahrenprozessen. Das Ergebnis der Modellierung ist stark von der Qualität des DGM und seiner räumlichen Auflösung abhängig. Entscheidend ist vor allem eine gute Abbildung der Hangneigung und von Bruchkanten des Geländes. Die Auflösung des DGM bestimmt auch den Rechenaufwand.

Die Bundesländer haben in den vergangenen Jahren hochgenaue Gelände- und Oberflächen-Höhenmodelle durch Airborne Laserscanning (ALS) erstellen lassen. Diese hochgenauen Modelle erfüllen die Anforderungen der Naturgefahren-Prozessmodellierung. Sie beschreiben die reale Geländeoberflächen mit wesentlich höherer Genauigkeit als alle anderen in der Vergangenheit verwendeten topographischen Datengrundlagen (Maukisch et al. 1996, Schmidt et al. 2003 und 2005, zit. aus Perzl et al., 2014 c). Einige Bundesländer stellen diese Höhenmodelle im Rahmen der OGD-Initiative mit einer Auflösung von 10 m bereits frei zur Verfügung.

Die Laserscanmodelle der Bundesländer wurden um 2013 vom BMLFUW von den Bundesländern angekauft und standen zum Teil über das LFRZ oder direkt über die Bundesländer (in 10 m Auflösung, zum Teil via OGD) für GRAVIPROFOR zur Verfügung. Die Datenlieferung des LFRZ an das BFW erfolgte über das Institut für Waldinventur des BFW. Die letzten Teile des ALS-DGM wurden im Juli 2014 geliefert.

Es gab jedoch zu Beginn des Projekts GRAVIPROFOR noch kein für ganz Österreich generiertes Modell.

Das LFRZ begann 2013 fast gleichzeitig mit dem Start von GRAVIPROFOR ein österreichweites DGM mit einer Auflösung von 1 x 1 Meter aus den ALS-Daten zu generieren (Tinkl, 2013). Dieses Modell sollte nach Auskunft des LFRZ Ende des 1. Quartales 2014 zur Verfügung stehen. Ende März 2014 erhielt das GRAVIPROFOR-Projektteam die Information vom LFRZ, dass das österreichweite DGM kurz vor der Fertigstellung ist. Der Zeitraum wurde mit noch etwa drei bis vier Wochen angegeben. Allerdings war laut Auskunft des LFRZ mit relativ langen Lieferfristen zu rechnen. Da für die Modellierung der Schutzwaldkulisse ein österreichweites DGM binnen kurzer Zeit erforderlich war, wurde entschieden aus den bereits via OGD vorhandenen, von den Bundesländern bereits

gelieferten und fortlaufenden Lieferungen ein DGM mit einer räumliche Auflösung von 10 m zu generieren.

Die verfügbaren bzw. gelieferten ALS-DGM Daten decken das Bundesgebiet nicht vollständig ab. Die fehlenden Bereiche, Bereiche mit beschädigten ALS-DGM Modellen und Bereiche mit fehlenden Pixelwerten wurden mit dem DGM10 des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BEV) ergänzt. Diese Bereiche waren sehr kleinflächig und machen ohne Wien rund 0,03 % und mit Wien 0,4 % der Fläche aus. Für das Bundesland Wien, mit Ausnahme von den Bereichen, die vom niederösterreichischen Modell abgedeckt sind, wurde das DGM-10 des BEV verwendet.

Nährer Details über die Erstellung des DGM können dem Teilbericht "Methodik - Datengrundlagen" ([Perzl et al., 2014 c](#)) entnommen werden.

5.2 WALDLAYER

Nach der Schutzwalddefinition (Kapitel 2) ist ein Schutzwald ein Wald. Das ist die primäre Voraussetzung dafür, dass eine Fläche als Schutzwald oder "Schutzwaldkulisse" definiert werden kann. Es gibt ein allgemeines Grundverständnis darüber, was ein Wald ist. Forstrechtlich können jedoch "Flächen mit Bäumen" kein Wald und "Flächen ohne Bäume" Wald sein. Im Detail gibt es erhebliche Unterschiede der Walddefinition und der Genauigkeit der Walderhebung je nach Land, Institution, Programm, Zweck, Fachgebiet und Methodik der Walderfassung. Dadurch können mehrere verschiedene Angaben zur Waldfläche eines Landes vorliegen.

Die Modellierung der Schutzwaldkulisse erforderte eine geometrisch und thematisch einheitlich erstellte Waldkarte Österreichs. Es gibt grundsätzlich zwei Arten von Waldkarten:

- Waldnutzungskarten (land use maps)
- Waldbedeckungskarten (land cover maps).

Waldnutzungskarten stellen die Fläche dar, die nach den forstrechtlichen Bestimmungen oder nach einer anderen, auf die forstliche Nutzung (Holzproduktion) oder auch auf sonstige Funktionen des Waldes ausgerichtete Definition als Waldfläche gelten. Forstrechtliche Waldkarten definieren den Gültigkeitsraum des Forstrechts und die Zuständigkeit der für den Wald verantwortlichen Behörden. Publizierten Waldkarten haben aber meist keine unmittelbare Rechtsgültigkeit.

Wenn auf einer Waldfläche Bäume im Rahmen der Holznutzung entfernt (Blöße, Schlag), oder durch die Einwirkung z. B. einer Lawine natürlich zerstört und abtransportiert wurden, dann handelt es sich (nach forstrechtlicher Definition) in einer Waldnutzungskarte dennoch um eine Waldfläche.

In einer Waldbedeckungskarte wird – je nach Definition – eine unbestockte Fläche nicht als Wald ausgewiesen. Waldbedeckungskarten stellen die Fläche dar, die von (forstlichen) Gehölzen in einem bestimmten, definierten Ausmaß bedeckt sind. Forstliche Gehölze sind jene Sträucher und Bäume, die auf einer Fläche vorhanden oder in einem bestimmten Zeitraum vorhanden gewesen sein müssen, damit nach den (forstrechtlichen) Bestimmungen eine Fläche ein Wald (im forstrechtlichen Sinn) ist. Das Ausmaß der Bedeckung wird meist über die (mittlere) Höhe und den sogenannten Übershirmungsgrad (den Anteil der Summe der einfachen, projizierten Kronenschirmfläche and der projizierten Bodenoberfläche) ausgedrückt.

Mit den automatischen Klassifikationsverfahren der Fernerkundung können nur, wenn auch schon in hoher Qualität, Waldbedeckungskarten erzeugt werden. Auch aus ALS-Oberflächenmodellen erzeugte Waldkarten sind Waldbedeckungskarten, aber keine Waldnutzungskarten. Solche

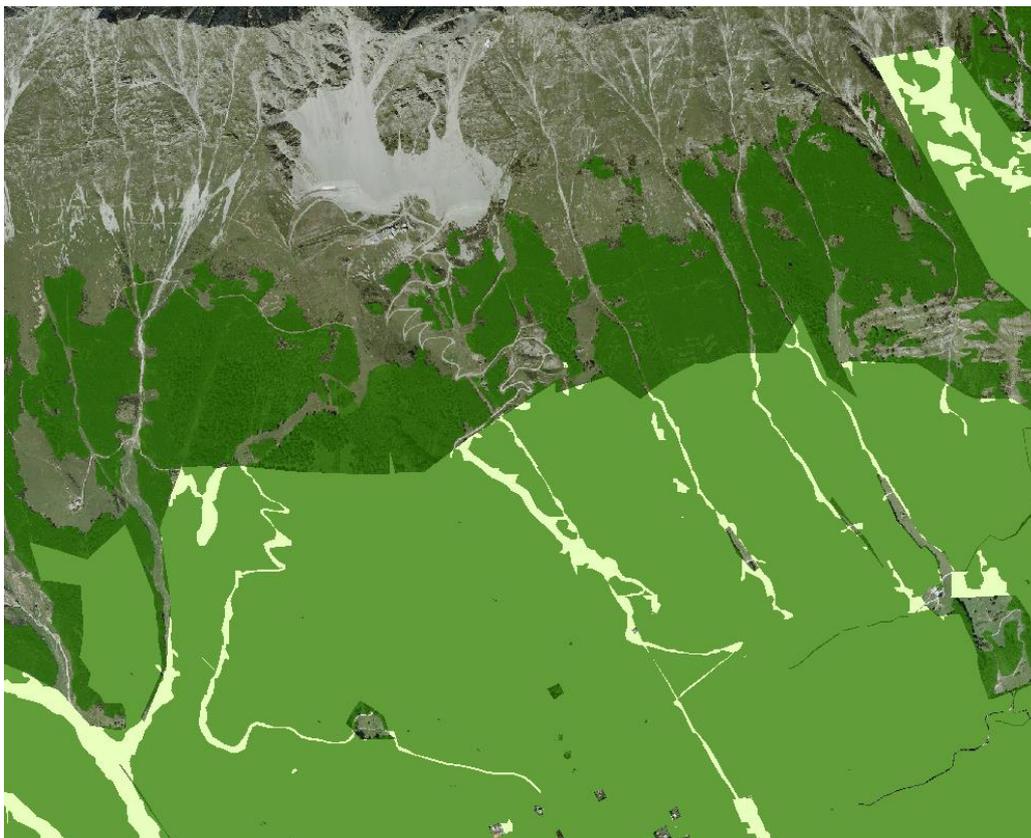
Waldbedeckungskarten können jedoch eine effiziente Grundlage für die Erstellung von Waldnutzungskarten sein.

Die Modellierung des Waldes mit Objektschutzfunktion erfordert eine Waldnutzungskarte. Waldbedeckungskarten sind in weiterer Folge nur dann erforderlich, wenn auch die tatsächliche Schutzwirkung des Waldes ermittelt werden soll.

Es gibt in Österreich keine einheitlich erstellte, aktuelle amtliche Waldnutzungskarte. Die in der Nutzungsebene der digitalen Katastermappe (DKM) der amtlichen Vermessung ausgewiesene Waldfläche ist nicht aktuell und entspricht oft nicht der forstgesetzlichen Walddefinition. Die Nutzung wird in der DKM nicht im selben Ausmaß aktuell gehalten wie die Grundstücksgrenzen. So weist z. B. die DKM Stand 2012 für Tirol eine Waldfläche von 477.000 ha, die Waldflächenkarte (die "Waldkategorien", WKG) der Abteilung Forstplanung des Tiroler Landesforstdienstes 524.036 ha und die ÖWI 2009 auf der Basis von Stichproben 521.705 ha Wald. Lokal sind die Unterschiede der von der DKM und den Waldkarten der Bundesländer ausgewiesenen Waldflächen sehr groß.

Abbildung 52-1 (Perzl et al., 2014 c) zeigt in einem Ausschnitt den Wald nach der DKM (mit Krummholz, Buschfläche und Wald) in hellgelb überlagert vom Wald nach den Tiroler Waldkategorien in Dunkelgrün. Im Überlappungsbereich ist die Waldfläche hellgrün dargestellt. Die Krummholzbestände und Hochwaldbestände an der Waldgrenze sind in der DKM nicht erfasst bzw. der Kategorie "Alpe" zugeordnet worden. Seit langem bestehende Schipisten (Bildmitte) werden in der DKM noch als Wald ausgewiesen (hellgelb durchleuchtend).

ABBILDUNG 52-1: WALDFLÄCHE NACH DEN TIROLER WALDKATEGORIEN UND NACH DER DKM



Dabei gilt es zu beachten, dass durch die Bemühungen des Tiroler Landesforstdienstes um Homogenisierung und Integration digitaler Planungsgrundlagen die Waldfläche in Tirol mit der ÖWI abgestimmt wurde, und im Verhältnis zu anderen Bundesländern gut erfasst ist. Dennoch sind die Unterschiede in Bezug auf die Schutzwaldfläche immer noch groß. **Tabelle 52-1** ist ein Vergleich der Schutzwaldfläche in Tirol nach den WKG und der ÖWI. Die ÖWI unterscheidet den

"Schutzwald außer Ertrag" (SAE) und den "Schutzwald im Ertrag" (SIE). Die Angaben von ÖWI und WKG sind nur bedingt vergleichbar, da die ÖWI keinen Objektschutzwald ausweist. Die WKG enthalten eine eigene Klasse, den "Wirtschaftswald mit Schutzfunktion" (WS2), eine Form von Standortschutzwald, die es bei der ÖWI nicht gibt. Die WKG ergeben mit WS2-Wald einen Anteil des Standortschutzwald von 60,2 %, die ÖWI von 48 %. Deutliche Unterschiede bestehen auch bei der Einschätzung der Ertragsfähigkeit des Schutzwalds.

TABELLE 52-1: WALDFLÄCHE TIROLS NACH WKG UND ÖWI

Waldtyp nach den Tiroler Waldkategorien	WKG Tirol		ÖWI 2007/09	
	Fläche [ha]	in %	Fläche [ha]	in %
1 Wald (mit Nicht-Holzboden + Strauchflächen)	521.705,1	100,0	521.000,0	100,0
Schutzwald				
2 Objektschutzwald im und außer Ertrag	122.543,9	23,5	---	---
3 Objektschutzwald außer Ertrag	50.613,6	9,7	---	---
4 Schutzwald außer Ertrag (SAE) ohne OSF	154.024,5	29,5	161.000,0	30,9
5 Schutzwald im Ertrag (SIE) ohne OSF	95.550,5	18,3	89.000,0	17,1
6 Wirtschaftswald mit Schutzfunktion (WS2)	64.460,4	12,4	---	---
7 Standortschutzwald (SAE + SIE)	249.575,0	47,9	250.000,0	48,0
8 Standortschutzwald (SAE + SIE + WS2)	314.035,4	60,2	250.000,0	48,0
9 Schutzwald außer Ertrag mit und ohne OSF	204.638,1	39,2	161.000,0	30,9

Es gibt für Österreich verschiedene Waldkarten, die unterschiedlich aktuell und – in Bezug auf die forstrechtliche Walddefinition als auch auf die reale Situation – unterschiedlich genau sind.

In den verschiedenen Waldkarten werden vor allem die Strauchflächen unterschiedlich behandelt. Strauchflächen sind nach dem österreichischen FG nur unter bestimmten Bedingungen Wald. Ein Kriterium für die Waldeigenschaft von Strauchflächen ist, dass "Schutzwaldeigenschaft" vorliegt. Eine Schutzwaldeigenschaft kann aber nur bestehen, wenn es sich bei einer Fläche auch um einen Wald handelt. Es besteht also die paradoxe forstrechtliche Situation, dass nicht das Vorhandensein von Wald unter bestimmten Standortsbedingungen einen Schutzwald definiert, sondern dass das Vorhandensein von Schutzwald einen Wald definiert (vgl. Perzl et al., 2014 c).

Bei den Modellierungen von GRAVIPROFOR geht es nicht primär darum, die forstrechtlich definierte Waldfläche zu kartieren. Forstrechtlich werden in Österreich auch dauernd unbestockte Flächen wie Forststraßen und Holzlagerplätze im Wald (Nicht-Holzbodenflächen der forstlichen Produktion) zum Wald gezählt. Solche Anlagen können aber auch als vom Wald zu schützende Flächen betrachtet werden. Auch terrestrische Stichprobeninventuren, wie die nationalen Waldinventuren, verwenden Waldkriterien, die aus methodischen Gründen nicht exakt mit den gesetzlichen Waldkriterien übereinstimmen. Eine effiziente großflächig Waldflächenkartierung ist nur mit Fernerkundungsmethoden möglich, die sich vor allem für den sogenannten "land cover" Ansatz der Walddefinition eignen. Die forstrechtlichen Walddefinitionen folgen zwangsläufig dem "land use" Ansatz. Sie enthalten daher Kriterien, die mit Methoden der Fernerkundung, auch auf Flächen, die unmittelbar der Holzproduktion dienen (Holzbodenfläche), nicht oder nicht in jedem Fall eindeutig festgestellt werden können.

Für räumlich-zeitliche statistische Vergleiche der Waldentwicklung ist es entscheidend, dass eine einheitlich erstellte, möglichst aktuelle Waldkarte verwendet wird. Aus der Sicht der Aufgaben und

Fragestellungen des Naturgefahrenmanagements und der forstlichen Raumplanung ist eine Deckung mit der (rechtlichen) Walddefinition, sowie Homogenität und Aktualität wünschenswert, aber zweitrangig. Entscheidend ist vor allem die räumliche Identifikation des Gefahren- und Schadenpotenzials (der Schutzfunktion) zur Unterstützung der Feststellung des Schutzdefizits und des Maßnahmenbedarfs. Das Gefahren- und Schadenpotenzial wird primär von den potenziellen Wirkungsräumen der Gefahrenprozesse bestimmt. Es kann jeder georeferenzierten Waldkarte zugeordnet werden. Durch die "Verschneidung" der Wirkungsräume mit den vom Forstdienst verwendeten Waldkarten wird ein Information über die potenzielle Schutzwaldkulisse zur Verfügung gestellt.

Für die Darstellung der Schutzwaldkulisse in GRAVIPROFOR wurde daher eine Waldkarte im Rasterformat erstellt, die sich aus verschiedenen Waldkarten im Vektorformat zusammensetzt. Es wurden dabei je nach Bundesland die vom Forstdienst verwendeten oder die besten verfügbaren Waldkarten integriert. In Niederösterreich und in Wien wurde der Wald nur nach der DKM ausgewiesen. Nicht berücksichtigt wurden ungeachtet der oft hohen Qualität die im Rahmen von Fernerkundungs-Pilotprojekten erstellte Karten, da sie nicht flächendeckend vorliegen. Der GRAVIPROFOR-Waldlayer weist zwei Waldkategorien aus (**Tabelle 52-2**).

TABELLE 52-2: KATEGORIEN DER GRAVIPROFOR-WALDKARTE

Attribut FORESTUSE Code (Long Integer)	Beschreibung	Code nach der Nutzungsebene der Digitalen Katastermappe (DKM-NS)
0	Keine Strauchfläche und kein Wald	
10	Strauchfläche	55 (Krummholz), 57 (verbuschte Fläche)
20	Wald	56 (Wald oder Wald rechtlich nicht Wald)

Die verwendeten Waldkarten im Vektorformat und die Vorgangsweise zur Ableitung der Karte im Rasterformat sind im Teilbericht "Methodik - Datengrundlagen" ([Perzl et al., 2014 c](#)) beschrieben. **Abbildung 52-2** zeigt den für GRAVIPROFOR erzeugten Layer der Strauch- und Waldflächen Österreichs.

ABBILDUNG 52-2: STRAUCH- UND WALDFLÄCHE ÖSTERREICHS, DER GRAVIPROFOR-WALDLAYER

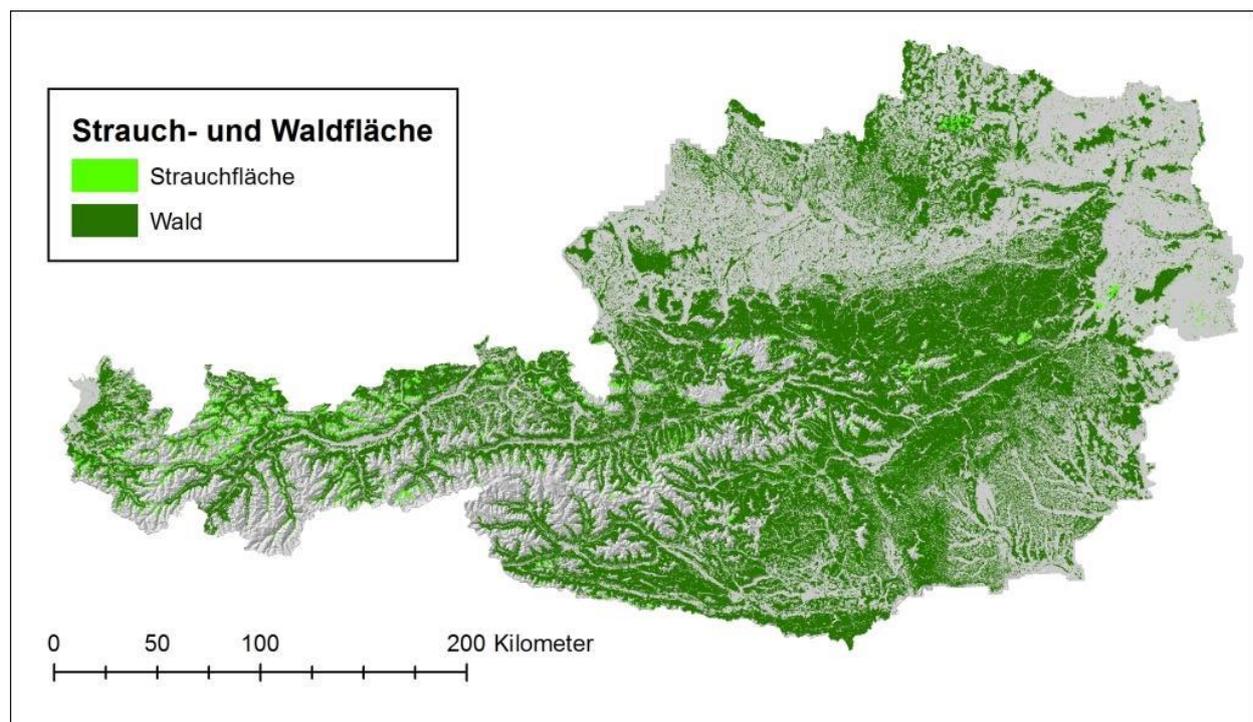
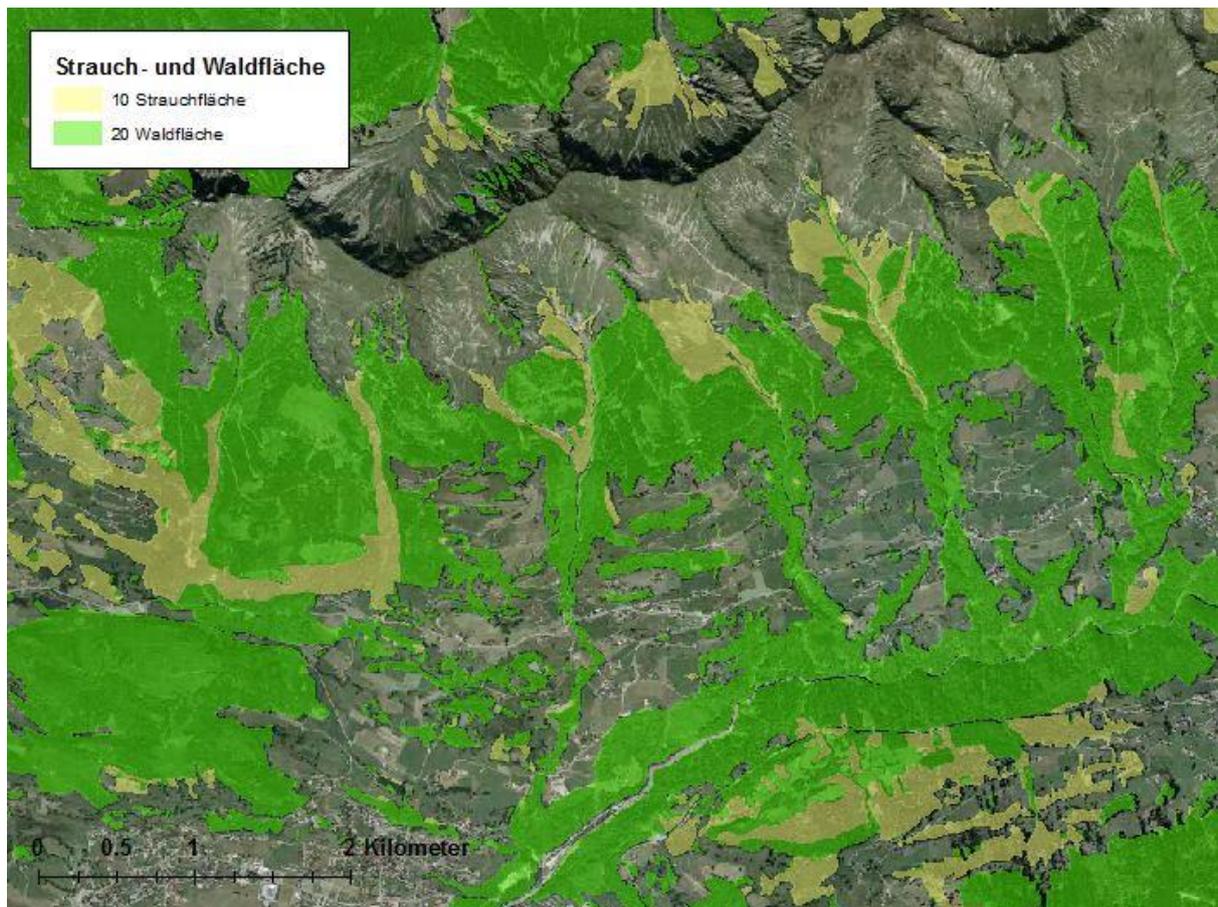


Abbildung 52-3 zeigt einen detaillierteren Ausschnitt der Waldkarte im Rasterformat noch ohne Infrastruktur-Korrektur. Der Ausschnitt liegt im Bereich der orografisch rechten Flanke des Großen Walsertales im Bereich der Gemeinden Thüringerberg und Sankt Gerold. Die Strauchfläche ist hier überrepräsentiert. Es handelt sich dabei um die Gruppe A2 der Vorarlberger Waldvegetationskarte ("Gehölzbrachen" bzw. verbuschende, zum Teil aufgeforstete Wiesen und Weiden), die zu den Strauchflächen gezählt wurden, aber schon teilweise "Waldkriterien" erfüllen.

ABBILDUNG 52-3: DER GRAVIPROFOR-WALDLAYER, DETAILAUSSCHNITT



Die Waldkarte im Rasterformat repräsentiert ohne Infrastrukturbereinigung 3.992.202 ha Strauch- und Waldfläche. Die Österreichische Waldinventur (ÖWI) 2007-2009 ergab eine Gesamtwaldfläche mit Strauchflächen und Holzboden außer Ertrag von 3.991.000 ha. Davon sind 104.000 ha Forstwege (Forststraße) und Holzlagerplätze. Durch die Integration verschiedener Karten wurde eine Waldkarte erzeugt, die in Summe um 1.202 ha (0,03 %) von der Waldfläche nach der ÖWI abweicht.

Als Waldkulisse wurden bei GRAVIPROFOR nur Waldflächen ausgewiesen, die nicht nach dem Objektlayer auch zu schützende Siedlungsflächen oder Anlagen sind (Infrastrukturbereinigung). Solche Konflikte ergeben sich zwangsläufig aus den verschiedenen, nicht mit der Kartierung von Siedlungsflächen abgestimmten Waldkarten mit unterschiedlichem zeitlichen Stand. Zudem kommt es durch die Abbildung der Polygone als Rasterzellen zu Verschiebungen. Da bei einer räumlichen Auflösung der Modellierung von 10 m im Rasterformat auch eine sehr schmale Forststraße mindestens 10 m breit abgebildet wird, führt das zu einem kartografischen Waldflächenverlust.

Die Infrastrukturbereinigung ergab eine negative Abweichung der Waldkarte von der ÖWI-Waldfläche (ohne Forstwege, Holzlagerplätze, Leitungstrassen und sonstigen Holzboden außer

Ertrag) von 171.001 ha (4,4 %). **Tabelle 52-3** schlüsselt die bereinigte Strauch- und Waldfläche nach Bundesländern auf.

TABELLE 52-3: GEODATENBESTÄNDE (WALDLAYER) ZUR BESTIMMUNG DER WALDFLÄCHE DER BUNDESLÄNDER

Land	GRAVIPROFOR-Waldfläche nach Infrastrukturkorrektur [ha]			ÖWI 2007-2009 Waldfläche ohne Forstwege, Holzlagerplätze, Leitungstrassen und sonstigen Holzboden außer Ertrag [ha]	
	10 Strauchfläche	20 Wald	10 + 20		
Burgenland	4.346	113.456	117.802	131.000	+/- 10.000
Kärnten	12.287	487.692	499.979	562.000	+/- 15.000
Niederösterreich	19.979	718.893	738.872	750.000	+/- 22.000
Oberösterreich	5.157	452.881	458.038	486.000	+/- 17.000
Salzburg	21.714	325.584	347.298	367.000	+/- 13.000
Steiermark	31.605	898.244	929.849	967.000	+/- 19.000
Tirol	76.888	419.965	496.853	510.000	+/- 18.000
Vorarlberg	19.755	87.070	106.825	95.000	+/- 7.000
Wien	294	7.189	7.483	9.000	+/- 3.000
Österreich	192.025	3.510.974	3.702.999	3.874.000	+/- 46.000

5.3 OBJEKTLAYER - OBJEKTKLASSIFIKATION

In Österreich gibt es kein bundesweit einheitliches, alle topographischen Objekte erfassendes und für die Klassifikation von Schutzziele geeignetes digitales Landschaftsmodell (DLM) im Vektor- oder Rasterformat. Daher war es erforderlich, die notwendige digitale Information über die Objekte aus verschiedenen Geodatenbeständen zusammenzusetzen. Die dafür in Frage kommenden und verfügbaren Geodaten wurden analysiert.

Bundesweit verfügbare Datensätze waren

- Adressdaten (Adresspunkte) des Adress-, Gebäude und Wohnungsregisters (AGWR II).
- die Nutzungsinformation (DKM-NS) der Digitale Katastermappe (DKM).
- spezielle Fachdaten (BergIS, APG III).

Landesspezifische vorliegende (strukturierte) Geodaten:

- Digitale Flächenwidmungspläne auf Kartenebene (DFWK).
- Digitalen Flächenwidmungspläne auf Planebene (DFWP).
- Verkehrsnetzwerktopologien (GIP).
- Spezielle thematische Infrastruktur-Geodaten (Schigebiete, sonstige Infrastruktur).

Die Ergebnisse der Analyse bestätigen die Aussage von [Banko & Riedl \(2010\)](#): Es sind viele Geodaten vorhanden, jedoch mit mangelnder Vergleichbarkeit, fehlender Standardisierung und ungenügendem Informationsgehalt. Ursache dafür ist die mangelnde Koordination der Geodaten ([Gissing, 2003](#)), da sich die mit dem Aufbau und der Verwaltung von Geodaten beschäftigten Stellen und Arbeitsgruppen nur an den unmittelbaren eigenen Aufgaben und Datenanforderungen orientieren. Sehr viele Stellen sind mit allgemeinen und fachspezifischen Geodaten beschäftigt, ohne dass es ein abgestimmtes konzeptionelles Organisation- (Zuständigkeits-) und Datenmodell gibt. Dadurch ist eine starke Heterogenität und Inkompatibilität von Geodaten entstanden, was vermeidbare Kosten verursacht, und Aufgaben wie die digitale Erfassung der vom Wald zu schützenden Objekte massiv erschwert. Die Bedürfnisse einer Informationsgesellschaft erfordern eine wechselseitige Abstimmung von raumrelevante Normen und Geodaten. Häufig werden jedoch

die Möglichkeiten der GDI und die Kriterien der Informationsbewertung in Normen nicht berücksichtigt. In Bezug auf die Erfassung der Objekte für die forstliche Raumplanung war der Status quo:

- Die WEP-R ist als Grundlage für die Erfassung des vom Wald zu schützenden Raumes auf Basis digitaler Geodatenbestände nicht ausreichend operational. Es fehlen Vergleichskriterien bzw. Regeln zur (konformen) Zuordnung der Entitätstypen der GDI.
- Die Datensituation ist räumlich und inhaltlich heterogen. Die notwendige Geoinformation steht nicht überall, vollständig und einheitlich zur Verfügung.
- Viele Geodatenbestände beruhen auf Datenmodellen mit konzeptionellen Mängeln.
- Die verfügbaren Geodatenbestände sind entweder geometrisch sehr genau aber dafür mäßig aktuell und inhaltlich sehr allgemein, oder sie sind inhaltlich sehr differenziert aber geometrisch stark generalisiert oder ungenau.
- Das Hauptproblem ist zunehmend nicht das Fehlen digitaler Daten, sondern die Qualität (der Informationsgehalt) und die fachübergreifende Abstimmung der Daten:
 - Es bestehen geometrische und inhaltlich Informationskonflikte, die nicht automatisch bereinigt werden können. Geodaten müssen somit als inhaltlich oder geometrisch "wahr" oder "falsch" angenommen werden.
 - Es kann nur indirekt mit eingeschränkter Aktualität und Zuverlässigkeit aus den Geodaten abgeleitet werden, welcher Objektkategorie das digitale Informationsobjekt entspricht.

AGWRII:

Das Adress-, Gebäude- und Wohnungsregister II der STATISTIK AUSTRIA ist eine Datenbank mit punktverorteten Adressen von Gebäuden und von Nutzungseinheiten in Gebäuden. Der Datensatz wurde vom LFRZ in einer mit den Postadressen verschnittenen Form zur Verfügung gestellt (der "Post-Hybrid-Datensatz"). Die Gebäudeadresspunkte liegen häufig nicht im entsprechenden Gebäudepolygon der DKM (vgl. Fuchs & Zischg, 2014). Nicht alle bestehenden Gebäude haben einen Adresspunkt, und es gibt Gebäudeadresspunkte ohne Gebäude. Rund 35 % der AGWRII Gebäudeadresspunkte haben keinen digitalen Grundriss in der DKM. Als Attribut zur Gebäudefunktion wurde die "Eignung für Wohnzwecke" und eine Beschreibungstextfeld der Gebäudenutzung zur Verfügung gestellt. Die Gebäudefunktion bzw. eine Nutzung als "Dauerwohnung" lässt sich jedoch aus diesen Attributen nicht absolut sicher feststellen. Die Vergabe dieser Attribute ist, vor allem bei landwirtschaftlicher Nutzung, inhomogen.

DKM-NS:

Die Landnutzungspolygone der DKM haben eine relativ hohe geometrische Qualität. Das betrifft vor allem die Gebäude im Dauersiedlungsraum. Bei den Forststraßen und Güterwegen gibt es starke Abweichungen von der tatsächlichen Lage. Das Hauptproblem der DKM-Daten ist die Aktualität des Datensatzes (Stichwort "Geisterpolygone", siehe auch AGWRII) und die Klassifikation der Landnutzung. Das Datenmodell ist nicht ausgereift. Das betrifft vor allem die Betriebsanlagen und die Verkehrsanlagen. Eine funktionale Differenzierung von Betriebs- und Verkehrsanlagen ist mit der DKM nicht möglich. Die Nutzungstypen und Typenzuordnungen des Realbestandes sind generell nicht ausreichend differenziert und teilweise unzweckmäßig. Obwohl es sich um einen österreichweit homogen vorliegenden Datensatz handeln sollte, gibt es durchaus regionale Unterschiede bei der Zuordnung des Nutzungstyps.

Spezielle bundesweite Fachdaten:

Die Bundesverwaltung hat nur wenige spezielle Fachdaten mit denen die Information der DKM ergänzt und differenziert werden kann. Die Austrian Power Grid AG (APG) ist Österreichs

Stromübertragungsnetzbetreiber bis auf Ebene von 110 kV. Die APG stellte eine genaue Punktverortung der Hochspannungsmasten zur Verfügung. Zur Ergänzung von Abbauflächen wurde das Bergbauinformationssystem (BergIS) des Bundesministeriums für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (bmwfw) genutzt.

DFWP und DFWK:

Die örtliche Raumordnung (Flächenwidmung) ist in Österreich eine Kompetenz der Bundesländer. Daher gibt es neun verschiedene Raumplanungsgesetze und digitale Schnittstellen. Flächenwidmungspläne stellen grundsätzlich Nutzungswidmungen und nicht die tatsächliche Raumnutzung (die Realnutzung bzw. den Bestand) dar. Die Attribute der Flächenwidmung erlauben es mit Ausnahme der Ersichtlichmachung von überörtlichen Verkehrsanlagen nicht zwischen einer Realnutzung und einer Widmung zu unterscheiden. Von der Flächenwidmung ausgewiesenes (gewidmetes) und nach der DKM noch unbebautes Bauland wird aber häufig real bereits als Gebäudefläche, Gebäudenebenfläche oder Betriebsfläche genutzt. Das Bundesgebiet ist bereits zu 72 % mit DFWP abgedeckt. Durch die Verwendung der Flächenwidmungsplanung kann also das Aktualitätsproblem der digitalen Erfassung der Realnutzung vermindert und eine Schnittstelle zwischen allgemeiner Raumplanung (-ordnung) und der forstlichen Raumplanung geschaffen werden. Das erfordert aber eine von der WEP-R abweichende Klassifikation der Widmungstypen.

Es gibt zwei Arten digitaler Flächenwidmungen: digitale Flächenwidmungspläne auf Planebene (DFWP) und generalisiert auf Kartenebene (DFWK).

Das Hauptproblem für GRAVIPROFOR bestand darin, dass es keinen bundesweit einheitlichen Mindeststandard der Flächenwidmung gibt. Jedes Bundesland verwendet andere Widmungstypen mit zum Teil gemeindespezifischen Bedeutungen und Sonderfestlegungen. Daraus sind zahlreiche, schwer vergleichbare Entitätstypen entstanden. Das betrifft vor allem die "Sonderflächen", die "Flächen für den Wintersport" und das im Grünland versteckte "landwirtschaftliche Bauland". Nur in wenigen Bundesländern gibt es eine klare bzw. systematisch-sektorale Klassifikation und Codierung der "Sonderflächen". Daher mussten für eine einheitliche Zuordnung der OKL tausende Entitätstypen überprüft und über zehntausend Entitäten am Luftbild einzeln überprüft werden.

Digitale Flächenwidmungspläne auf Kartenebene (DFWK), auch "Baulandumhüllende" oder "Widmungshüllen" genannt, sind eine umhüllende Darstellungen des Siedlungsraumes bzw. der für Siedlungszwecke gewidmeten Fläche. Der Unterschied zum DFWP besteht in der Zusammenfassung der Widmungstypen zu größeren Klassen. Eine DFWK gibt es für vier Bundesländer. Sie kann dort eingesetzt werden, wo kein DFWP zur Verfügung steht. Der Datensatz von Tirol erwies sich als zu stark generalisiert. Die Widmungshüllen des Burgenlands, von Niederösterreich und Wien sind geometrisch und inhaltlich sehr genau. Ein bundesweiter DFWK nach diesen Mustern ist eine Option zur Homogenisierung der Darstellung der Interessensgebiete der Landnutzung und würde ausreichen, um den gewidmeten Raum für Zwecke der forstlichen Raumplanung darzustellen und zu klassifizieren.

Verkehrsnetworktopologien (GIP):

Die Straßenverkehrspolygone (Straßenverkehrsanlagen und Forststraßen) der DKM und der DFWP, ihre Attributdaten sowie Annotations erlauben keine ausreichende Differenzierung der Verkehrsfunktion bzw. -bedeutung des niederrangigen Straßennetzes. Dazu sind zusätzliche Informationen aus Fachdaten zum Verkehrswegenetz erforderlich.

In Österreich stimmt vor allem das niederrangige Straßennetz (mit den Forststraßen und den Güterwegen) nach den verfügbaren "Achsenlayern" wie dem digitalen Landschaftsmodell Verkehr

(DLM-V) oft nicht mit dem Stand und Verlauf der in der DKM oder im DFWP abgebildeten Straßen und dem Realbestand nach Luftbild überein. Die Funktion und Bedeutung der Straße kann nur für das übergeordnete Verkehrswegenetz mit Hilfe von Attributen zum Betreiber der Verkehrsanlage indirekt bestimmt werden.

Viele Bundesländer und Betreiber von Verkehrsanlagen haben eigene Verkehrsnetztopologien mit unterschiedlichen Datenmodellen aufgebaut. Diese wurden zur GraphenIntegrationsPlattform (GIP) zusammengefasst. Dafür wurden direkt rund zwei Millionen Euro investiert. Das Land Vorarlberg beteiligt sich nicht an der GIP. Vorarlberg hat mehrere eigene Verkehrsnetztopologien. Das Straßennetz Vorarlbergs wurde zum Teil dreifach geometrisch nicht identisch erfasst. Ziel der GIP war eine Erfassung der Verkehrswegenetze Österreichs (der beteiligten Bundesländer) nach einem einheitlichen Datenmodell, der RVS (FSV, 2014). Tatsächlich handelt es sich um landesspezifisch attributierte Datensätze mit erheblichen Unterschieden:

- Der Stand der Erfassung der Verkehrswege ist nach sechs Jahren Projektlaufzeit je nach Bundesland unterschiedlich.
- Die geometrische Genauigkeit der Graphen ist noch nicht optimal. Die Straßenachsen weichen zum Teil erheblich von der Mittellinie der DKM-Straßenpolygone und dem Stand nach Luftbild ab. Das verursacht Problem bei der Geodatenintegration.
- Die RVS enthält keine eindeutigen Kriterien zur Beurteilung der Verkehrsbedeutung von Verkehrswegen. Das Datenmodell ist logisch nicht konsistent. Die derzeit erfassten und auf die Funktion und Bedeutung des Verkehrsweges bezogenen Attributdaten des GIP-Datensatzes sind zum Teil noch widersprüchlich und werden heterogen verwendet. Sie lassen keine zuverlässige Bestimmung der Verkehrsfunktion und Verkehrsbedeutung zu. Das betrifft vor allem die Differenzierung von Forststraßen und Feldwegen einerseits von Straßen mit Erschließungsfunktion für Siedlungsflächen andererseits.
- Grundsätzlich können die Inkonsistenzen mit Methoden wie Adressanbindung, Logik- und Topologieprüfungen bereinigt werden. Das Ausmaß der erforderlichen visuellen Kontrollen und Bereinigungen ist aber so erheblich, dass die Datensätze in einigen Ländern praktisch neu attribuiert werden müssten.
- Mit April 2014 lag aber nur der Mindeststandard (FRC 0-4, STATUS "aktiv") für Österreich mit Ausnahme von Vorarlberg einheitlich vor (das "höherrangige" Netz). Um in allen Bundesländer das Straßennetz einheitlich zu klassifizieren, musste die OKL III auf diese Klassen beschränkt, und das Straßennetz umfangreich bearbeitet werden.

Da die Klassifikation der Verkehrswege (vor allem der Straßen) in der GIP nach der RVS zum Stand Mai 2014 nicht heterogen, unvollständig oder aus risikoanalytischer Sicht nicht zweckmäßig war, musste die OKL nach den Attributen der GIP für jedes einzelne Bundesland vergleichbar festgelegt werden. Aufgrund der Heterogenität der Geodaten war also für jedes Bundesland eine eigene Lösung - zum Teil mit erheblichen Editierungsarbeiten - notwendig.

Spezielle landesspezifische Geodaten:

Bestimmte Objekte sind in der DKM und der GIP nicht erfasst. Das betrifft vor allem die alpine Sportinfrastruktur (Seilbahnen, Schipisten, Loipen). Geodaten über diese Objekte sind je nach Bundesland in unterschiedlicher Form und Vollständigkeit vorhanden.

Eine annähernd einheitliche digitale Erfassung der vom Wald zu schützenden Objekte ist nur durch eine starke Reduktion auf bestimmte, digital mehr oder weniger einheitlich erfasste Haupttypen mit

starkem Informationsverlust möglich. Um das zu vermeiden, wurde dieses Konzept der digitalen Erfassung und Klassifikation der zu schützenden Flächen aus bestehenden Geodaten umgesetzt:

- Je nach Datenverfügbarkeit in den Ländern und Gemeinden wurden verschiedene Ebenen bzw. Genauigkeitsstufen der digitalen Erfassung der zu schützenden Flächen realisiert.
- Zur Bestimmung (Modellierung) des Waldes, dessen Aufgabe (Waldfunktion) es ist, die Interessensgebiete der Raumnutzung vor Naturgefahren zu schützen, wurden nicht nur die (verfügbaren) digitalen Daten über die "reale" Raumnutzung, sondern auch die Widmungen herangezogen.
- Die Definition der OKL (**Tabelle 4-3**) und die Objektklassifikation wurden modifiziert.

Es wurden zwei Ebenen mit vier Erfassungsstufen definiert, die auf die unterschiedliche Verfügbarkeit der Geodaten ausgerichtet sind:

I Grobansatz: mit starker Generalisierung (ohne Objektklassen)

AGWR II Adresspunkte (Puffer) + Verkehr: Eisenbahnen (FRC 20-25), Straßen A, S, B, L

II Feinansatz: verschiedene Detailtiefe/Genauigkeit je nach Bundesland/Gemeinde

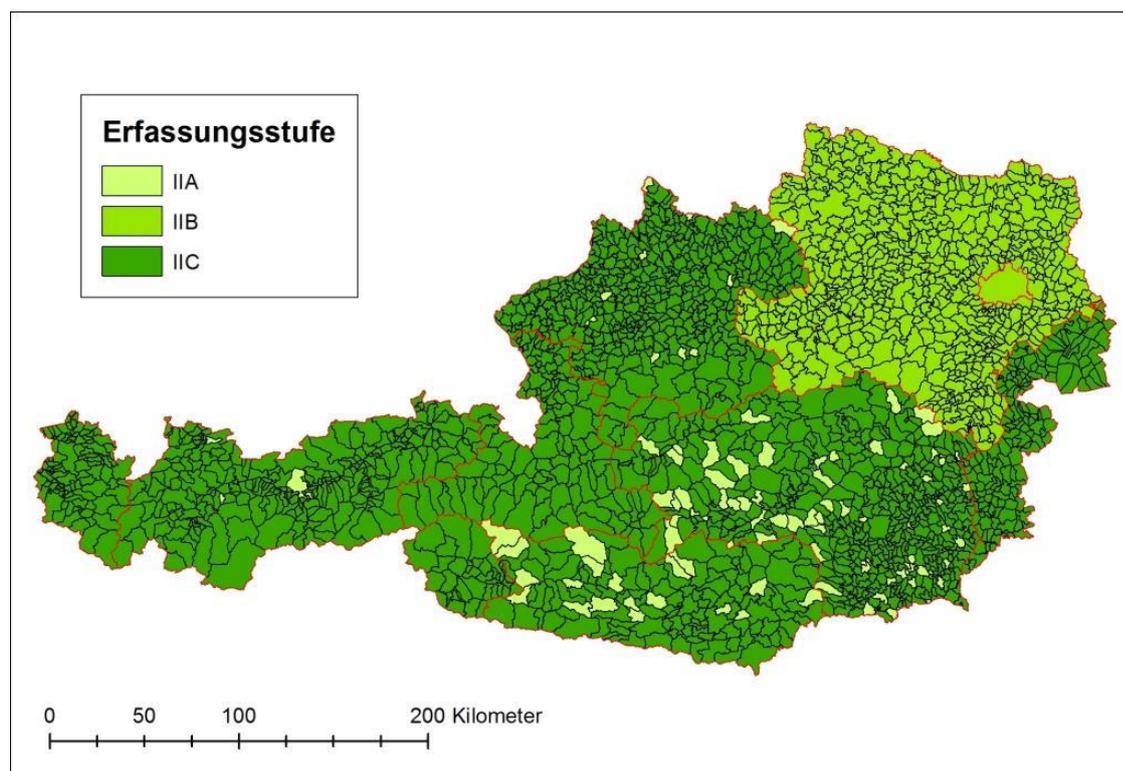
IIA: DKM-NS mit Adresspunkten + Verkehrslinien + Fachdaten

IIB: DKM-NS mit Adresspunkten + Verkehrslinien + Fachdaten + DFWK

IIC: DKM-NS mit Adresspunkten + Verkehrslinien + Fachdaten + DFWP

Die Erfassungsstufen I und IIA verwenden nur Realnutzungsinformation. Die Stufen IIB und IIC berücksichtigen auch die Flächenwidmung. Es wurde den Bundesländern überlassen, welche Stufe der Erfassung der zu schützenden Infrastruktur umgesetzt wird. Die administrativen Einheiten (politische Gemeinden, politische Bezirke, Bundesländer) konnten je nach den verfügbaren Daten nach dem Ansatz IIA, IIB oder IIC modelliert werden (**Abbildung 53-1**).

ABBILDUNG 53-1: ERFASSUNGSSTUFEN DER INFRASTRUKTUR



Abweichungen von der OKL nach der [WEP-R \(2012\)](#) betreffen vor allem das gewidmete Bauland, das Straßennetz und landwirtschaftliche Freiflächen:

Bei GRAVIPROFOR wurde das "Bauland" nicht pauschal in die OKL I gestellt, sondern je nach Widmungszweck analog zu den Objektkategorien der [WEP-R \(2012\)](#) klassifiziert.

Landwirtschaftliche genutzte oder gewidmete Freiflächen wie Wiesen, Äcker oder Weinbau wurden nicht als Objekte mit relevantem Schadenspotenzial von Lawinen und Steinschlag erfasst.

Die Klassifikation der Straßenverkehrsflächen nach der [WEP-R \(2012\)](#) wurde modifiziert. Nur das höherrangige Netz nach der GIP wurde in die OKL III gestellt. Den "Gemeindestraßen" wurde die OKL II, reinen Forststraßen und Güterwegen (Feldwege) wurde die OKL I zugewiesen. Dazu war eine umfangreiche Bearbeitung der Geodatenbestände des Straßennetzes notwendig.

Die Klassifizierung der Entitätstypen der Geodatenbestände und die Methodik des Aufbaus der Objektklassen ist im Teilbericht "Methodik - Datengrundlagen" ([Perzl et al., 2014 c](#)) beschrieben. Um den Objektklassen mit drei Objektklassen im Sinne von Schutzziele aufbauen zu können, wurden Informationen aus 5 bundesweit vorliegenden und 63 landespezifischen Datensätzen kombiniert. **Tabelle 53-1** fasst das Flächenausmaß der zu schützenden Objekte in den drei Objektklassen zusammen.

TABELLE 53-1: FLÄCHE DER ZU SCHÜTZENDEN OBJEKTE NACH OBJEKTKLASSEN IN DEN BUNDESLÄNDERN

Land	Landesfläche nach dem Rastermodell mit 10 m Auflösung		OKL 1 z. B. Forststraßen, Feldwege, Deponien, Steinbrüche, Heustadl		OKL 2 z. B. niederrangige Straßen, Schipisten, Golfplätze, Starkstrommasten		OKL 3 z. B. höherrangige Straßen, bewohnte Gebäude, Betriebsflächen	
	[ha]	[%]*	[ha]	[%]*	[ha]	[%]*	[ha]	[%]*
Burgenland	396.177,0	4,7	23.378,3	8,2	8.085,6	4,2	39.048,1	6,7
Kärnten	953.802,3	11,4	36.570,1	12,8	22.115,0	11,5	54.427,5	9,4
Niederösterreich	1.918.626,4	22,9	88.648,3	31,0	31.514,1	16,3	164.651,2	28,4
Oberösterreich	1.197.882,1	14,3	37.611,6	13,2	35.428,8	18,4	107.294,0	18,5
Salzburg	715.618,2	8,5	10.837,9	3,8	18.618,4	9,7	30.016,2	5,2
Steiermark	1.640.295,1	19,6	55.767,1	19,5	40.066,4	20,8	104.766,0	18,1
Tirol	1.264.021,0	15,1	26.645,9	9,3	26.170,5	13,6	39.235,1	6,8
Vorarlberg	260.144,2	3,1	5.485,1	1,9	6.655,6	3,5	18.702,0	3,2
Wien	41.464,7	0,5	768,6	0,3	4.334,3	2,2	21.735,3	3,8
Σ Österreich	8.388.031,0	100,0	285.712,9	100,0	192.988,7	100,0	579.875,4	100,0
* In Prozent der Summe des Bundesgebiets RGB Schema OKL 3 102,0,204; OKL 2 153,51,255; OKL 1 204,102,255								

Insgesamt sind nach der GRAVIPROFOR-Klassifikation 1.058.577 ha der Fläche Österreichs vor den Einwirkungen von Naturgefahren zu schützen. Das sind 12,6 % der Landesfläche. Davon fallen 54,7 % in die OKL 3, 18,2 % in die OKL 2 und 27,1 % in die OKL 1. Die Objekte der OKL 1 sind aus risikoanalytischer Sicht als Schutzziele vernachlässigbar.

Abbildung 53-2 ist eine Karte der Schutzziele (Objektklassen). Aufgrund der räumlichen Auflösung von 10 m sind bei diesem Maßstab nur die großen, dicht besiedelten Räume der Klasse 3 erkennbar.

ABBILDUNG 53-2: OBJEKTKLASSEN

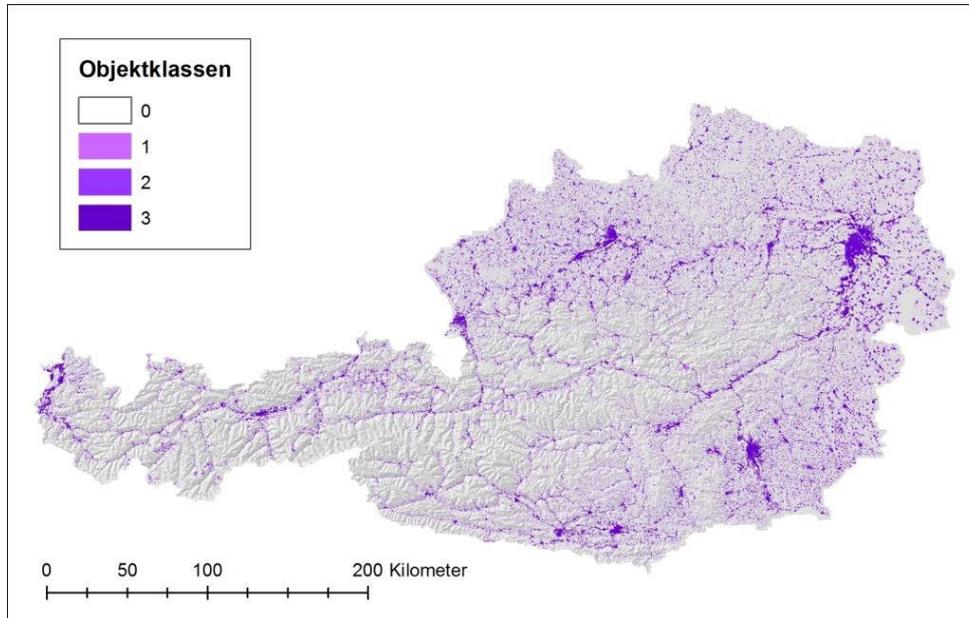


Abbildung 53-3 ist ein Detailausschnitt im Originalmaßstab 1:30.000. In der unteren Hälfte sind die Pisten eines Schigebiets erkennbar (OKL 2). Links und rechts davon befinden sich reine Forstwege (OKL 1). Im oberen Drittel ist der Talraum (Dauersiedlungsraum) mit Objekten der OKL 3 zu sehen. Er wird nach Norden durch eine Bahnanlage begrenzt, die den unteren Teil der Südflanke des Tales quert.

ABBILDUNG 53-3: OBJEKTKLASSEN DETAILAUSSCHNITT

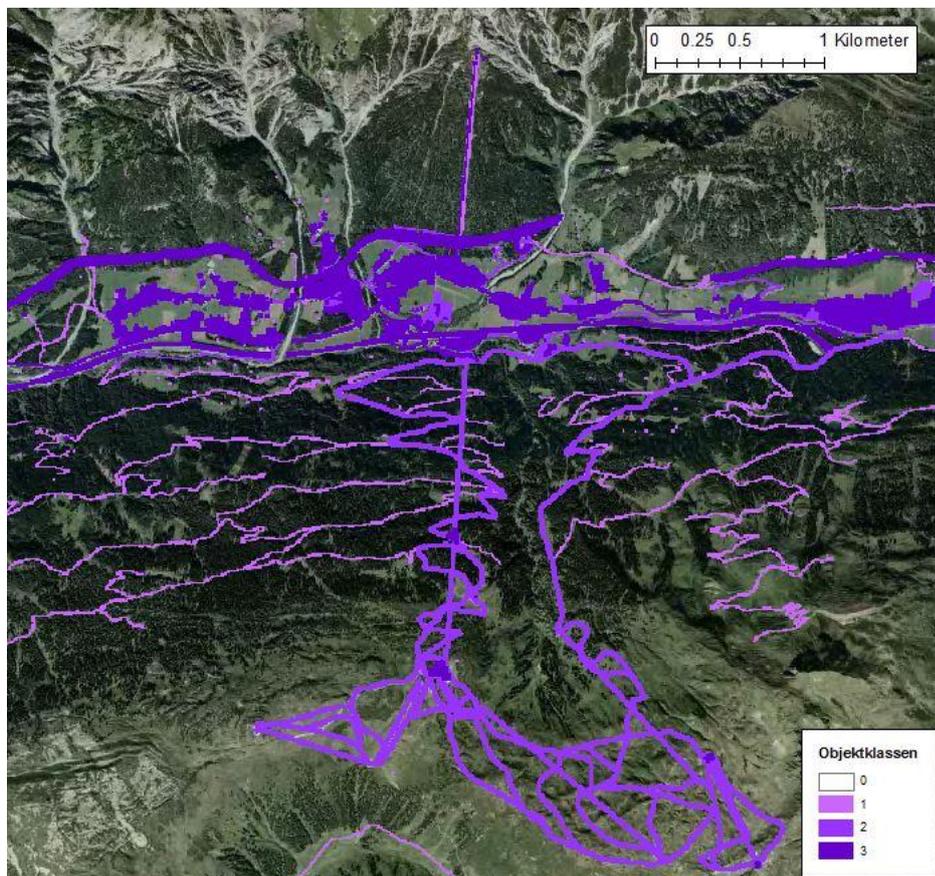
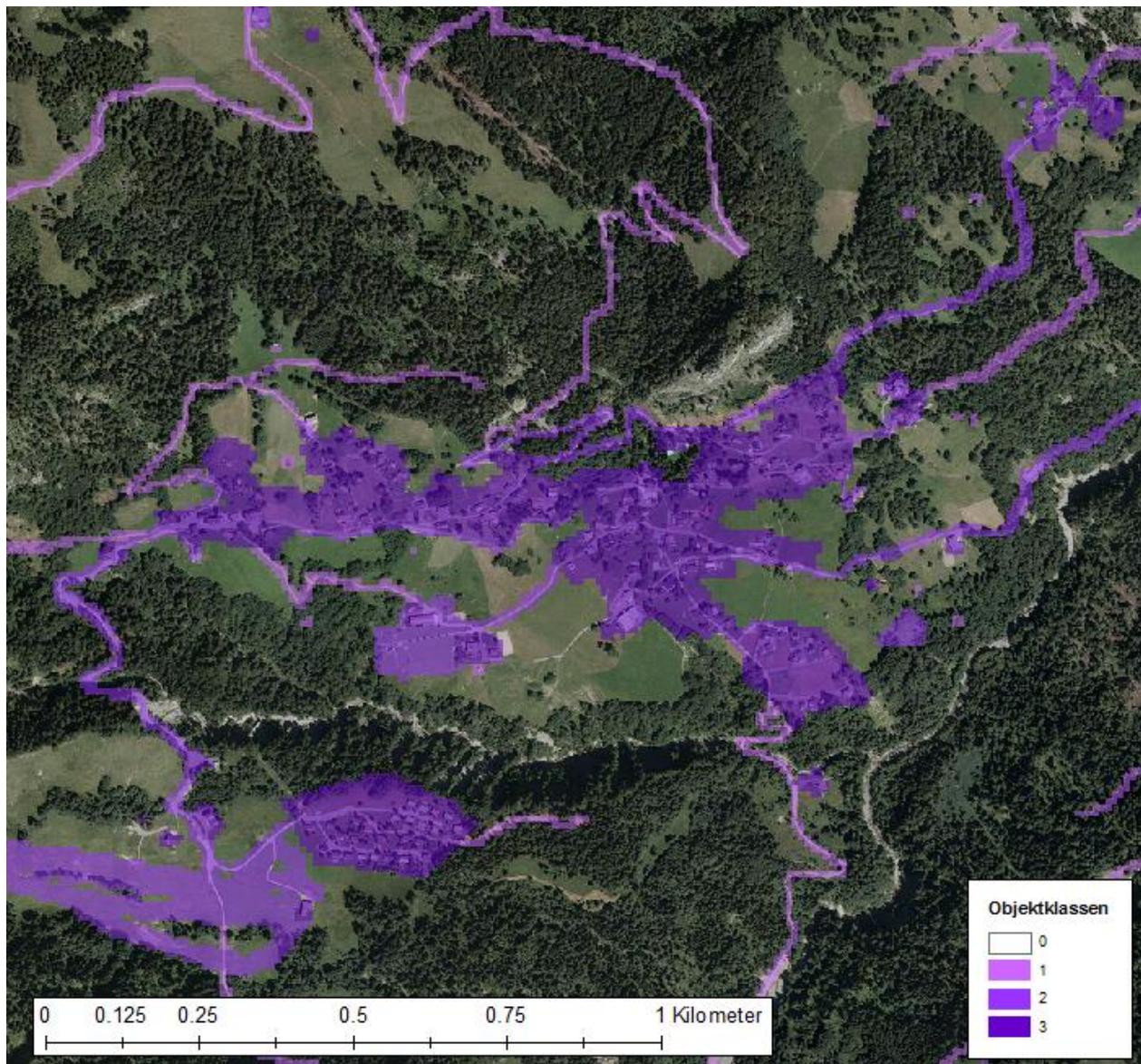


Abbildung 53-4 ist eine Detailausschnitt im Originalmaßstab 1:10.000 1m größeren Bereich des Zielmaßstab von GRAVIPROFOR, der zwischen 1:10.000 und 1:50.000 liegt.

ABBILDUNG 53-3: OBJEKTCLASSEN DETAILAUSSCHNITT



6. MODELLIERUNG DES GEFAHREN- UND SCHADENPOTENZIALS

Die Schutzwaldkulisse ergibt sich aus dem Gefahren- und dem Schadenpotenzial an den Objekten. Zur Bestimmung des Schadenpotenzials durch die Prozesse Steinschlag und Lawine wurden Modellierungen durchgeführt:

- 1) Modellierung der potenziellen Startflächen von Steinschlag und Lawine nach dem Konzept der Grunddisposition.
- 2) Modellierung der potenziellen Sturzbahnen und der Reichweite von Steinschlag und Lawinen ausgehend von den Startflächen.
- 3) Rückrechnung der potenziellen Prozesstreffer an den Objekten auf die zugehörige Sturzbahn und Startfläche der potenziellen Prozessräume.

Der Begriff Gefahrenpotenzial bezieht sich sowohl auf die potenzielle Auslösung als auch auf die Reichweite und Wirkung der Prozesse. Hingegen wird der Begriff Grunddisposition nach dem Dispositionskonzept von [Kienholz \(1995\)](#) heute fast ausschließlich zur Charakterisierung der potenziellen Auslösung einer Naturgefahr verwendet. Aspekte des Konzepts wurden schon von [Wullschleger \(1982\)](#) für die WFK angewendet, der die Kriterien zu Bestimmung und Bewertung von Waldfunktionen in vom Standort und vom Waldzustand abhängige Faktorengruppen eingeteilt hat.

Die Grunddisposition ist die "... grundsätzliche, über längere Zeit gleichbleibende Anlage oder Bereitschaft zu gefährlichen Prozessen" ([Kienholz et al., 1998](#)). Die Grunddisposition wird von über längere Zeiträume konstant bleibenden Faktoren wie Geomorphologie (Relief), Geologie und Klima bestimmt. Eine Grunddisposition bedeutet jedoch nicht, dass auf der entsprechenden Fläche ein Naturgefahrenprozess stattfinden muss. Das hängt auch von den zeitlich variablen Dispositionsfaktoren (z. B. dem Waldzustand) und dem Auftreten eines ausreichend starken auslösenden Ereignisses ab. "Mit zunehmender Grunddisposition nimmt die Größe der für die Auslösung von Gefahrenprozessen erforderlichen auslösenden Ereignisse ab, und die Möglichkeit für ein Naturgefahrenereignis nimmt zu" ([Perzl et al., 2011](#)). Daher ist die Naturgefahren-Grunddisposition eine geeignetes Kriterium zur Bestimmung des Gefahrenpotenzials und der Schutzfunktion des Waldes im Rahmen der WFK.

Die Methodik zur Ermittlung der Grunddisposition ist das Grunddispositionsmodell. Grundsätzlich gibt es zwei Arten der Modellierung und Darstellung der Grunddisposition ([Perzl et al., 2011](#)):

- A. Die Ja-/Nein-Darstellung: Eine Bereitschaft zur Auslösung eines potenziell gefährlichen Prozesses wie z. B. einer Lawine ist gegeben oder nicht.
- B. Die Charakterisierung: Das Ausmaß der Bereitschaft zur Auslösung eines gefährlichen Prozesses wird in Form einer relativen Wahrscheinlichkeit und/oder mit einer möglichen Prozessintensität (z. B. die Dimension des Massenabbruchs) unter bestimmten Bedingungen beschrieben.

Das Grunddispositionsmodell bestimmt potenzielle Anbruchflächen gefährlicher Prozesse ohne Berücksichtigung der Schutzwirkung von Wald und Schutzbauten mit oder ohne Beschreibung der Anbruchbedingungen und -intensität. Nach dem räumlichen Grad der Konkretisierung ([Perzl et al., 2011](#)) gibt es Modelle

- C. zur Abgrenzung von singulären (diskreten, räumlich isolierten) Anbruchflächen.
- D. zur Bestimmung von Flächenbereichen mit Anbruchspotenzial (Anbruchsregionen).

Die Klassifikation des Waldes mit Objektschutzfunktion nach dem WEP-Schema ([WEP-R, 2012](#)) erfordert eine Charakterisierung des Gefahrenpotenzials nach dem Ansatz B. Die WEP-R enthält aber keine Kriterien und keine Methoden zur Bestimmung des Gefahrenpotenzials.

Begleitend zur "Initiative Schutz durch Wald" (ISDW) des BMLFUW wurden daher für das LE Programm 2007-2013 erstmals einheitliche Kriterien zur Bestimmung des Gefahrenpotenzials nach Ansatz B und zur Abschätzung der Schutzwirkung des Waldes entwickelt ([Perzl, 2008 b](#)). Dieses Konzept konnte noch nicht umfassend evaluiert werden. Es wurde nicht auf eine räumliche Modellierung des Schutzwalds, sondern auf terrestrische Erhebungen ausgerichtet.

Eine Schwierigkeit bei der Entwicklung von Dispositionsmodellen besteht darin, dass dafür meist keine geeigneten Ereignisdaten ([Pistocchi & Notarnicola, 2013](#)) oder anwendbare (parametrisierbare) physikalischen Modelle zur Verfügung stehen. Daher enthalten viele Modelle "expert-rules" oder pauschale Grenzwerte. Das war auch bei ISDW der Fall.

Für die Modellierung der Schutzwaldkulisse im Rahmen von GRAVIPROFOR wurde das ISDW-Konzept übernommen und modifiziert. Die flächendeckende, auf dem ISDW-Konzept beruhende räumliche Modellierung erforderte modifizierte Methoden.

Die Vorgangsweise bei der Modellierung der Grunddisposition, vor allem der Grad der räumlichen Konkretisierung der Startflächen, hängt vom eingesetzten bzw. verfügbaren Modell (Trajektorien- und Reichweitenmodell) zur Bestimmung der potenziellen Ausdehnung des Gefahrenprozesses ab (Perzl & Walter, 2012 a).

Für die Modellierung der Reichweiten und Intensitäten von Steinschlag und Lawinen existiert eine Vielzahl an Ansätzen und Modellen. Grundsätzlich kann zwischen den empirisch-statistischen und den physikalisch-deterministischen Modellansätzen unterschieden werden (vgl. auch **Kapitel 2.3**):

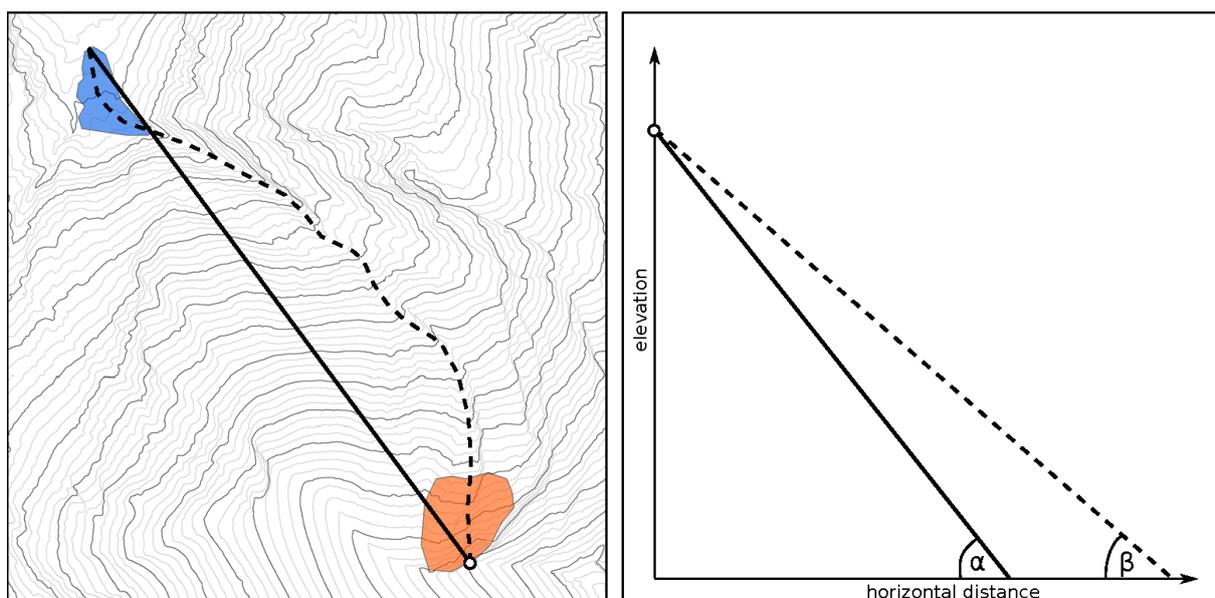
Empirisch-statistische (topografische) Modelle

Empirisch-statistische Modelle ziehen aus statistischen Auswertungen beobachteter Reichweiten von Ereignissen Rückschlüsse auf potenzielle Ereignisgrößen. Es gibt keinen physikalisch begründeten Zusammenhang zwischen den erklärenden Variablen der Prozessreichweite und dem Modell-Output, dem Prozessraum. Empirische Modelle, die potenzielle Prozessräume nur über die Form des Geländes bestimmen, werden topografische Modelle genannt.

Alle empirisch-statistischen (topografischen) Modelle gehen konzeptionell auf den Energielinien- oder Fahrböschungsansatz von Heim (1932) zurück. Er wurde ursprünglich für die Abschätzung der Reichweite von Felssturz entwickelt und ist besonders für den Gefahrenprozess "Steinschlag" geeignet. Körner (1976) hat den Ansatz erstmals auch für Schneelawinen angewendet.

Die Energielinie ist die in der Horizontalprojektion gerade oder gekrümmte Verbindungslinie zwischen der Startfläche eines Massentransports und seiner Endablagerung (**Abbildung 6-1**). Der Winkel zwischen dieser Linie und dem Horizont beschreibt somit die relative Reichweite des Prozesses bzw. den Energieverlust entlang der Sturzbahn. Beim Prozess Schneelawine wird er als α -Winkel, beim Steinschlag meist als β -Winkel bezeichnet¹².

ABBILDUNG 6-1: ENERGIELINIENANSATZ: GEOMETRISCHES GEFÄLLE UND FAHRBÖSCHUNGSWINKEL



¹² Auch bei der Lawinenmodellierung (beim α/β -Verfahren) wird ein als β -Winkel bezeichneter Winkel verwendet.

Abbildung 6-1 zeigt das geometrische Gefälle (hier α) und die Fahrböschung (hier β) am Beispiel einer gekrümmten Sturzbahn (in Rot das Anrissgebiet, in Blau das Ablagerungsgebiet). Während die Differenz von α und β für kleinere Prozesse mit gerader Sturzbahn typischerweise sehr klein ist, kann der Unterschied für größere Prozesse mit gekrümmter Sturzbahn vor allem bei Lawinen signifikant sein (Perzl et al., 2011).

Wenn die (potenzielle) Startfläche eines Massentransports aus dem Grunddispositionsmodell bekannt ist, kann aus der Verschneidung des (potenziellen) Fließweges aufgrund des Geländes mit einem durch den Winkel definierten virtuellen Kegel der Endpunkt und somit die (potenzielle) Reichweite des Prozesses abgeschätzt werden. Je niedriger der Winkel gewählt wird, umso größer ist grundsätzlich die Reichweite des Prozesses. Die Größen der Winkel der Energielinien von Massenbewegungen schwanken in Abhängigkeit von zahlreichen Faktoren (z. B. Art und Eigenschaften der Sturzmasse, Form und Rauigkeit sowie Widerstandselemente der Sturzbahn, Vorverfüllung der Sturzbahn, Massenmitnahme in der Sturzbahn) erheblich. Es konnte aber beobachtet werden, dass die Prozesse innerhalb bestimmter Grenzwinkel zum Stillstand kommen.

Es gibt verschiedene Modifikationen des Energielinienansatzes zur Bestimmung der Reichweite von Massenbewegungen wie Lawine, Steinschlag und Hangmuren (Perzl et al., 2011):

Auswahl der Größe des Winkels:

- Pauschalgefälle-Methode (Scheller, 1970): Bei der Pauschalgefälle-Methode hängt die Größe des verwendeten Winkels nur vom Prozesstyp (Lawine, Steinschlag, Rutschung, Mure) ab. Für jeden Prozesstyp wird (innerhalb eines Gebietes) die (potenzielle) Reichweite der Massenbewegung immer mit demselben Gefälle bestimmt. Unterschiede der Anbruchsmasse und der Form und Rauigkeit der Sturzbahn werden nicht berücksichtigt. Es wird also ein pauschales Gefälle angenommen. Durch die Verwendung verschieden steiler Pauschalgefälle ist eine Zonierung der Prozessintensität im Sinne von Gefahrenpotenzial- oder "Risikopotenzialstufen" möglich. Das Verfahren eignet sich für eine schnelle Übersicht der durch Massentransporte potenziell gefährdeten Zonen, wenn keine Informationen zur potenziellen Anbruchsmasse und Form der Sturzbahn sowie keine Kalibrierungsdaten vorliegen oder generiert werden können.
- Anpassung des Energielinien-Gefälles: Das Gefälle kann für jede Sturzbahn angepasst werden. Im einfachsten Fall erfolgt eine Anpassung des Gefälles und der potenziellen Reichweite an die Rauigkeit und/oder Form der potenziellen Fließlinie (Sturzbahn). Ein bekanntes Verfahren ist das α/β -Verfahren für Schneelawinen nach Lied & Bakkehøi (1980), das von Lied et al. (1995) für Lawinen in Österreich kalibriert wurde. Dabei wird die Größe des α -Winkels aus dem β -Winkel mit Hilfe einer Regressionsfunktion bestimmt. Der β -Winkel bezieht sich auf den β -Punkt. Dort wird das Gefälle der Sturzbahn geringer als 10° . Beim α/β -Verfahren besteht das Problem der automatischen Identifizierung des β -Punktes, da in einer Sturzbahn mehrere Verflachungen sein können, die aber nicht den eigentlichen β -Punkt darstellen. Der Ansatz ist für Kleinlawinen, die im Steilhang liegen bleiben, nicht kalibrierbar. Die Anpassung des Gefälles erfordert eine regionale Kalibrierung. Eine Anpassung des Gefälles kann auch über andere Faktoren mit direktem oder indirektem Bezug zur Anbruchsmasse wie z. B. für Lawinen mit der Höhenlage und Steilheit des Anbruchgebietes (Barbolini et al., 2011) erfolgen. Mit der Anzahl der Parameter nimmt aber auch der Rechenaufwand zu.

Der Ansatzpunkt des Winkels:

- Der Winkel kann von der Oberkante des Anbruchgebietes (Felsoberkante beim Steinschlag und Anbruchlinie bei Lawine) oder vom Zentrum der Anbruchfläche aus (Gravitationsgefälle, Heim, 1932) bestimmt werden.
- Schattenwinkel (Lied 1977, Evans & Hungr 1988): Für den Steinschlag wird auch der Schattenwinkel verwendet, der von der Unterkante der Auslösungsfläche (der Felswand) aus bestimmt wird.

Der Längenbezug (**Abbildung 6-1**):

- Der geometrische α - oder β -Winkel (Heim, 1932): Er wird aus der vertikalen Fallhöhe zwischen dem definierten Startpunkt und der planimetrischen Länge der direkten Verbindungsgeraden zum Endpunkt der Massenbewegung bestimmt.
- Der Fahrböschungswinkel (Heim, 1932): Er wird aus der vertikalen Fallhöhe zwischen dem definierten Startpunkt und der planimetrischen Länge der tatsächlichen (gekrümmten) Sturzbahn bis zum Endpunkt der Massenbewegung bestimmt. Weil die gekrümmte, der tatsächlichen Fließlinie folgende Sturzbahn länger ist, als die direkte Verbindungslinie, sind Winkel der Fahrböschung immer gleich oder flacher als geometrische.

Die Vorteile empirisch-statistischer Modelle sind:

- Die Modelle erfordern keine singulären Startflächen (Grunddispositions-Ansatz A) und keine exakt definierten Anbruchsmassen. Für die Modellierung von singulären Startflächen und von realistischen Anbruchsmassen fehlen flächendeckend verfügbare Daten. Der Grunddispositions-Ansatz A führt zu stark fragmentierten Startflächen. In weiterer Folge entsteht eine mosaikartig zerissene Schutzwaldkulisse, die als Planungsgrundlage für die Waldbewirtschaftung ungeeignet ist. Um sinnvolle Einheiten für das Waldmanagement zu erhalten müssen Methoden zur Zusammenfassung entwickelt werden (Arrondierung).
- Empirisch-statistische Modelle sind einfacher anzuwenden als physikalische Modelle. Vor allem topografische Modelle erfordern nur ein DGM und somit eine minimale Datenlage.
- Sie erfordern keine fallspezifische Expertenkalibrierung.
- Der Rechenaufwand ist verhältnismäßig gering.

Die Nachteile empirisch-statistischer Modelle sind:

- Es handelt sich um keine globalen Modelle. Sie sind nur im Rahmen der Kalibrierungsdaten gültig.
- Einfache, aber "schnelle" Modelle ohne Faktoren zur Anpassung an die potenzielle Anbruchsmasse und die jeweilige Sturzbahn sind ungenau und für bestimmte Prozessstypen wie z. B. Staublawinen und für komplexe Geländeformen nicht geeignet.
- Der Ansatz eines minimalen Pauschalgefälles führt zu starker Überschätzung, das mittlere Pauschalgefälle zu Über- und Unterschätzungen der potenziellen Reichweite.

Physikalisch-deterministische Modelle

Physikalische Prozessmodelle basieren auf einer physikalischen Beschreibung der involvierten Prozessabläufe. Daher handelt es sich um globale Modelle. "Die mathematische Umsetzung der meist vereinfachten physikalischen Ansätze ist kompliziert und erfordert hohen Aufwand an Daten und Rechenzeit" (Hübl, 2012).

Die Reichweite und seitliche Ausdehnung der Prozesse kann mit physikalischen Modellen am genauesten bestimmt werden. Ihre Vor- und Nachteile sind komplementär zu den empirisch-statistischen Modellen. In Bezug auf GRAVIPROFOR sind folgende Nachteile entscheidend:

Die Modelle erfordern singuläre Startflächen und definierte Anbruchsmassen. Es gibt bereits Grunddispositionsmodelle nach dem Ansatz A. Für den Prozess Lawine wurden solche Modelle von [Gruber \(2001\)](#), [Maggioni et al. \(2002, 2003\)](#), [Maestro \(2004\)](#), [Gruber & Baltensweiler \(2007\)](#) sowie [Suk & Klimánek \(2011\)](#) publiziert. Grenzen für die Anwendung solcher Methoden setzen aber die implizierten Randbedingungen, z. B. die minimale Größe der potenziellen Anbruchflächen¹³ ([Perzl et al. 2011](#), [Perzl & Walter 2012 a](#)), die regionale, datenspezifische Kalibrierung und somit geeignete Grenzwerte für die geomorphologischen und klimatischen Dispositionsfaktoren.

Die physikalischen Lawinenmodelle sind für große Lawinen optimiert. Sie sind für Nassschnee- und Kleinlawinen nur bedingt geeignet.

In Bezug auf Steinschlag fehlen flächendeckende Daten über potenzielle Blockgrößen. Eine umfangreiche Darstellung von Steinschlag-Prozessmodellen (Reichweitenmodellen) geben [Melzner & Prehn \(2012\)](#). [Melzner & Prehn \(2012\)](#) argumentieren, dass es nicht sinnvoll sein kann (physikalische) Prozessmodelle für große Untersuchungsgebiete zu verwenden, da die Datenlage zu schlecht ist, um den komplexen Algorithmen der 3D-Modelle gerecht zu werden. Ihr Vergleich von einem topografischen (STONE, [Guzetti et al. 2002](#)) und einem physikalischen Ansatz (Rockyfor3D, [Dorren 2012](#)) ergab ähnliche Ergebnisse. In einigen Bereichen lieferte der einfache empirische Ansatz sogar bessere Ergebnisse.

Der Vorbereitungs- und Rechenaufwand: Für eine regionale Anwendung zur Ausweisung der Schadenspotenziale aus Waldflächen sollte das verwendete Modell auch für größere Gebiete (> 100 km²) mit vertretbarem Rechenaufwand auf Standard-Rechnern angewendet werden können. Erfahrungen aus ähnlichen Projekten ([vgl. Giamboni, 2008](#)) zeigen (z. B. für den Prozess Lawine), dass für eine großflächige Modellierung mit 2-dimensionalen physikalisch-numerisch basierten Modellen selbst unter Verwendung von Rechner-Clustern mit einem großem Zeitaufwand gerechnet werden muss. Der Rechenaufwand würde die gesamte Projektlaufzeit von GRAVIPROFOR übersteigen.

Die Rückrechnung: Das verwendete Modell sollte über eine Funktionalität zur automatischen Rückrechnung von dem vom Prozess getroffenen Objekt zum Prozesspfad bis zur Anbruchzone bereitstellen. Die Erfahrungen aus ähnlichen Arbeiten ([Giamboni 2008](#), [Bauerhansl et al. 2009](#), [Perzl et al. 2011](#)) zeigen, dass eine solche Funktionalität für eine konsistente Ausscheidung der Schutzwaldkulisse im Sinne der Definition nach **Abbildung 1-1** und **Tabelle 4-1** notwendig ist. Dieser für die Ausweisung von Wald mit Objektschutzfunktion notwendige Schritt wird oft (automatisiert) mit nicht dafür entwickelten Ersatzverfahren durchgeführt (den "watershed" Methoden). Es sind komplexe und nicht zuverlässige Verschneidungsalgorithmen zwischen dem Prozess- und Objektraum sowie der Waldfläche erforderlich. Der Aufwand für dieses post-processing ist erheblich.

¹³ Die relevante Flächengröße lässt sich nicht ohne weiteres von vorne herein festlegen, da sie auch von der Sturzbahn abhängig ist. Sie müsste genau genommen für jeden potenziellen Lawenstrich, für jeden möglichen Anbruchbereich, iterativ durch Simulation mit dem physikalischen Modell bestimmt werden. Der damit verbundene Aufwand ist nicht zu bewältigen. Die Grenzwerte sind daher auch von der Machbarkeit geprägt. Sehr kleine Minimalgrößen erfordern sehr viele Durchläufe und erhöhen den Rechenaufwand. Daher werden größere Auflösungen bevorzugt. Aber auch kleine Startflächen können für ein Schadenspotenzial relevant sein.

Es sind den Autoren derzeit keine physikalischen (und topografischen) Modelle bekannt, die diese Funktionalität bereitstellen. Auch verhindern nicht quelloffene ("open-source") Modellcodes bzw. Lizenzrechte die Adaption vorhandener Modelle an die Anforderungen von GRAVIPROFOR.

In Bezug auf den machbaren Rechenaufwand waren für die Anwendung in GRAVIPROFOR auf überregionalem Maßstab relativ einfache empirisch-topografische Reichweiten-Modelle nach dem Pauschalgefälle-Ansatz in Verbindung mit Multiflow-Algorithmen zur Abbildung der möglichen seitlichen Ausbreitung geeignet (vgl. Zimmermann et al. 1997, Gamma 1999, Loye et al. 2008, Loye et al. 2009, Perzl et al. 2011, Berger et al. 2012, Melzner & Prehn 2012).

Für die Modellierung des potenziellen Prozessraums (der Reichweite) von Steinschlag und Lawinen wurde ein am BFW entwickeltes topografisches Reichweitenmodell verwendet:

- Das Trajektorien können wahlweise nach dem D8- oder dem Multiple-flow-Algorithmus bestimmt werden.
- Das Modell bestimmt die Reichweite nach dem Pauschalneigungsansatz.
- Das Modell enthält eine Funktionalität zur Rückrechnung vom getroffenen Objekt auf den Prozesspfad bis zur Startfläche.

Das Modell ist eine Weiterentwicklung des von Klebinder et al. (2009) entwickelten Modells mit einer erheblichen Erweiterung der Rechenkapazität zur Verarbeitung von großen Flächen und von zahlreichen Fließwegen im Multiple-flow-Betrieb.

Bei der D8- oder FD8-Methode ("single neighbour flow algorithm" oder "deterministic 8 algorithm", O'Callaghan & Mark 1984) wird ausgehend von einem Startflächenpixel jeweils jener der acht benachbarten Zellen gefolgt, die am tiefsten liegt. Weisen zwei benachbarte Zellen die gleiche Höhe auf, so wird die Zelle gewählt, die am nächsten in Richtung der Bewegung des Prozesses liegt. Es kommt dadurch zu einer schnellen Kanalisation des Abflusses ohne seitliche Prozessausbreitung. D8-Trajektorien-Modelle sind nicht immer in der Lage die Fließrichtung hydrologisch exakt nachzuvollziehen, da sie nur acht Fließrichtungen erlauben und den "Fließprozess" immer nur auf die tiefste Zelle konzentrieren¹⁴. Dadurch können vor allem im Bereich konvexer Kegel unrealistische Fließmuster entstehen. Im gleichmäßigen Gelände ohne ausgeprägte Rippen-Runsen-Gliederung berechnet der D8-Algorithmus parallel verlaufende Fließlinien. Der D8-Algorithmus ist vor allem für Prozesse geeignet, die eine relativ geringe oder durch schwer abschätzbare Sprünge aus der Fließrichtung mehr zufällige seitliche Ausbreitung haben. Der D8-Algorithmus ist daher für den Prozess Steinschlag besser geeignet als für Lawinen.

Multiple-flow-Algorithmen (MFD) verteilen den Abfluss auf alle tieferliegenden Nachbarzellen des Startflächenpixels. Beim Multiple-flow-direction-Algorithmus (MD8) nach Freemann (1991) wird der Abfluss proportional zum Neigungswinkel zwischen der Startzelle und den acht Nachbarzellen auf alle tieferliegenden Zellen verteilt. Je nach Gewichtung einzelner Parameter im entsprechenden Algorithmus können so sehr breite potentielle Abflusspfade modelliert werden, die bei konvexem Gelände die Prozessausbreitung erheblich überschätzen können. Daher wurden adaptierte MFD-Algorithmen entwickelt (Tarboton, 1997). Beim in GRAVIPROFOR verwendeten Modell wird ein modifizierter Multiple-flow Ansatz verwendet, bei dem der Abfluss aus einer Zelle jeweils an die Nachbarzelle mit dem steilsten Gradienten (wie bei D8) sowie auch zu tieferliegenden Zellen mit einer maximalen Abweichung der Fließrichtung von 45° zur tiefsten Zelle erfolgt. Es erfolgt keine proportionale Verteilung (vgl. Tarboton, 1997), da das Ziel der Modellierung der Fließpfade der mögliche Prozessraum und nicht eine Fließstreuung ist.

¹⁴ Es gibt beim single flow keinen divergierenden Abfluss.

Der nach dem D8- oder dem MFD-Ansatz modellierte Fließpfad endet, wenn der ausgewählte Fahrböschungswinkel überschritten wird. Das Modell arbeitet also noch mit einem pauschalen Reibungswinkel. Die Festlegung der Fahrböschungswinkel für die Prozesse Lawine und Steinschlag erfolgte mit statistischen Methoden.

Das Modell gibt alle Trajekturen sowie deren Startpositionen aus, die ein Objekt erreichen (die sogenannten "Treffer"). Dadurch wird das Schadenspotenzial der potenziellen Prozessräume automatisch ohne postprocessing ermittelt. Das Modell trennt Prozesszonen mit und ohne Schadenspotenzial von einander. Bei der ursprünglichen Version [Klebinder et al. \(2009\)](#) wurde die gesamte Sturzbahn mit Schadenspotenzial bis zum Ende des Fließpfades ausgegeben. Das führt zu einer Überschätzung der Schutzwaldkulisse. Waldflächen in der Sturzbahn unterhalb von zu schützenden Objekten werden als schadensrelevante Zonen ausgewiesen. Die adaptierte Version schneidet die Sturzbahn beim letzten Objekttreffer ab. Außerdem kann bei der Rückrechnung der gesamten Sturzbahn bis zum Startpixel eine Eigenschaft der getroffenen Objekte zugewiesen werden. Damit ist es möglich, der schadensrelevanten Prozesszone die höchste betroffene Objektklasse im Sinne eines potenziellen Schadens zuzuweisen.

6.1 STEINSCHLAG

Das Grunddispositionsmodell Steinschlag bestimmt die potenziellen Auslösungsflächen von Felssturz- bzw. Block- und Steinschlagereignissen. Das GRAVIPROFOR-Grunddispositionsmodell ist darauf ausgerichtet Felsflächen, Schutt- und Geröllhalden sowie grobskelettreiche Böden zu identifizieren, von denen durch verschiedene natürliche Auslösungsprozesse Steinschlag ausgehen könnte. Auf Waldflächen wurde auch die Auslösung von Steinschlag durch Entwurzelung von Bäumen infolge von Windwurf und Schneedruck sowie durch die Waldarbeit berücksichtigt. Beim ISDW-Konzept basiert die Klassifikation des Gefahrenpotenzials auf der Hangneigung in der Sturzbahn und der potenziellen Blockgröße. Das ISDW-Konzept kann für die Klassifikation von potenziellen Sturzzonen herangezogen werden, auch wenn lokale Angaben zu den Blockgrößen fehlen ([siehe dazu Perzl et al., 2011](#)). Auf die großflächige Modellierung von Steinschlag-Startflächen ist das Konzept nicht ausgerichtet.

Für GRAVIPROFOR wurde nach einer Analyse der verfügbaren Datengrundlagen und Methoden ([Perzl et al., 2014 b](#)) ein empirisch-statistischer Ansatz verwendet, der mit den für ganz Österreich verfügbaren Daten umsetzbar war. Der Grenzneigungswinkel (GNW) beruht auf der Erfahrung, dass steile Flächen meistens felsdurchsetzt oder Felsflächen sind. Über die Hangneigung können somit potenzielle Auslösungsflächen identifiziert werden. Der umgesetzte Ansatz beruht auf den GNW für in Niederösterreich auftretende geologische Großeinheiten nach [Proske & Bauer \(2013\)](#). Diese GNWs wurden für das Projekt MoNOE des Landes Niederösterreich durch Vermessung der flachsten Auslösungsflächen der lithologischen Homogenbereich im Gelände oder auf Basis von Orthofotos und Geländemodell bestimmt ([Proske & Bauer, 2013](#)).

Da sich diese GNW auf ein Geländemodell mit einer Auflösung von 1 m beziehen ([Proske et al., 2011](#)), war eine Umrechnung auf die Auflösung von 10 m erforderlich. Dazu wurde das für GRAVIPROFOR generierte DGM mit 10 m Auflösung mit DGMs verschiedener Auflösung von 1 bis 50 m auf der Basis von 1.000 Stichproben verglichen. Es wurde berechnet, bei welcher Hangneigung die Auflösungen den gleichen Flächenanteil am DGM ergeben. Daraus ergab sich ein Diagramm zur Anpassung der Hangneigungen aus DGMs verschiedener Auflösung.

Da die GNW nach [Proske & Bauer \(2013\)](#) nach lithologischen Einheiten differenziert sind, musste eine für ganz Österreich verfügbare geologische Karte herangezogen werden. Dazu stand nur die geologische Übersichtskarte KM500 Geologie im Maßstab 1:500.000 ([Weber, 1997](#)) zur Verfügung.

Die GNW nach [Proske & Bauer \(2013\)](#) wurden nach der Ähnlichkeit den lithologischen Einheiten der KM500 Geologie zugeordnet (**Tabelle 61-1**). Sie wurden reduziert und abgerundet.

TABELLE 61-1: GRAVIPROFOR GRENZNEIGUNGSWINKEL

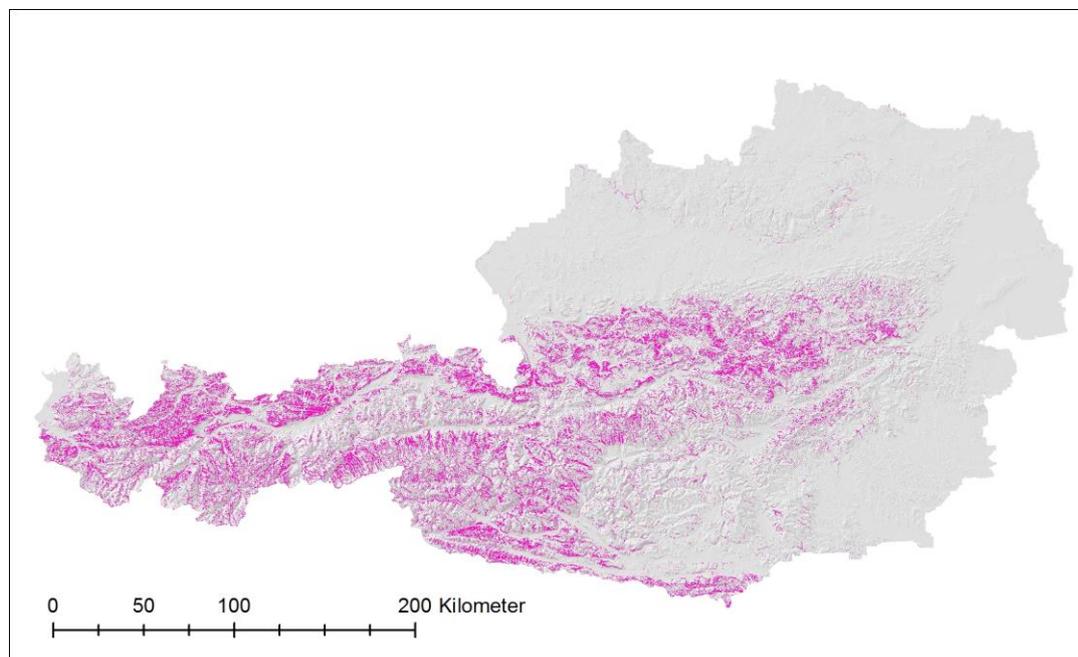
FEATUREID	Einheit nach KM500 Geologie		GNW [°] für die Auflösung		
	UEBER1_DE	LITHOL_DE	1 m	10 m	abgerundet
1	Böhmische Masse	Amphibolit	50,0	47,4	47
9	Böhmische Masse	Granitoid (Südböhmischer Pluton)	50,0	47,4	47
14	Böhmische Masse	Granulit	50,0	47,4	47
8	Böhmische Masse	Klastika (Perm)	44,0	41,7	41
13	Böhmische Masse	Marmor	50,0	47,4	47
63	Böhmische Masse	Migmatit	50,0	47,4	47
11	Böhmische Masse	Orthogneis	50,0	47,4	47
10	Böhmische Masse	Paragneis, Glimmerschiefer	48,0	45,0	45
15	Böhmische Masse	Ultraschist	50,0	47,4	47
17	Helvetische Zone i.w.S.	(Lieben-/Feuersteiner Decke)	42,0	39,7	39
16	Helvetische Zone i.w.S.	Kontinentalrandsediment	38,0	36,0	36
46	Ostalpine Einheiten (Kristallin)	Amphibolit	50,0	47,4	47
43	Ostalpine Einheiten (Kristallin)	Granitoid	50,0	47,4	47
	Ostalpine Einheiten (Karbonat)	Karbonatgestein	42,0	39,7	39
	Ostalpine Einheiten	Klastika	42,0	39,7	39
	Ostalpine Einheiten (Altkristallin)	Kristallin	50,0	47,4	47
47	Ostalpine Einheiten (Altkristallin)	Marmor	50,0	47,4	47
45	Ostalpine Einheiten (Altkristallin)	Orthogneis	50,0	47,4	47
44	Ostalpine Einheiten (Altkristallin)	Paragneis	48,0	45,0	45
39	Ostalpine Einheiten	pelitisch-psammitisches Sediment	46,0	43,4	43
37	Ostalpine Einheiten	Phyllit, Metaklastika, Metavulkanit	47,0	44,0	44
	Ostalpine Einheiten	Porphyroid	47,0	44,0	44
58	Ostalpine Einheiten	Quarzphyllit	44,0	41,7	41
	Ostalpine Einheiten	Siliklastika	44,0	41,7	41
48	Ostalpine Einheiten (Kristallin)	Ultraschist	50,0	47,4	47
41	Ostalpine Einheiten	Vulkanit	50,0	47,4	47
	Penninische Einheiten		46,0	43,4	43
31	Penninische Einheiten	Amphibolit	47,0	44,0	44
23	Penninische Einheiten	Eklogit	47,0	44,0	44
22	Penninische Einheiten	Grünschiefer, Prasinit, Serpentin	47,0	44,0	44
	Penninische Einheiten	Metasediment	46,0	43,4	43
29	Penninische Einheiten	Metasediment, Metavulkanit	46,0	43,4	43
30	Penninische Einheiten	Migmatit, Anatexit, migmatischer Paragneis	47,0	44,0	44
19	Penninische Einheiten (Flyschzone)	Ophiolit	46,0	43,4	43
28	Penninische Einheiten	Orthogneis	47,0	44,0	44
21	Penninische Einheiten	Ozeanisches Metasediment	46,0	43,4	43
59	Periadriatische Intrusivgesteine	Ganggestein	48,0	45,0	45
52	Periadriatische Intrusivgesteine	Granitoid	48,0	45,0	45
53	Periadriatische Intrusivgesteine	Tonalit	50,0	47,4	47
	Quartär	(Alluvien, Gletscherschutt)	38,0	36,0	36
56	Südalpine Einheiten	Kalk, Feinklastika	42,0	39,7	39
54	Südalpine Einheiten	Karbonatgestein	43,0	40,6	40
55	Südalpine Einheiten	Klastika und Karbonatgestein	42,0	39,7	39
57	Südalpine Einheiten	Phyllit	47,0	44,0	44
60	Südalpine Einheiten	Porphyroid	47,0	44,0	44
	Tertiärbecken	(Molasse, Klippen)	46,0	43,4	43
6	Tertiärbecken	Andesit, Dazit, Trachyt	48,0	45,0	45
7	Tertiärbecken	Basalt, Basanit, Nephelinit, Tuff	48,0	45,0	45

Die Polygone der KM500 Geologie wurden in ein Rastermodell der abgerundeten GNW mit 10 m Auflösung transformiert.

Um Steinschlagauslösung durch Windwurf, Waldarbeit und Baumsturz zu berücksichtigen, wurde für alle Waldflächen ein GNW von 36° definiert. Dieser Wert entspricht dem (niedrigsten) GNW für Hangschutt. Dazu wurde der GRAVIPROFOR-Waldlayer ([Perzl et al. 2014 c](#)) verwendet. Allen Zellen der Kategorie Strauchfläche oder Wald wurde unabhängig vom GNW nach der lithologischen Einheit ein GNW von 36° zugeordnet. Um Wertsprünge an den Einheitsgrenzen zu vermeiden, wurden die GNW interpoliert. Die Interpolation erfolgte durch die Berechnung des Mittelwerts in

einem Radius von 300 m mit einem gleitenden Fenster (fokale Statistik). Alle Rasterzellen mit einer Hangneigung größer oder gleich dem interpolierten GNW wurden als potenzielle Startflächen von Steinschlag markiert (**Abbildung 61-1**).

ABBILDUNG 61-1: MODELLIERTE STEINSCHLAG-AUSLÖSUNGSFLÄCHEN



Die Steinschlag-Auslösungsflächen wurden mit den als Objekte (Siedlungen und Infrastruktur) ausgewiesenen (vom Wald zu schützenden) Flächen nach dem Objektlayer (Perzl et al., 2014 c) korrigiert. **Tabelle 61-2** ist eine Zusammenstellung der Auslösungsflächen nach Bundesländern.

TABELLE 61-2: MODELLIERTE STEINSCHLAG-AUSLÖSUNGSFLÄCHE MIT INFRASTRUKTUR-KORREKTUR

Land	Landesfläche nach dem Rastermodell mit 10 m Auflösung		Modellierte Steinschlag-Auslösungsfläche					
			im Wald (Strauchfläche und Wald)		nicht im Wald		gesamt	
	[ha]	[%]*	[ha]	[%]**	[ha]	[%]**	[ha]	[%]***
Burgenland	396.177,0	4,7	103,4	98,1	2,0	1,9	105,4	0,0
Kärnten	953.802,3	11,4	68.093,5	55,4	54.816,3	44,6	122.909,8	12,9
Niederösterreich	1.918.626,4	22,9	31.097,1	94,0	1.979,4	6,0	33.076,5	1,7
Oberösterreich	1.197.882,1	14,3	41.739,8	73,2	15.285,0	26,8	57.024,8	4,8
Salzburg	715.618,2	8,5	69.851,8	64,5	38.533,8	35,5	108.385,6	15,2
Steiermark	1.640.295,1	19,6	88.971,3	75,4	29.041,6	24,6	118.012,9	7,2
Tirol	1.264.021,0	15,1	134.802,4	53,3	118.053,2	46,7	252.855,6	20,0
Vorarlberg	260.144,2	3,1	26.540,8	61,6	16.554,9	38,4	43.095,7	16,6
Wien	41.464,7	0,5	20,9	100,0	0,0	0,0	20,9	0,1
Σ Österreich	8.388.031,0	100,0	461.221,0	62,7	274.266,2	37,3	735.487,2	8,8

*In Prozent des Bundesgebiets, ** In Prozent der Auslösungsfläche (gesamt) pro Land, *** in Prozent der Landesfläche

Die Datensituation erlaubte keine Differenzierung des Gefahrenpotenzials über Merkmale der potenziellen Auslösungsflächen wie z. B. über den Auflockerungsgrad des Gesteins oder die mobilisierbaren Blockgrößen (Perzl et al., 2014 b). Daher wurde für GRAVIPROFOR keine Blockgröße und -form als Bemessungswert festgelegt. Die Bemessung des Gefahrenpotenzials setzt an der maximalen potenziellen Reichweite von Steinschlag ohne Beachtung der lokal tatsächlich möglichen Reichweite aufgrund der Form und Masse mobilisierbarer Blöcke an.

Auf Basis publizierter Fahrböschungswinkel wurde nach dem Ansatz von [Perzl \(2008 a\)](#), [Fey \(2010\)](#) und [Berger et al. \(2012\)](#) das von den potenziellen Auslösungsflächen ausgehende räumliche Gefahrenpotenzial nach **Tabelle 61-3** definiert:

TABELLE 61-3: GRAVIPROFOR GEFAHRENPOENZIALSTUFEN FÜR STEINSCHLAG

Gefahrenpotenzial	Fahrböschungswinkel	Beschreibung
1	$32 \leq < 35^\circ$	Gering: potenzieller Prozessraum mittlerer bis großer Ereignisse, große Ereignisse betreffen den Prozessraum selten, mittlere nur sehr selten; geringe bis mittlere potenzielle Prozesswirkung
2	$35 \leq < 38^\circ$	Mittel: potenzieller Prozessraum kleiner bis mittlerer Ereignisse, große Ereignisse betreffen den Bereich selten; mittlere bis starke potenzielle Prozesswirkung
3	$\geq 38^\circ$	Hoch: potenzieller Prozessraum kleiner bis großer Steinschlagereignisse; starke potenzielle Prozesswirkung

Die Berechnung der Sturzbahnen mit potenziellem "Objekttreffer" erfolgte getrennt für Startflächen im und außerhalb des Waldes, um den "aktiv" und "passiv" funktionalen Schutzwald bestimmen zu können. Der "aktiv" schutzfunktionale Wald stockt auf Flächen mit Grunddisposition für die Steinschlag-Auslösung. Auch solchen Flächen ist die Stabilität des Waldes in Bezug auf Wind und Schneedruck von großer Bedeutung. Der "passiv" schutzfunktionale Wald stockt in der Sturzbahn potenzieller Steinschlag-Ereignisse, die außerhalb des Waldes, meistens in steilen Felswänden, beginnen. Auch dieser Wald sollte "stabil" sein. Die Schutzwirkung des Waldes ist aber vorrangig eine Frage der Bestockungsdichte und der Waldtextur.

Von jeder Startfläche bzw. jedem Startpixel im und außerhalb des Waldes wurde die Sturzbahn mit potenziellem Objekttreffer jeweils für einen Fahrböschungswinkel von 32° , 35° und 38° gemäß **Tabelle 61-3** im D8-Modus berechnet. Es mussten also insgesamt 6 Durchläufe gerechnet werden. Jeder Durchlauf ergibt drei Klassen von Sturzbahnen: Steinschlag-Sturzbahnen, die nur Objekte der OKL 1, der OKL 2 oder der OKL 3 treffen könnten.

Um die Schutzwaldkulisse zu arrondieren, und die seitliche Ablenkung des Steinschlags bei der Schutzwaldkulisse zu berücksichtigen, wurden die Sturzbahnen jeder OKL eines Durchlaufs gepuffert. Daraus ergeben sich insgesamt 18 zum Teil überlappende potenzielle Prozessräume mit unterschiedlicher Bedeutung der Schutzwirkung des Waldes. Der Puffer sind entsprechend der räumlichen Auflösung der Startflächen 10 m breit ([Liener et al., 2008](#)). Um Artefakte der Aggregation der 18 Prozessebenen zu verringern, und um eine Arrondierung zu erreichen, erfolgte die Pufferung für die drei Ebenen der Gefahrenpotenzialklassen mit einem Majority-Filter.

Die überlappenden Prozessräume wurden zu einem Gesamtlayer mit neun Kennziffern und dem Wert 0 (für keine Sturzbahn oder kein Schadenspotenzial) aggregiert, der jeder Fläche (jeder Rasterzelle) bei Überlappung die jeweils höchste Kombination zuordnet. Die Kennziffer¹⁵ (der Code) ergibt sich aus der Multiplikation der Rangziffer der OKL mit 10. Zum Ergebnis wird die Rangziffer des Gefahrenpotenzials addiert. Ein Beispiel: wenn eine Sturzbahn mit einem Fahrböschungswinkel von 38° (Gefahrenpotenzial 3) ein Objekt der OKL 1 trifft, dann ist die Kennziffer 13 ($1 \cdot 10 + 3$).

Die Ergebnisse der Modellierung von Prozesszonen mit Schadenspotenzial sind in den **Tabellen 61-4, 61-5 und 61-6** zusammengefasst.

¹⁵ Diese Kennziffer dient nur der Codierung der Kombinationen. Es handelt sich nicht um die Schutzfunktionswertziffer nach der [WEP-V \(1977\)](#).

TABELLE 61-4: STEINSchLAG-PROZESSZONEN MIT SCHADENSPOTENZIAL AUS NICHT BEWALDETEN STARTFLÄCHEN

Land	Potenzielle Steinschlag-Sturzbahnen [ha] mit Schadenspotenzial von Steinschlag-Auslösungsflächen außerhalb des Waldes									
	Gefahrenpotenzial 1			Gefahrenpotenzial 2			Gefahrenpotenzial 3			Σ
	OKL1	OKL2	OKL3	OKL1	OKL2	OKL3	OKL1	OKL2	OKL3	
Burgenland	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	1,6	0,3	1,0	3,0
Kärnten	5.536,9	428,9	426,6	3.357,4	261,5	203,3	3.342,8	397,3	319,2	14.273,9
Niederösterreich	529,0	71,4	109,1	285,5	36,6	50,5	394,7	60,6	255,0	1.792,4
Oberösterreich	1.715,4	239,3	485,4	1.094,3	147,0	350,1	1.461,1	418,8	661,5	6.572,9
Salzburg	5.140,4	1.254,1	1.217,3	2.690,1	543,8	653,8	2.727,0	723,4	993,7	15.943,6
Steiermark	3.818,8	759,3	769,4	2.758,7	498,7	425,7	2.993,2	499,7	776,0	13.299,5
Tirol	20.708,6	3.260,6	3.928,6	12.504,1	1.860,8	2.359,5	10.837,8	1.847,1	2.857,2	60.164,3
Vorarlberg	2.324,1	497,9	499,3	1.269,9	308,1	199,9	1.331,1	332,6	331,0	7.093,9
Wien	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Σ Österreich	39.773,2	6.511,5	7.435,7	23.960,1	3.656,5	4.242,8	23.089,3	4.279,8	6.194,6	119.143,5

TABELLE 61-5: STEINSchLAG-PROZESSZONEN MIT SCHADENSPOTENZIAL AUS BEWALDETEN STARTFLÄCHEN

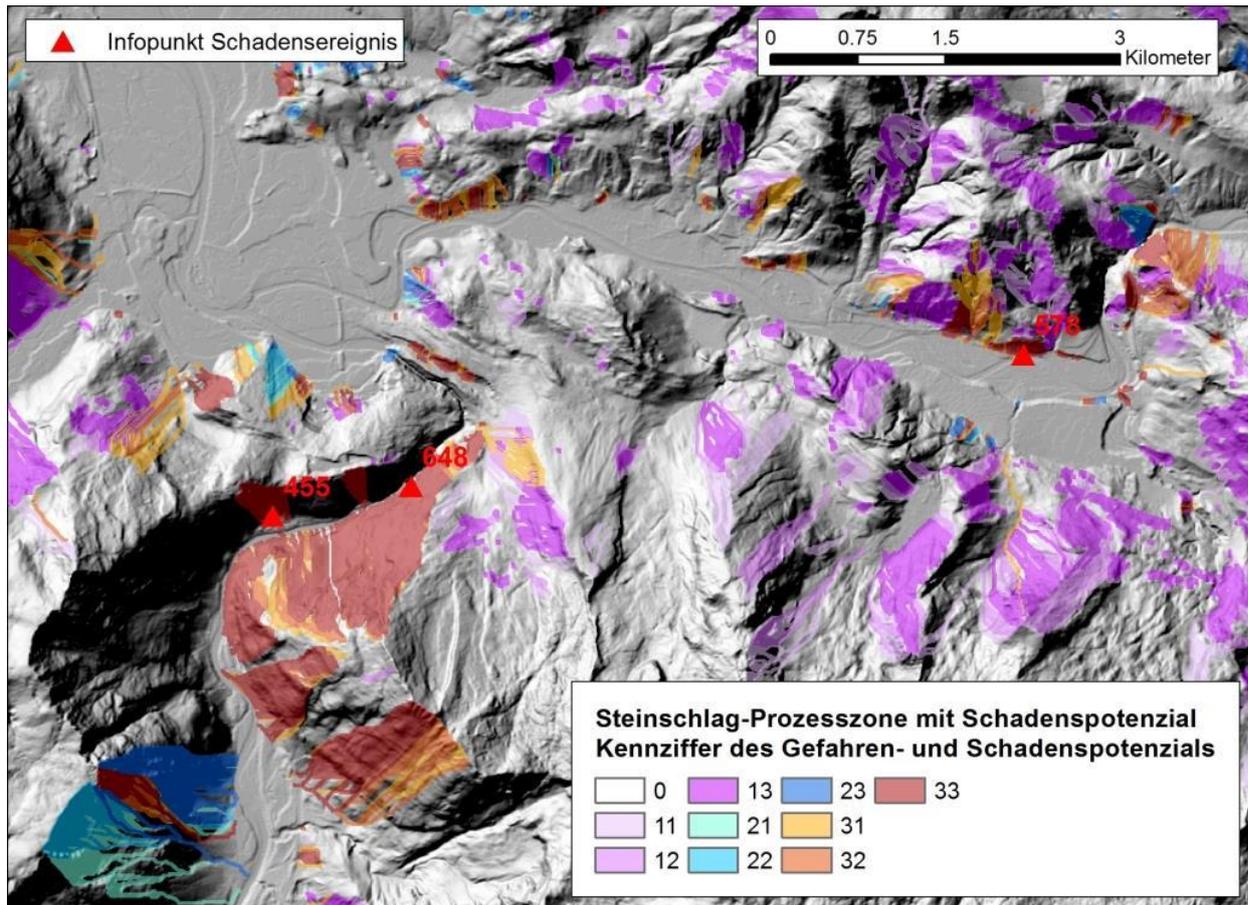
Land	Potenzielle Steinschlag-Sturzbahnen [ha] mit Schadenspotenzial von Steinschlag-Auslösungsflächen im Wald									
	Gefahrenpotenzial 1			Gefahrenpotenzial 2			Gefahrenpotenzial 3			Σ
	OKL1	OKL2	OKL3	OKL1	OKL2	OKL3	OKL1	OKL2	OKL3	
Burgenland	26,9	2,9	11,3	21,2	2,8	8,7	76,6	7,8	31,6	189,8
Kärnten	19.613,9	3.130,5	3.543,0	15.677,6	1.927,1	2.209,1	24.198,2	2.949,3	2.966,2	76.214,9
Niederösterreich	10.117,3	1.980,3	2.585,0	6.366,1	1.096,9	1.646,0	8.156,1	1.642,9	3.204,7	36.795,3
Oberösterreich	8.979,9	1.630,9	2.271,2	6.065,3	1.034,1	1.740,4	8.113,5	1.818,6	3.053,5	34.707,4
Salzburg	11.454,3	3.554,7	3.766,7	7.552,5	2.114,6	2.359,5	11.025,8	3.281,7	4.012,1	49.121,9,3
Steiermark	21.952,7	5.538,1	5.473,8	15.181,8	3.545,8	3.508,0	21.089,7	4.885,0	5.346,2	86.521,1
Tirol	34.709,0	6.104,1	9.981,7	25.361,8	3.639,6	6.681,6	33.273,4	4.705,3	9.864,2	134.320,7
Vorarlberg	5.508,0	1.274,5	1.663,5	4.069,6	737,9	1.019,8	6.547,1	1.008,6	1.881,4	23.710,4
Wien	2,1	0,7	9,3	2,7	0,1	6,7	1,8	0,6	14,5	38,5
Σ Österreich	112.364,1	23.216,7	29.305,5	80.298,6	33.130,3	19.179,8	112.482,2	20.299,8	30.374,4	441.620,0

TABELLE 61-6: STEINSchLAG-PROZESSZONEN MIT SCHADENSPOTENZIAL

Land	Potenzielle Steinschlag-Sturzbahnen [ha] mit Schadenspotenzial									
	Gefahrenpotenzial 1			Gefahrenpotenzial 2			Gefahrenpotenzial 3			Σ
	OKL1	OKL2	OKL3	OKL1	OKL2	OKL3	OKL1	OKL2	OKL3	
Burgenland	26,9	2,9	11,3	21,2	2,8	8,7	77,7	8,1	32,4	192,0
Kärnten	23.279,1	3.336,7	3.671,7	17.926,3	2.090,4	2.302,1	26.457,2	3.217,3	3.128,8	85.409,6
Niederösterreich	10.291,7	2.001,6	2.614,9	6.463,7	1.115,9	1.651,6	8.381,0	1.670,6	3.331,2	37.522,2
Oberösterreich	9.822,7	1.713,3	2.441,6	6.579,3	1.094,1	1.857,7	8.910,0	2.006,9	3.368,1	37.793,7
Salzburg	13.991,8	4.040,5	4.244,8	8.785,1	2.260,8	2.566,5	12.140,4	3.484,7	4.168,4	55.683,0
Steiermark	23.985,4	6.019,4	5.891,1	16.809,6	3.857,2	3.730,1	23.010,1	5.182,6	5.743,0	94.228,5
Tirol	45.834,3	7.777,5	11.769,8	31.794,6	4.633,2	7.604,2	38.207,1	5.712,6	10.796,2	164.129,5
Vorarlberg	6.691,9	1.558,8	1.913,5	4.761,3	968,1	1.105,6	7.207,1	1.277,7	2.007,1	27.491,1
Wien	2,1	0,7	9,3	2,7	0,1	6,7	1,8	0,6	14,5	38,5
Σ Österreich	133.925,9	26.451,4	32.568,0	93.143,8	16.022,6	20.833,2	124.392,4	22.561,1	32.589,7	502.488,1

Abbildung 61-2 zeigt einen Ausschnitt der modellierten Steinschlagprozesszonen mit einem Schadenspotenzial aus dem Land Salzburg mit verorteten Steinschlag-Schadensereignissen. Die Prozesszonen sind nur bis zum letzten (untersten) getroffenen Objekt dargestellt, da der Wald unterhalb des Objekts keine Objektschutzfunktion vor dem gravitativen Prozess hat.

ABBILDUNG 61-2: BEISPIEL STEINSCHLAG-PROZESSZONEN IM LAND SALZBURG



Die Evaluierung mit verfügbaren Ereignisdaten aus dem Land Salzburg ergab, dass das Ergebnis, eine Gefahrenhinweiskarte (Gefahrenpotenzialkarte), als Grundlage für die Ausweisung von Wald mit Objektschutzfunktion geeignet ist (Perzl et al., 2014 b). Von 102 in den letzten 5 Jahren verorteten, gültigen Steinschlag-Schadensereignissen lagen die Schadensorte in 100 Fällen bzw. bei 98 % in der modellierten Prozesszone.

6.2 SCHNEELAWINE

Das Grunddispositionsmodell Lawine bestimmt potenzielle Anbruchflächen von Lawinen ohne Berücksichtigung der Schutzwirkung des Waldes und von Schutzbauten.

In Bezug auf die Aussage gibt es zwei Arten von Dispositionsmodellen: (1) Modelle, die eine (relative) Wahrscheinlichkeit und/oder Intensität eines Lawinenanbruchs angeben (z. B. Pfister 1997, Bebi 1999, Gruber 2001), und (2) Modelle die nur darstellen, ob eine Fläche ein potenzielle Anbruchfläche ist oder nicht (z. B. Ciolli 1998, Rauter 2006). Nach dem räumlichen Grad der Konkretisierung gibt es Modelle (A) zur Abgrenzung von singulären Anbruchflächen und (B) zur Bestimmung von Flächenbereichen mit Anbruchspotenzial (Perzl et al., 2011).

Einfache Konzepte für die forstliche Planung zur Beurteilung eines möglichen Lawinenanbruchs (im Wald) aufgrund von standörtlichen Faktoren entwickelten u.a. bereits Langenegger (1979), Wullschlegler (1982), Pfister & Eggenberger (1988), Kaltenbrunner (1993), Perzl (1995), BUWAL (1996 b), Gauquelin (2006) und Eisl (2010). Es handelt sich um Systeme für die Geländeerhebung, entweder um Checklisten, meist mit großem Interpretationsspielraum, um Präferenzmatrizen oder um multikriterielle Entscheidungssysteme.

Pfister (1997) und Bebi (2002) entwickelten logistische Regressionsmodelle zur Abschätzung der relativen Wahrscheinlichkeit eines Lawinenanbruchs im Wald, die mit GIS Methoden auf die Fläche übertragbar sind. Die statistischen Modelle enthalten jedoch keine Kriterien zur Regionalisierung. McClung (2003) entwickelte ein entsprechendes multivariates Frequenz-Intensitätsmodell. Das Konzept enthält keine Methoden zur räumlichen Diskretisierung. Setzt man die Waldparameter dieser Modelle wie z. B. den Überschirmungsgrad auf "0" erhält man eine Grunddisposition.

In Gruber (2001), Maggioni et al. (2002), Maggione & Gruber (2003), Gruber et al. (2005) ist ein Modell zur Abgrenzung von singulären Anbruchflächen publiziert. Es wird für den Einsatz von physikalischen Reichweitenmodellen benötigt. Die Hauptprobleme dieses Modells sind die Definition einer minimalen Größe der potenziellen Anbruchfläche, geeignete Trennfaktoren für Geländekammern und nicht gekammertes Gelände sowie die Abgrenzung der Anbruchflächen nach unten. Der Ansatz führt zu stark fragmentierten Gefahrenpotenzialflächen im Wald.

Modelle zur Bestimmung von Flächenbereichen mit Anbruchspotenzial entwickelten u.a. Ciolli et al. (1998), Maestro Cano (2004), Ghinoi & Chung (2005), Rauter et al. (2006), Klebinder et al. (2009), Barbolini et al. (2011), Biskupič & Barka (2011), Suk & Klimánek (2011), Simea (2012) sowie Pistocchi & Notarnicola (2013). Sie eignen sich für den Einsatz von empirisch-topografischen Prozessmodellen.

Ein Hauptproblem aller Modelle ist die Festlegung geeigneter Grenzwerte für die eingesetzten geomorphologischen und klimatischen Dispositionsfaktoren. So enthält z. B. das Modell von Barbolini et al. (2011) keinen unteren Grenzwert für die Seehöhe ab der ein Gefahrenpotenzial für einen Lawinenanbruch besteht. Daher kann das Modell gar nicht für die Erstellung von großräumigen Gefahrenhinweiskarten eingesetzt werden.

Die regionalen (klimatischen) Verhältnisse beeinflussen die Anbruchgrunddisposition von Lawinen. Die Übertragung von Modellen und Angaben aus der Literatur ist daher nur bedingt möglich. Die Ergebnisse der publizierten statistischen Analysen geomorphologischer Faktoren sind zum Teil widersprüchlich. Das dürfte auch auf die Inhomogenität der jeweils verwendeten Daten zurückzuführen sein, da es keinen Erhebungsstandard gibt (Perzl & Walter, 2012 b). Es gibt derzeit keine allgemein anerkannte, generell gültige und regionalisierbare Grenzwerte für das klimatisch und geomorphologisch gegebene Lawinenanbruchspotenzial auf der Basis von Daten.

Für GRAVIPROFOR wurde der ISDW-Ansatz (die Bewertungsmatrix für das Gefahrenpotenzial Lawinenanbruch) des BMLFUW verwendet. Auch der ISDW-Ansatz beruht auf Angaben in der Literatur und auf Erfahrungswerte. Dieses Konzept für Felderhebungen musste für räumliche Modellierungen auf DGM-Basis modifiziert und mit dem Reichweitenmodell abgestimmt werden. Das modifizierte ISDW-Grunddispositionsmodell für Lawinenanbruch beruht auf drei Parametern:

- Die Schneedeckenhöhe: Als Indikator wurde wie beim ISDW-Modell die mittlere maximale Schneehöhe (MMXHS) der Klimanormalperiode 1961-1990 verwendet. Dafür stand das flächendeckende Schneehöhenmodell nach Perzl & Walter (2012 b) zu Verfügung.
- Die mittlere Hangneigung (MHN, abgeleitet aus dem ALS-DGM).
- Ein Trennfaktor zur Modellierung der Kammerung des Geländes mit Hilfe der Flow Accumulation des Reichweitenmodelles (abgeleitet aus dem ALS-DGM).

Die Hangneigung und die Schneehöhe sind die entscheidenden und über DGMs großflächig bestimmbaren Indiktoren des Lawinenanbruchpotenzials.

Die Angaben in der Literatur zum Hangeigungsbereich aktiver und potenzieller Lawinen liegen zwischen 10° und 60° mit zum Teil erheblichen Differenzen der vorgeschlagenen Grenzwerte. Bei der Festlegung von Grenzwerten besteht das Problem, dass eine Wechselwirkung mit anderen

Faktoren wie Hangform, Hangausrichtung und Oberflächenrauigkeit (Hopf 2000, Perzl 2005 b) sowie mit den klimatischen Bedingungen (Perzl et al. 2011, Tracz 2012) besteht. Am häufigsten werden pauschal als untere und obere Grenzwerte des Bereichs mit einem Anbruchspotenzial 28° bis 55° Hangneigung angesetzt.

Lawinen können nur in Gebieten entstehen, in denen die Schneedecke eine gewisse Höhe erreicht. Da auch der Dispositionsfaktor Schneehöhe von anderen Merkmalen wie der Hangneigung, der Hangausrichtung und der Oberflächenrauigkeit abhängt, ist es auch für diese Merkmal schwierig regional oder lokal geeignete Grenzwerte anzusetzen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass es auch in schneearmen bzw. tiefen Lagen überdurchschnittliche ("extreme") Schneehöhen auftreten können, deren Häufigkeit allerdings relativ gering ist. Das bedeutet für ISDW und GRAVIPROFOR, dass Grenzwerte gefunden werden mussten, die eine zweckmäßige Kombination aus der Häufigkeit großer Schneehöhen und der zu erwartenden Magnitude von Lawinen in Gebieten mit geringen Schneehöhen sind. Dabei besteht auch das Problem, dass bei geringen Schneehöhen in tieferen Lagen infolge einer Durchfeuchtung der Schneedecke häufiger Lawinen auftreten können, als nach Starkschneefällen mit "extremer" Schneehöhe (Perzl & Walter, 2012 b). Zu beachten ist also auch die mittlere Lage der "Nassschneegrenze" und ihr Einfluss auf die Schutzwirkung des Waldes. Lockerschneelawinen können sich auch bei sehr geringen Schneehöhen von ca. 15 cm, Schneebrettlawinen ab ca. 10 bis 30 cm bilden (Perla 1977, Schaerer 1981, Teich et al. 2012 a). Sie haben dann aber ein verhältnismäßig geringes Zerstörungspotenzial. Perla & Martinelli (1976) sowie Schaerer (1981) gehen davon aus, dass zur Entstehung von größeren Lawinen eine Schneehöhe von mindestens 100 cm erforderlich ist. Schneebeli et al. (1997) schlagen einen Grenzwert von 50 cm für die 3-Tages-Neuschneehöhe und für die gesamte Schneehöhe vor. Für die großflächige Modellierung von Lawinenanbruchspotenzialen wird häufig die Seehöhe als Ersatzindikator der Schneehöhe verwendet, wenn flächendeckende Schneehöhenmodelle in geeigneter Auflösung fehlen. Die Schneehöhe ist mit der Seehöhe korreliert. Auch Grenzwerte für die Seehöhe müssen nach Klimaregionen differenziert festgelegt und interpoliert werden. Regionale Modelle der Schneehöhe bieten jedoch den Vorteil einer besseren regionalen, höhenzonalen und lokalen Anpassungsfähigkeit sowie der Klimasensitivität. Für das ISDW-Konzept wurde die MMXHS als Indikator des Gefahrenpotenzials festgelegt. Sie ist ein klimatischer Indikator für die Häufigkeit großer Schneehöhen und die Dauer der Schneebedeckung (Perzl & Kammerlander, 2010).

Nicht berücksichtigte Parameter des ISDW-Modells sind die sogenannte Reliefklasse und die Oberflächenrauigkeit. Die Reliefklasse ist ein nominales bis ordinales Komplexmerkmal. Sie beschreibt die Geländeform, die Hanglänge und die Größe der Geländekammern. Die Reliefklasse wurde eingeführt, weil es im Gelände sehr schwierig ist, Wölbungen anzusprechen. Es gibt aber einen Einfluss des Makro- und Mesoreliefs auf das Anbruchspotenzial. Auch bei räumlicher Modellierung auf DGM-Basis sind Wöbungsmerkmale erforderlich, um die Einzugsgebiete zu kammern, um um Anbruchflächen von einander zu trennen. Die Ansprache von Reliefklassen ist bis heute bei (nationalen) Waldinventuren üblich, wird aber zunehmend durch morphometrische Analysen auf Basis hoch aufgelöster digitaler Geländemodelle ersetzt. Eine Ansprache im Gelände ist erfahrungsgemäß schwierig und subjektiv. Der Faktor hat im Beurteilungsmodell ein geringes Gewicht. Die Oberflächenrauigkeit lässt sich nur im Gelände ansprechen. Sie kann nur bedingt aus hoch aufgelösten Geländemodellen abgeleitet werden.

Nach dem ISDW-Schema gemäß dem Beurteilungskonzept der WEP-R (2012) werden potenzielle Anbruchflächen vierstufig charakterisiert (**Tabelle 62-1**):

TABELLE 62-1: ISDW-GEFAHRENPOTENZIALKLASSEN

Gefahrenpotenzialstufe	Beschreibung der Gefahr (Potenzielle Häufigkeit und Intensität)
0	Keine relevante Gefahr bzw. keine Bedeutung der Gefahrenart
1	Geringe Gefahr (nur bei extremer variabler Disposition)
2	Mittlere Gefahr (auch bei mittlerer variabler Disposition)
3	Hohe Gefahr (auch bei geringer variabler Disposition)

Das allgemeine ordinale Klassifikationsschema nach **Tabelle 62-1** bedeutet speziell in Bezug auf Lawinenanbrüche, dass die Klassen "Auslösungswahrscheinlichkeiten" (im unbewaldeten Zustand) je nach der Lawinengefahrenstufe (der zeitlich variablen Disposition) beschreiben.

Ohne Berücksichtigung der Faktoren Oberflächenrauigkeit und Reliefklasse ergeben sich die ISDW-Gefahrenpotenzialstufen aus folgender Grundmatrix (**Tabelle 62-2**):

TABELLE 62-2: ISDW-MATRIX ZUR BESTIMMUNG DES GEFAHRENPOTENZIALS LAWINENANBRUCH

Matrix 1A1 Grunddisposition Lawine ↘		Mittlere maximale Schneehöhe [cm]					
		< 50	≥50 – 70	≥70 – 100	≥100 – 150	≥ 150 – 250	≥ 250
Hangneigung	≤ 29°	0	0	0	0	0	0
	> 28° - 34°	0	0	0	1	2	2
	> 34° - 39°	0	0	1	2	3	3
	> 39° - 55°	0	0	2	2	3	3
	> 55°	0	0	0	0	0	0

Bei der Erstellung des ISDW-Modells wurde angenommen, dass mit zunehmender Seehöhe bzw. Schneehöhe der Grenzwert der Hangneigung von potenziellen Anbruchsflächen abnimmt. Für submontanen Lagen bis zu einem Flächenmittel der mittleren maximalen Schneehöhe von 70 cm wurde ein unterer Grenzwert der Hangneigung von 34° angenommen. In den höheren Lagen sinkt der untere Grenzwert der Hangneigung von 34° auf 29° ab 100 cm Schneehöhe ab.

Ein Problem bei der ISDW-Entwicklung bestand darin, dass in Österreich keine geeigneten Daten zur Bestimmung der Klassengrenzen über geomorphologische und klimatische Faktoren zur Verfügung standen. Die BFW-Schadenslawinendatenbank (mit ca. 5.000 Ereignissen) enthält nur relativ wenige zuverlässige Datensätze mit Angaben zur Höhenlage, Hangneigung und Schneehöhe der Anbruchsflächen. Die Ereignisse wurden nicht exakt verortet. Bei stichprobenartigen Überprüfungen konnte festgestellt werden, dass viele der überprüften historischen Angaben nicht plausibel sind. Es standen für ISDW noch keine Daten zur Verfügung, um den Zusammenhang von Schneehöhe und Hangneigung mit einer Funktion zu beschreiben. Daher erfolgte die ISDW-Klassifikation nach Erfahrungswerten.

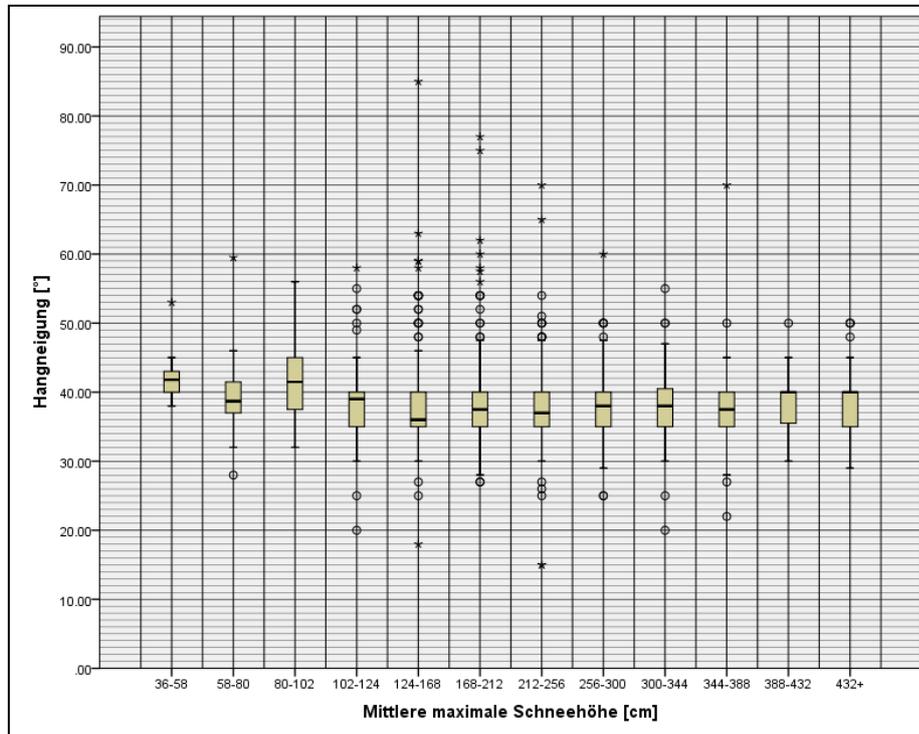
Für das Dispositionsmodell von GRAVIPROFOR wurden inzwischen verfügbare Daten¹⁶ aus Ereignisdokumentationen herangezogen. Die Daten umfassen verortete Anbruchsflächen oder nur (auf Plausibilität geprüfte) Angaben zur Seehöhe, Hangneigung und ungefähren Lage (Gemeinde, Flurname) des Anbruchsbereichs. Mit GIS-Methoden wurde den Ereignissen die mittlere maximale Schneehöhe nach dem Modell von [Perzl & Walter \(2012 b\)](#) zugeordnet. Insgesamt standen Daten von 1.432 Lawinenanbrüchen mit Angaben zur See- bzw. Schneehöhe und über die Hangneigung zur Verfügung. Die MMXHS wurde in zwölf Klassen eingeteilt.

¹⁶ Die Datenbeschreibung ist in [Perzl et al. \(2014 a\)](#) enthalten. Bei der Interpretation dieser Daten gilt es zu beachten, dass auch sie eine gewisse Verzerrung des Gefahrenpotenzials ergeben. Es handelt sich überwiegend um Schadensereignisse und dabei hauptsächlich um sogenannte Schifahrerlawinen. Auch die Schutzwirkung des Waldes und von Schutzbauten filtern die stattfindenden Ereignisse. Der größte Teil der Daten stammt aus den Wintern 2008/09 bis 2011/12.

Nach dem Ansatz explorativer Datenanalyse (Boxplot-Methode) von Tukey (1977) wurden für jede Klasse folgende Verteilungskennwerte der mittleren Hangneigung (**Abbildung 62-1**) und der maximale Hangneigung der Anbruchflächen bestimmt:

- die kleinste mittlere Hangneigung, die kein statistischer Ausreißer ist.
- das 1., 2. und 3. Quartil.
- die höchste mittlere Hangneigung, die kein statistischer Ausreißer ist.

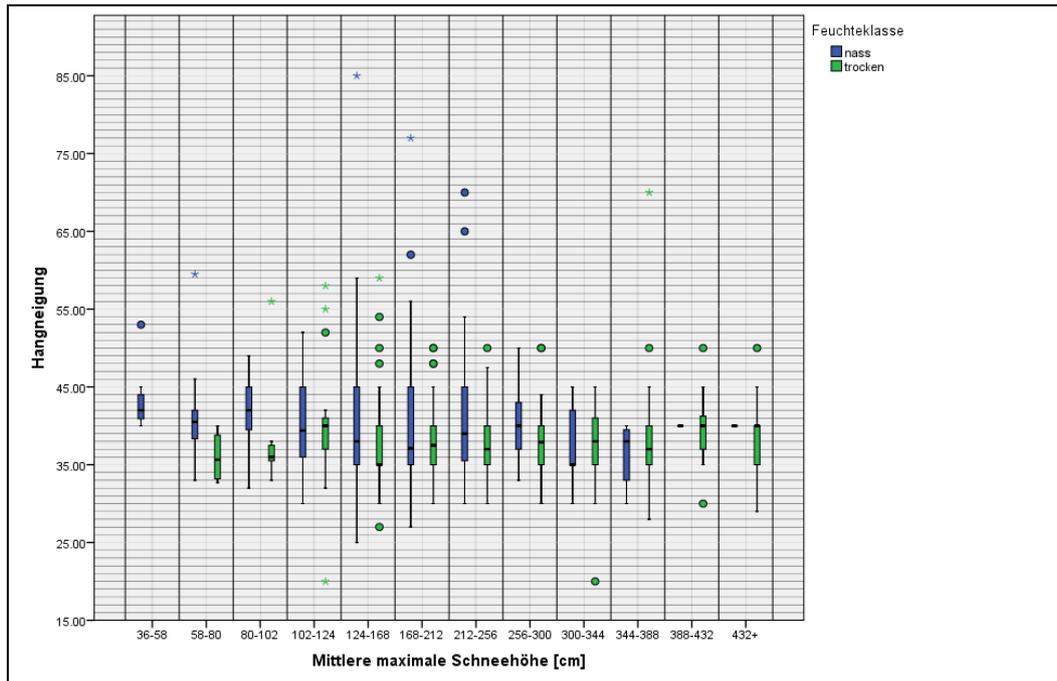
ABBILDUNG 62-1: BOXPLOTS DER MITTLEREN HANGNEIGUNG VON LAWINENANBRUCHSFLÄCHEN



Aus **Abbildung 62-1** ist ersichtlich, dass der niedrigste Wert der mittleren Hangneigung, der kein statistischer Ausreißer ist, mit zunehmender Schneehöhe bzw. Höhenlage von 38° auf ca. 29° in den Hochlagen abnimmt. Die oberen Tukey-Grenzen streuen wesentlich stärker und lassen keinen Zusammenhang erkennen. Das ist aus den Daten erklärbar. Der Median über alle Klassen liegt bei 37°, das 1. Quartil bei 35° Hangneigung.

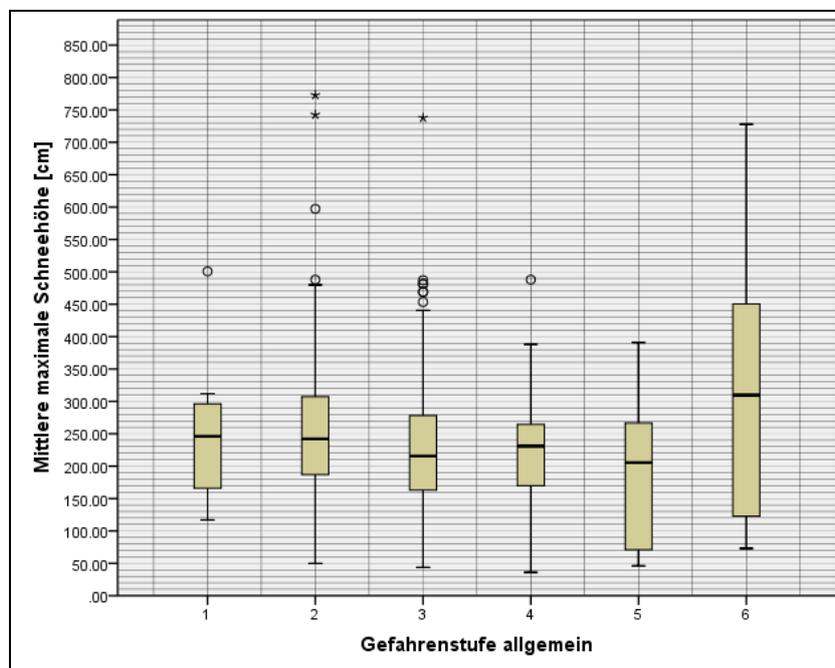
Zur Abgrenzung der Gefahrenpotenzialstufen wurde auch die Verteilung der Hangneigung über die Schneehöhenstufen einerseits in Nass- und Gleitschneelawinen und andererseits in trockene Lawinen gruppiert (**Abbildung 62-2**), und der Anteil der Nass- und Gleitschneelawinen analysiert. Der Anteil der Nassschneelawinen an den dokumentierte Lawinen nimmt mit der Höhenlage von 100 % im Submontan auf 16 % in den alpin-nivalen Regionen ab. Ab einer mittleren maximalen Schneehöhe von 80,5 cm beträgt der Anteil der Nass- und Gleitschneeanbrüche an den dokumentierten Lawinen weniger als 75 %.

ABILDUNG 62-2: GRUPPIERTE BOXPLOTS DER MITTLEREN HANGNEIGUNG VON LAWINENANBRUCHSFLÄCHEN



Nach dem Dispositions-konzept von [Kienholz \(1995\)](#) besteht eine große Grunddisposition für die Auslösung einer Naturgefahr, wenn bereits bei geringer variabler Disposition Ereignisse ausgelöst werden. Ein bekannte Maß für die variable Lawinendisposition ist die Lawinenwarnstufe. Mit zunehmender Gefahrenstufe von 1 (gering) bis 5 (sehr groß) steigt die Wahrscheinlichkeit der Auslösung von Lawinen. Daher wurde auch die allgemeine Gefahrenstufe in die Untersuchung einbezogen (**Abbildung 62-3**).

ABILDUNG 62-3: VERTEILUNG DER SCHNEEHÖHEN AUF ANBRUCHSFLÄCHEN NACH GEFAHRENSTUFEN



Bei der Interpretation von Gefahrenstufen muss berücksichtigt werden, dass es sich dabei um kein exaktes, physikalisches Maß der variablen Disposition handelt, sondern um ein gutachtliches Komplexmerkmal, dass in Österreich von sechs verschiedenen Institutionen angesprochen wird. Die Gefahrenstufen werden vor allem zur Orientierung der Schitourengeher vergeben. Dadurch

besteht ein gewisser Fokus auf die Verhältnisse in den Hochlagen. Daten standen nur für 803 Fälle aus den letzten fünf Jahren zur Verfügung.

Die unterste Grenze, ab der bei definierter Lawinengefahr Lawinen angebrochen sind, liegt nach dem zur Verfügung stehenden Datensatz bei einer MMXHS von 36 cm. Aus der Verteilung ist zu erkennen, dass bei den Gefahrenstufen¹⁷ 1 bis 4 (gering bis groß) 75 % der Lawinen in Lagen in Lagen mit einer MMXHS von mehr als 171 cm angebrochen sind (**Abbildung 62-3**).

Auf Basis dieser explorativen Analysen wurden vier Grenzwerte und drei Grenzfunktion für das Gefahrenpotenzial Lawinenanbruch definiert, die auf die Fläche übertragbar sind (**Tabelle 62-3**):

TABELLE 62-3: GRAVIPROFOR-GRENZWERTE FÜR DIE ISDW-GEFAHREN-POTENZIALKLASSEN

Gefahrenpotenzial	Grenzwerte	Grenzbedingung/ -funktion	Eine Disposition für Lawinenanbrüche besteht
0	MMXHS < 50 cm	MMXHS < 50 oder MHN > 55	- sehr selten
0	MHN > 55°		- für kleine Lockerschneerutsche in Lagen ab 55° MHN und 10 cm MMXHS
1	MMXHS ≥ 50 cm	27,5774 + 409,821/MMXHS ≤ MHN ≤ 55	- selten, vor allem ab Gefahrenstufe 4-5 - in Lagen unter 80 cm MMXHS überwiegend Nass-/Gleitschnee
2	MMXHS ≥ 80 cm	33,8518 + 256,109/MMXHS ≤ MHN ≤ 55	- häufig - ab Gefahrenstufe 2-3 - vor allem ab Gefahrenstufe 4-5
3	MMXHS ≥ 171 cm	37,6593 + 117,885/MMXHS ≤ MHN ≤ 55	- sehr häufig - bereits ab Gefahrenstufe 1-2 - auch für große, trockene Schneebretter

Auf Basis der Analyse der verfügbaren Daten verschieben sich die ISDW-Grenzwerte der MMXHS zwischen Stufe 1 und 2 von 70 cm auf 80 cm und zwischen Stufe 2 und 3 von 150 auf 171 cm. Es muss dabei beachtet werden, dass diese Grenzwerte auf den verfügbaren Daten beruhen. Eine Erweiterung der Datenbasis könnte Verschiebungen zur Folge haben. Das Ausmaß dieser Verschiebungen lässt sich nicht abschätzen. Sie dürften aber nicht sehr groß sein, da bereits die ursprünglich nur gutachtlich gewählten Grenzwerte den datenbasierten sehr nahe kommen.

Die Literaturstudie zum Einfluss des Reliefs ([Perzl et al., 2014 a](#)) ergab, dass die publizierten Grenzwerte der Wölbung nur gering empirisch und statistisch abgesichert, sowie nicht übertragbar sind. Sie sind sehr stark vom verwendeten DGM, seiner Auflösung und Qualität, von der Methodik der Berechnung der Wölbung und von der Geometrie und Repräsentanz der Kalibrierungsdaten abhängig. Sie können bei höheren Auflösungen von 10 bis 20 m zu einer sehr starken Fragmentierung der Anbruchflächen führen. Das bewirkt unter Umständen eine Trennung von Anbruchflächen, die durch die Übertragung von Spannungsrissen verbunden sind, und eine nicht zweckmäßige Schutzwaldkulisse. Andererseits behindern höhere Auflösungen die Modellierung von stark ausgeprägten Rücken, die potenzielle Anbruchflächen begrenzen. Wölbungsgrenzwerte sind jedoch erforderlich, um Geländekammern zu trennen und um realistische Fließrichtungen der Lawinen zu erhalten. Es wurden daher keine Wölbungsgrenzwerte im engeren Sinn festgelegt, sondern ein Fließakkumulationsansatz umgesetzt. Die obersten zwei Rasterzellen der über die Schneehöhe und Hangneigung definierten Anbruchflächen wurden nicht als potenzielle Startflächen definiert.

Abbildung 62-4 zeigt das Ergebnis der flächendeckenden Bestimmung des Gefahrenpotenzials für Lawinenanbruch in Österreich. Die Flächenstatistik (**Tabelle 62-4**) ergibt insgesamt 1.413.323 ha

¹⁷ Lawinenanbrüche zu einem Zeitpunkt ohne Lagebericht wurden mit der Ziffer 6 codiert. In diesen Fällen existiert keine Aussage zur variablen Disposition.

Fläche mit Lawinenanbruchspotenzial. Das sind 17 % des Bundesgebiets. 59 % der Flächen mit Anbruchspotenzial sind Strauchflächen oder Wald.

ABBILDUNG 62-4: MODELLIERTE POTENZIELLE STARTFLÄCHEN SCHNEELAWINE

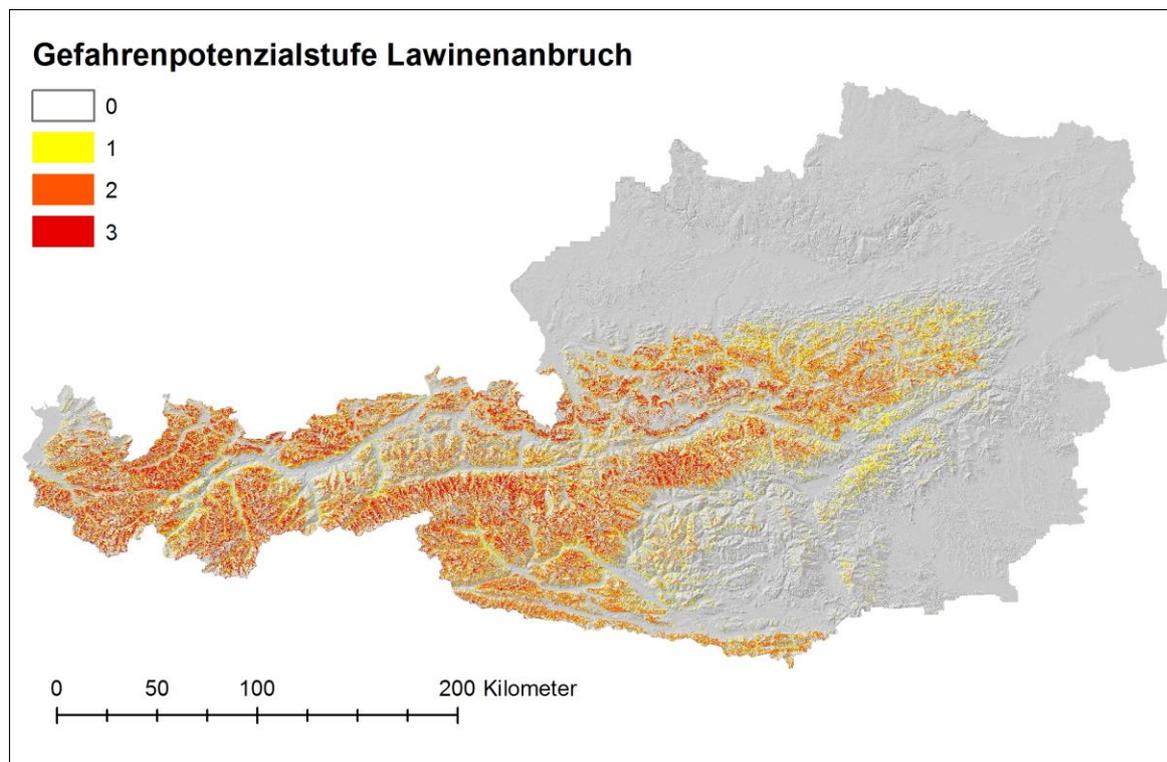


TABELLE 62-4: MODELLIERTE POTENZIELLE LAWINEN-ANBRUCHSFLÄCHE MIT INFRASTRUKTUR-KORREKTUR

Land	Landesfläche nach dem Rastermodell mit 10 m Auflösung		Modellierte potenzielle Lawinen-Anbruchsfläche					
			im Wald (Strauchfläche und Wald)		nicht im Wald		gesamt	
	[ha]	[%]*	[ha]	[%]**	[ha]	[%]**	[ha]	[%]***
Burgenland	396.177,0	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kärnten	953.802,3	11,4	112.340,7	62,3	67.898,9	37,7	180.239,6	18,9
Niederösterreich	1.918.626,4	22,9	61.334,2	96,4	2.288,0	3,6	63.622,2	3,3
Oberösterreich	1.197.882,1	14,3	73.752,6	80,1	18.324,7	19,9	92.077,3	7,7
Salzburg	715.618,2	8,5	136.782,6	59,8	91.875,1	40,2	228.657,7	32,0
Steiermark	1.640.295,1	19,6	168.131,8	69,5	73.895,4	30,5	242.027,2	14,8
Tirol	1.264.021,0	15,1	234.928,5	45,2	284.902,1	54,8	519.830,6	41,1
Vorarlberg	260.144,2	3,1	46.781,3	53,9	40.086,3	46,1	86.867,6	33,4
Wien	41.464,7	0,5	0,6	100,0	0,0	0,0	0,6	0,0
Σ Österreich	8.388.031,0	100,0	834.052,3	59,0	579.270,5	41,0	1.413.322,8	16,9

In Prozent des Bundesgebiets, ** In Prozent der gesamten Anbruchsfläche des Landes, *** in Prozent der Landesfläche

Die Modellierung der Lawinen-Sturzbahnen mit Schadenspotenzial erfolgte im Multiple-flow-Modus (**Kapitel 6**). Bei der Anwendung von topografischen Modellen nach dem Pauschalgefälle-Ansatz ist die Auswahl eines geeigneten Pauschalgefälles von besonderer Bedeutung (Perzl et al., 2011). Die geometrische Gefälle und Pauschalgefälle von Lawinen sind im Durchschnitt größer als von Steinschlag. Im Gegensatz zum Prozess Steinschlag ist der Unterschied zwischen dem Fahrböschungswinkel und dem geometrischen Gefälle bei Lawinen signifikant (Perzl et al., 2011). Die veröffentlichten und verfügbaren Daten (Tabelle 62-5 nach Perzl et al., 2011, ergänzt) ergeben

ein mittleres minimales Fahrböschungsgefälle von 17,8°. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Minima die statistischen Außreißer inkludieren.

TABELLE 62-5: LAWINEN-FAHRBÖSCHUNGSGEFÄLLE

Autor/Quelle, Fallzahl, k = kleine Lawinen, g = große Lawinen	Fahrböschungsgefälle (abgerundet)	
	Minimum und Maximum	Mittelwert
Perla & Martinelli (1976)	20° - 35°	---
Lied (1979) aus Zenke (1985), N = 423	17° - 46°	31°
Hildebrandt (1981) aus Zenke (1985), N = 56, g	17° - 44°	32°
Laatsch et al. (1981)	21° - 35°	---
Zenke (1985), Daten EISLF (1978-1982), N = 50, k	22° - 39°	28°
BUWAL (1993, aus Brassel & Lischke 2001)	22°	---
Lied et al. (1995), N = 80, g	17° - 35°	27°
Schnetzer (1999), N = 17, k	32° - 41°	37°
Perzl & Rössel (2014), N = 49, k und g, nasse Fließlawinen	14° - 51°	28°
Perzl & Rössel (2014), N = 61, k und g, trockene Fließlawinen	17° - 44°	27°
Perzl & Rössel (2014), N = 130, k und g, Fließlawinen	14° - 51°	28°

BUWAL (1995, nach Brassel & Lischke, 2001) verwendeten zur Modellierung der Schutzwaldkulisse der Schweiz einen Fahrböschungswinkel von 22°. Das führte in Verbindung mit den Schwächen der Pauschalgefällemethode zu einer erheblichen Überschätzung der kleinen potenziellen Lawinen (Duc et al., 2004). Die Modellierung der Schutzwaldkulisse wurde daher in der Schweiz auf physikalisch prozessierten Sturzbahnen aufgebaut, ein Ansatz der mit einem erheblichen Aufwand verbunden ist, und im Rahmen von GRAVIPROFOR nicht durchführbar war. Bauerhansl et al. (2010) verwendeten zur Modellierung von Schutzwaldkulissen ein mittleres geometrisches Gefälle von 28°, da die Modellierung mit einem grob aufgelösten DGM von 30 m durchgeführt wurde. Eine geringere Auflösung des DGM führt zu einer scheinbaren Verflachung der Topographie, die zu berücksichtigen ist. Das entspricht im Durchschnitt einem Fahrböschungsgefälle von ca. 25°. Perzl et al. (2011) und Perzl & Walter (2012 a) verwendeten für die Modellierung auf der Basis eines 10 m DGM ein geometrisches Gefälle von 25° (das äquivalente Fahrböschungsgefälle ist ca. 22°) nach dem Ansatz Mittelwert abzüglich Standardabweichung von 59 Fällen. Das entspricht auch dem geometrischen Gefälle, das vom Ministry of Transportation, British Columbia, Kanada, zur Abschätzung der Lawinengefährdung von Straßen durch Kahlschläge im Wald empfiehlt (Weir, 2002). Die Analyse des erweiterten Datensatzes von Perzl & Rössel (2014) mit 130 Fließlawinen verschiedenster Größe ergab (abgerundet) eine untere Außreißergrenze von 17°, das 1. Quartil mit 24° und den Median mit 28°. Die Normalverteilungstest ergaben kein eindeutiges Ergebnis. Die Methodik Mittelwert abzüglich Standardabweichung ergibt eine "Ausreißergrenze" von 23°. Die Analysen ergaben nur einen schwachen Zusammenhang zwischen der Gefahrenpotenzialstufe und dem Fahrböschungswinkel. Die Gefahrenpotenzialstufe nach **Tabelle 62-3** ist auf die generelle Möglichkeit bzw. Wahrscheinlichkeit eines Anbruchs ausgerichtet, und daher keine Erklärung für die Reichweite einzelner Fälle. Dennoch ergab eine Gruppierung nach den Grenzwerten der MMXHS einen sigifikanten Unterschied der Fahrböschungswinkel, der sich aus den unterschiedlichen durchschnittlichen Energiehöhen und Schneehöhen der Lawinen in den drei Klassen erklären lässt. Die Lawinen der Schneehöhenklasse bis 80 cm sind um 3° und 6° steiler und haben daher eine geringere Reichweite als die Lawinen der Klassen 80 bis 171 cm und über 171 cm. Die Daten spiegeln aber auch die geomorphologischen und klimatischen Verhältnisse wieder. Grundsätzlich ist die Pauschalgefällemethode für Schneelawinen weniger gut geeignet als für Steinschlag. Sie liefert nur für kleine bis mittlere Fließlawinen bei einfacher Form des Geländes ohne starke Geländeabbrüche (z. B. sogenannte "hockey-sticks") gute Ergebnisse. Mit einem Mittelwert lassen sich daher die Reichweiten aus Waldgelände gut annähern, ohne dass das Gefahren- und Schadenspotenzial zu stark über- oder unterschätzt wird.

Daher wurde bei GRAVIPROFOR das Schadenspotenzial mit dem Mittelwert von 28° modelliert. Das führt allerdings zu einer Unterschätzung der Großlawinen, für die ein Winkel von 25° oft besser geeignet ist. Diese brechen jedoch meist außer- bzw. oberhalb des Waldes an. Der Wald in ihren Sturzbahnen hat nur eine relativ geringe (potenzielle) Schutzwirkung. Er ist daher nur nach dem Kriterium "besondere Behandlung" als Wald mit Objektschutzfunktion zu definieren. Die Großlawinen mit Schadenspotenzial sind im Lawinenkataster und im GZP enthalten, und können auf Basis dieser Informationen ergänzt werden.

Die Modellierung erfolgte wie beim Steinschlag getrennt nach Anbruchflächen im und außerhalb des Waldes mit Erweiterung der Prozesszone durch einen Sicherheitspuffer von einer Zelle. Durch einen Majority-Filter erfolgte eine Arrondierung der Gefahrenpotenzialstufen. Die Ergebnisse der Modellierung sind in den **Tabellen 62-6, 62-7 und 62-8** zusammengefasst.

TABELLE 62-6: LAWINEN-PROZESSZONEN MIT SCHADENSPOTENZIAL AUS NICHT BEWALDETEN STARTFLÄCHEN

Land	Potenzielle Lawinen-Sturzbahnen [ha] mit Schadenspotenzial von Lawinen-Anbruchflächen außerhalb des Waldes									
	Gefahrenpotenzial 1			Gefahrenpotenzial 2			Gefahrenpotenzial 3			Σ
	OKL1	OKL2	OKL3	OKL1	OKL2	OKL3	OKL1	OKL2	OKL3	
Burgenland	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kärnten D8	8.559,2	1.834,9	2.803,8	26.380,7	2.860,6	3.452,8	9.871,5	1.595,6	661,9	58.021,0
Niederösterreich	1.162,5	336,5	667,5	2.381,1	472,5	1.380,5	3.078,0	76,9	149,1	9.704,6
Oberösterreich D8	803,2	267,0	394,6	3.596,3	452,5	1.275,2	5.650,8	735,4	1.263,1	14.438,1
Salzburg	6.947,8	3.094,8	9.038,6	11.166,0	3.700,5	13.883,1	40.544,2	9.863,9	48.159,3	146.398,2
Steiermark D8	4.296,7	1.343,7	1.132,0	11.409,8	2.598,6	2.517,4	14.500,8	3.921,5	3.533,5	45.254,0
Tirol D8	16.147,1	5.241,0	7.675,8	38.115,0	8.189,4	13.166,2	82.922,3	14.179,4	19.303,1	204.939,3
Vorarlberg D8	1.790,6	1.054,1	1.023,5	1.806,6	814,4	698,3	11.871,3	3.416,9	2.885,5	25.361,2
Wien	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

D8 Die Modellierung wurde im D8-Modus durchgeführt. Die Modellierung im MFD-Modus wird nachgeführt.

TABELLE 62-7: LAWINEN-PROZESSZONEN MIT SCHADENSPOTENZIAL AUS BEWALDETEN STARTFLÄCHEN

Land	Potenzielle Lawinen-Sturzbahnen [ha] mit Schadenspotenzial von Lawinen-Anbruchflächen im Wald									
	Gefahrenpotenzial 1			Gefahrenpotenzial 2			Gefahrenpotenzial 3			Σ
	OKL1	OKL2	OKL3	OKL1	OKL2	OKL3	OKL1	OKL2	OKL3	
Burgenland	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kärnten D8	33.513,5	8.895,3	12.501,8	77.594,9	11.934,3	15.688,9	579,2	61,7	84,4	160.854,0
Niederösterreich	20.689,5	6.696,1	9.107,5	32.325,3	8.921,4	14.503,6	6.270,5	650,0	704,5	99.868,4
Oberösterreich D8	12.576,4	3.437,6	4.942,0	32.599,6	5.227,0	8.331,4	6.963,2	996,6	1.986,0	77.059,8
Salzburg	9.810,3	4.394,5	9.629,5	24.438,0	9.686,8	28.907,1	39.275,2	9.963,9	39.259,5	175.364,8
Steiermark D8	56.031,0	18.591,5	15.130,3	67.082,7	14.855,3	17.404,3	8.878,9	3.055,6	2.000,3	203.029,9
Tirol D8	32.400,1	9.460,1	19.779,3	100.657,7	22.091,0	43.503,9	46.820,0	6.792,0	11.091,9	292.596,0
Vorarlberg D8	4.085,1	1.390,4	2.325,9	9.250,8	2.901,8	5.743,9	15.851,7	3.681,6	5.877,4	51.108,6
Wien	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8

D8 Die Modellierung wurde im D8-Modus durchgeführt. Die Modellierung im MFD-Modus wird nachgeführt.

TABELLE 62-8: LAWINEN-PROZESSZONEN MIT SCHADENSPOTENZIAL

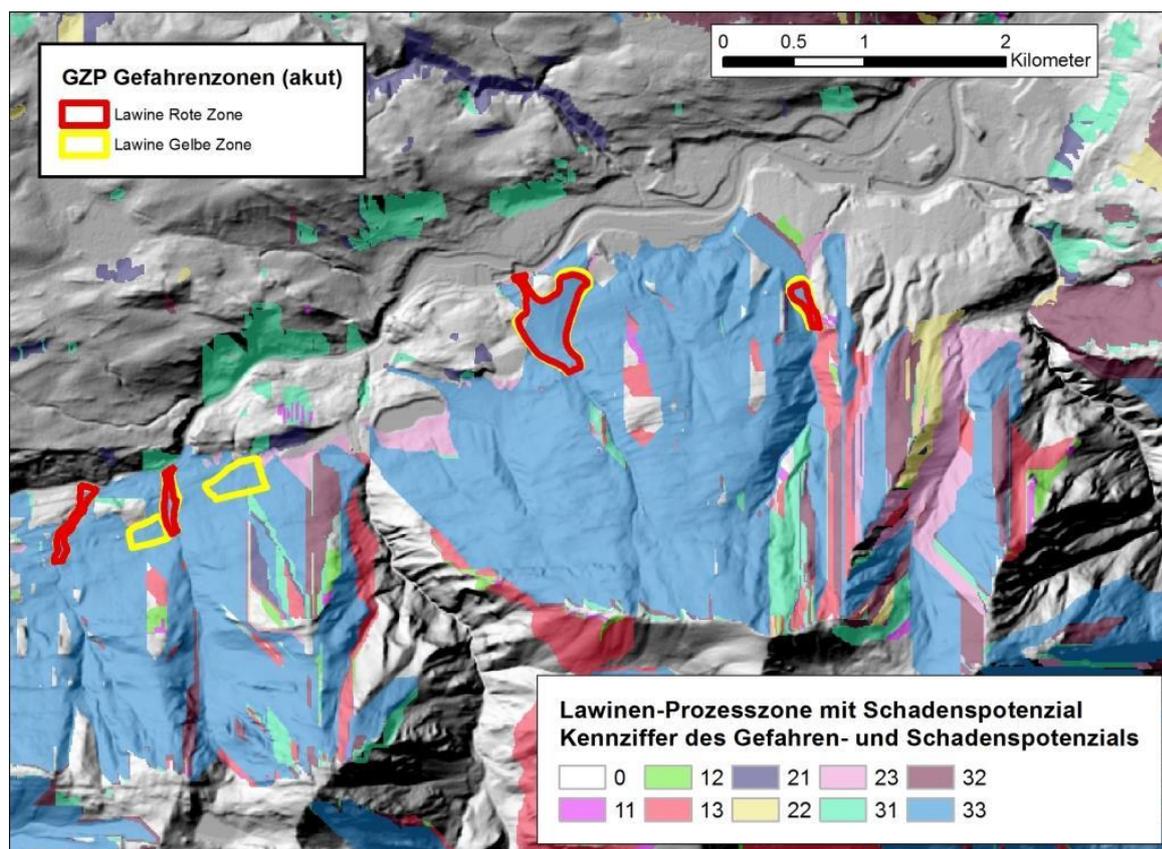
Land	Potenzielle Lawinen-Sturzbahnen [ha] mit Schadenspotenzial									
	Gefahrenpotenzial 1			Gefahrenpotenzial 2			Gefahrenpotenzial 3			Σ
	OKL1	OKL2	OKL3	OKL1	OKL2	OKL3	OKL1	OKL2	OKL3	
Burgenland	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kärnten D8	37.603,6	9.452,3	13.082,1	92.172,0	13.208,9	17.084,7	10.115,3	1.601,0	688,0	181.799,0
Niederösterreich	20.713,6	6.704,7	9.263,4	32.166,3	8.887,1	14.677,5	7.281,0	687,1	823,8	101.204,5
Oberösterreich D8	12.607,0	3.486,5	4.993,8	33.470,0	5.295,5	8.690,9	10.592,2	1.469,5	2.593,9	83.199,3
Salzburg	11.071,3	5.146,7	11.842,0	25.066,1	9.988,9	30.593,9	53.989,1	13.013,4	63.340,3	257.358,7
Steiermark D8	57.317,6	18.977,2	15.399,2	71.089,4	15.837,7	18.418,7	20.383,9	6.070,8	4.943,5	228.438,0
Tirol D8	38.058,5	11.388,3	21.597,0	111.360,2	24.399,1	46.055,3	107.403,3	17.755,3	25.635,7	382.055,7
Vorarlberg D8	4.646,3	1.897,0	2.572,7	9.790,8	3.282,7	5.914,5	22.753,6	6.040,3	7.430,4	64.328,3
Wien	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8

D8 Die Modellierung wurde im D8-Modus durchgeführt. Die Modellierung im MFD-Modus wird nachgeführt.

Eine Überprüfung der modellierten potenziellen Lawinen-Sturzbahnen ist schwierig, da die zur Verfügung stehenden Daten wie die Prozesshüllen des Lawinenkatasters oder die Gefahrenzonen des GZP einen anderen Darstellungsinhalt haben, und selektive, auf aktive Zonen ausgerichtete Kartierungen sind. Es muss beachtet werden, dass das einfache Fließlinienmodell Lawinen mit hoher Maßendynamik (Staublawinen) nicht abbilden kann, und dass die modellierten Sturzbahnen beim letzten Objekttreffer enden. Man muss aufgrund der Einstellungen davon ausgehen, dass die Reichweite großer Lawinen unterschätzt wird. Die modellierten Prozesszonen decken vor allem die roten Zonen der größeren Lawinen und die gelben Zonen von Kleinlawinen gut bis zum letzten Objekttreffer ab (**Abbildung 62-5**). Die gelben Zonen von großen Lawinen sind oft nicht erfasst, da sie häufig in Stoßrichtung über das Objekt hinausgehen oder auf den Staubanteil zurückzuführen sind.

Die Waldfläche in den oft grabenartigen Sturzbahnen der großen Lawinen ist nur bedingt Wald mit Objektschutzfunktion, da der Wald gegen solche Ereignisse nur eingeschränkt schutzwirksam ist. Dennoch müssen vor allem bei der Kartierung des Waldes mit Lawinen-Objektschutzfunktion zusätzliche Informationen wie der Lawinenkataster und der GZP herangezogen werden. In den vom GZP nicht erfassten Bereichen steht aber keine Information über die potenzielle Reichweite von Lawinen aus dem Wald zur Verfügung. Die GRAVIPROFOR-Modellierung gibt hier einen Hinweis auf diese Gefahren- und Schadenspotenziale aus dem Wald.

ABBILDUNG 62-5: BEISPIEL LAWINEN-PROZESSZONEN IM LAND SALZBURG



7. KLASSIFIKATION DES WALDES NACH DER OBJEKTSCHUTZFUNKTION

Das verwendete Modell zur Bestimmung der Prozesszonen lieferte die potenziellen Sturzbahnen von Steinschlag und Lawinen mit Schadenspotenzial an den zu schützenden Objekten. Diese mussten nun mit der Waldfläche verschnitten, und nach der modifizierten Bewertungsmatrix (**Kapitel 4, Tabelle 4-2**) gemäß **WEP-R (2012)** dreistufig klassifiziert werden. Das erfolgte wieder getrennt nach Prozessen, die außerhalb und im Wald ausgelöst werden könnten.

Die **WEP-R (2012)** sieht keine unterschiedliche Bewertung bzw. keine verschiedenen Gewichtungen der Naturgefahren vor. Die Intensität der verschiedenen Prozesse und das resultierende Risiko lassen sich auch bei Verwendung von physikalischen Maßeinheiten nicht direkt vergleichen. Grundsätzlich ist das Schadenspotenzial verschiedener Gefahren auch bei derselben technischen Vulnerabilität der Objekte unterschiedlich. Es ist fraglich, ob es im Schutzwaldkontext im Hinblick auf Fragen der räumlichen Entwicklung zweckmäßig ist, ein Schadenspotenzial durch Steinschlag anders zu gewichten als eines durch Lawine. Auch das ISDW-Konzept sieht keine Gewichtung der Gefahrenprozesse relativ zueinander vor. Die Einstufung einer Waldfläche wird vom Prozess mit der geringsten prozessspezifischen Schutzwirkung bestimmt.

Das WEP- und das ISDW-Konzept bewerten Waldflächen, die primär ("passiv") in der Sturzbahn oder ("aktiv") in den potenziellen Startflächen von gravitativen Massenbewegungen liegen, nicht unterschiedlich. Diese Trennung ist eine Information, um unterschiedliche Schwerpunkte der waldbaulichen Behandlungen (Stabilität versus Dichte) abschätzen zu können. Meist überdecken sich aber aktive und passive Zonen.

Die Klassifikation des (modellierten) Waldes mit Objektschutzfunktion (WOSF) wurde bei GRAVIPROFOR durch den Gefahrenprozess und von der Prozesszone mit der jeweils höchsten ordinalen Bewertung des Gefahren- und Schadenspotenzial nach **Kapitel 4, Tabelle 4-2** bestimmt.

7.1 KLASSIFIKATION VON WALD IN POTENZIELLEN STEIN SCHLAGZONEN

Die **Tabellen 71-1, 71-2** und **71-3** enthalten die Statistiken der modellierten Waldflächen mit Objektschutzfunktion (WOSF) bzw. der auf Gefahren- und Schadenspotenziale durch Steinschlag zu überprüfenden Waldfläche (der Schutzwaldkulisse). Die Waldfläche wurde mit der Infrastruktur korrigiert. Forststraßen sind nicht Teil der Waldfläche.

TABELLE 71-1: WALD MIT OBJEKTSCHUTZFUNKTION VOR STEIN SCHLAG AUS STARTFLÄCHEN AUSSERHALB VON WALD

Land	Strauch- und Waldfläche nach dem Rastermodell		WOSF S1		WOSF S2		WOSF S3	
	[ha]	[%]*	[ha]	[%]**	[ha]	[%]**	[ha]	[%]**
Burgenland	117.802	3,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kärnten	499.979	13,5	3.671,5	0,7	499,3	0,1	313,7	0,1
Niederösterreich	738.872	20,0	606,9	0,1	104,8	0,0	126,5	0,0
Oberösterreich	458.038	12,4	1.702,0	0,4	395,8	0,1	532,3	0,1
Salzburg	347.298	9,4	4.044,4	1,2	1.310,0	0,4	1.157,0	0,3
Steiermark	929.849	25,0	3.721,3	0,4	730,8	0,1	576,7	0,1
Tirol	496.853	13,4	14.533,4	2,9	3.343,7	0,7	2.819,7	0,6
Vorarlberg	106.825	2,9	1.615,2	1,5	425,4	0,4	255,2	0,2
Wien	7.483	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Σ Österreich*	3.702.999	100,0	29.894,9	0,8	6.809,8	0,2	5.781,1	0,2

* In Prozent des Bundesgebiets, ** in Prozent der gesamten Waldfläche pro Land

TABELLE 71-2: WALD MIT OBJEKTSCHUTZFUNKTION VOR STEINSCHLAG AUS STARTFLÄCHEN IM WALD

Land	Strauch- und Waldfläche nach dem Rastermodell		WOSF S1		WOSF S2		WOSF S3	
	[ha]	[%]*	[ha]	[%]**	[ha]	[%]**	[ha]	[%]**
Burgenland	117.802	3,2	85,4	0,1	11,6	0,0	27,9	0,0
Kärnten	499.979	13,5	52.456,4	10,5	7.026,9	1,4	6.085,2	1,2
Niederösterreich	738.872	20,0	21.566,9	2,9	4.803,4	0,7	4.678,4	0,6
Oberösterreich	458.038	12,4	20.209,6	4,4	4.129,2	0,9	4.918,1	1,1
Salzburg	347.298	9,4	25.231,8	7,3	7.548,9	2,2	7.228,1	2,1
Steiermark	929.849	25,0	50.372,4	5,4	12.435,6	1,3	10.495,1	1,1
Tirol	496.853	13,4	77.395,8	15,6	15.513,8	3,1	16.018,1	3,2
Vorarlberg	106.825	2,9	13.589,8	12,7	2.921,4	2,7	2.889,4	2,7
Wien	7.483	0,2	5,5	0,1	6,9	0,1	13,1	0,2
Σ Österreich	3.702.999	100,0	260.913,6	7,1	54.397,7	1,5	52.353,4	1,4

* In Prozent des Bundesgebiets, ** in Prozent der gesamten Waldfläche pro Land

TABELLE 71-3: WALD MIT OBJEKTSCHUTZFUNKTION VOR STEINSCHLAG

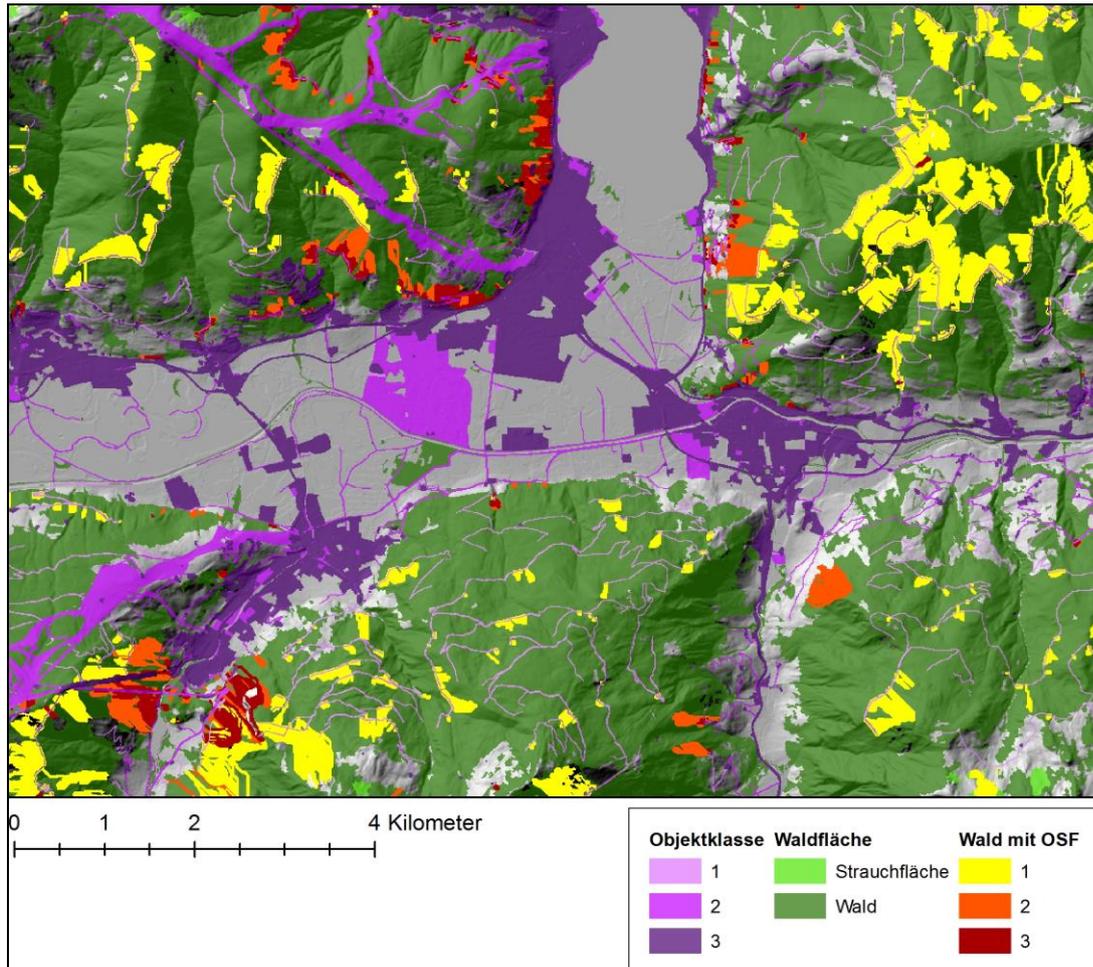
Land	Strauch- und Waldfläche nach dem Rastermodell		WOSF S1		WOSF S2		WOSF S3	
	[ha]	[%]*	[ha]	[%]**	[ha]	[%]**	[ha]	[%]**
Burgenland	117.802	3,2	85,5	0,1	11,6	0,0	27,9	0,0
Kärnten	499.979	13,5	53.264,0	10,7	7.094,6	1,4	6.177,0	1,2
Niederösterreich	738.872	20,0	21.703,6	2,9	4.821,8	0,7	4.710,6	0,6
Oberösterreich	458.038	12,4	20.590,3	4,5	4.178,4	0,9	5.032,7	1,1
Salzburg	347.298	9,4	25.742,4	7,4	7.659,8	2,2	7.324,9	2,1
Steiermark	929.849	25,0	51.370,0	5,5	12.609,6	1,4	10.665,4	1,2
Tirol	496.853	13,4	78.863,2	15,9	16.011,8	3,2	16.389,9	3,3
Vorarlberg	106.825	2,9	13.822,9	12,9	3.012,4	2,8	2.950,1	2,8
Wien	7.483	0,2	5,7	0,1	6,7	0,1	13,1	0,2
Σ Österreich	3.702.999	100,0	265.447,6	7,1	55.406,7	1,5	53.291,6	1,4

* In Prozent des Bundesgebiets, ** in Prozent der gesamten Waldfläche pro Land

Die Modellierung ergab, dass insgesamt 10 % der Strauch- und Waldfläche (Holzboden, Wald ohne Forststraßen) des Bundesgebietes in Steinschlagprozesszonen mit einem Schadenspotenzial liegen. Tirol hat den höchsten relativen Anteil mit 22,4 % gefolgt von Vorarlberg mit 18,5 %.

Abbildung 71-1 zeigt als Beispiel in einem Ausschnitt von Salzburg (Raum Zell am See) den modellierten Wald mit Objektschutzfunktion (OSF) in Bezug auf Steinschlag.

ABBILDUNG 71-1: AUSSCHNITT: MODELLIERTER WALD MIT STEINSCHLAG-OBJEKTSCHUTZFUNKTION



7.2 KLASSIFIKATION VON WALD IN POTENZIELLEN LAWINENZONEN

Die **Tabellen 72-1, 72-2** und **72-3** enthalten die Statistiken der modellierten Waldflächen mit Objektschutzfunktion (WOSF) bzw. der auf Gefahren- und Schadenspotenziale durch Lawinen zu überprüfenden Waldfläche (der Schutzwaldkulisse).

TABELLE 72-1: WALD MIT OBJEKTSCHUTZFUNKTION VOR LAWINEN AUS STARTFLÄCHEN AUSSERHALB VON WALD

Land	Strauch- und Waldfläche nach dem Rastermodell		WOSF S1		WOSF S2		WOSF S3	
	[ha]	[%]*	[ha]	[%]**	[ha]	[%]**	[ha]	[%]**
Burgenland	117.802	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kärnten D8	499.979	13,5	12.280,1	2,5	3.002,3	0,6	2.157,4	0,4
Niederösterreich	738.872	20,0	5.070,7	0,7	920,2	0,1	1.230,4	0,2
Oberösterreich D8	458.038	12,4	3.999,7	0,9	480,1	0,1	1.389,4	0,3
Salzburg	347.298	9,4	32.335,1	9,3	7.929,9	2,3	38.199,9	11,0
Steiermark D8	929.849	25,0	11.251,8	1,2	2.234,3	0,2	3.100,1	0,3
Tirol D8	496.853	13,4	38.260,2	7,7	8.012,5	1,6	13.611,3	2,7
Vorarlberg D8	106.825	2,9	4.549,7	4,3	820,0	0,8	1.937,8	1,8
Wien	7.483	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

* In Prozent des Bundesgebiets, ** in Prozent der gesamten Waldfläche pro Land, D8 im D8-Modus

TABELLE 72-2: WALD MIT OBJEKTSCHUTZFUNKTION VOR LAWINEN AUS STARTFLÄCHEN IM WALD

Land	Strauch- und Waldfläche nach dem Rastermodell		WOSF S1		WOSF S2		WOSF S3	
	[ha]	[%]*	[ha]	[%]**	[ha]	[%]**	[ha]	[%]**
Burgenland	117.802	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kärnten D8	499.979	13,5	97.912,4	19,6	25.816,6	5,2	12.726,4	2,5
Niederösterreich	738.872	20,0	52.315,3	7,1	19.837,6	2,7	13.126,8	1,8
Oberösterreich D8	458.038	12,4	46.372,0	10,1	10.781,7	2,4	9.480,7	2,1
Salzburg	347.298	9,4	58.799,4	16,9	17.098,6	4,9	57.724,3	17,6
Steiermark D8	929.849	25,0	116.533,7	12,5	40.083,6	4,3	19.244,3	2,1
Tirol D8	496.853	13,4	144.843,5	29,2	38.222,2	7,7	46.891,4	9,4
Vorarlberg D8	106.825	2,9	23.733,6	22,2	4.704,5	4,4	11.594,3	10,9
Wien	7.483	0,2	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

* In Prozent des Bundesgebiets, ** in Prozent der gesamten Waldfläche pro Land, D8 im D8-Modus

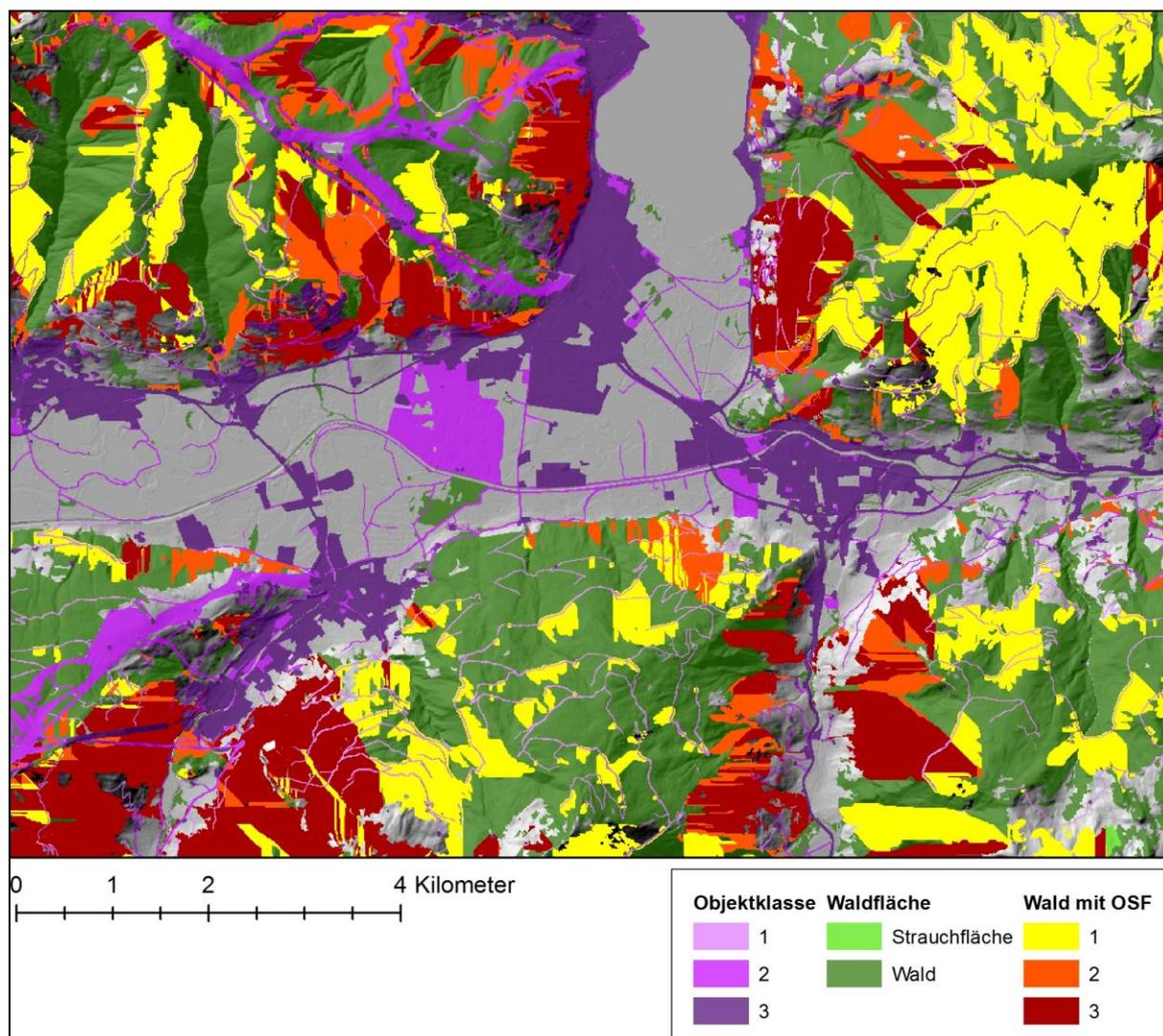
TABELLE 72-2: WALD MIT OBJEKTSCHUTZFUNKTION VOR LAWINEN

Land	Strauch- und Waldfläche nach dem Rastermodell		WOSF S1		WOSF S2		WOSF S3	
	[ha]	[%]*	[ha]	[%]**	[ha]	[%]**	[ha]	[%]**
Burgenland	117.802	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kärnten D8	499.979	13,5	98.989,6	19,8	25.808,1	5,2	13.430,9	2,7
Niederösterreich	738.872	20,0	52.641,1	7,1	19.866,9	2,7	13.350,6	1,8
Oberösterreich D8	458.038	12,4	46.840,3	10,2	10.757,9	2,4	9.731,7	2,1
Salzburg	347.298	9,4	60.416,6	17,4	16.916,1	4,9	65.557,8	18,9
Steiermark D8	929.849	25,0	117.923,3	12,7	40.089,5	4,3	20.309,8	2,2
Tirol D8	496.853	13,4	146.691,2	29,5	37.743,1	7,5	49.202,1	9,9
Vorarlberg D8	106.825	2,9	24.052,8	22,5	4.682,6	4,8	11.865,8	11,1
Wien	7.483	0,2	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

* In Prozent des Bundesgebiets, ** in Prozent der gesamten Waldfläche pro Land

Abbildung 72-1 zeigt als Beispiel in einem Ausschnitt von Salzburg (Raum Zell am See) den modellierten Wald mit Objektschutzfunktion (OSF) in Bezug auf Steinschlag.

ABBILDUNG 71-1: AUSSCHNITT: MODELLIERTER WALD MIT LAWINEN-OBJEKTSCHUTZFUNKTION



7.3 GESAMTERGEBNIS

Die gesamte Fläche an modelliertem Wald mit Steinschlag- und Lawinen-Objektschutzfunktion bzw. die Schutzwaldkulisse ist aus **Tabelle 73-1** zu entnehmen. Bei der Aggregation von überlappenden Zonen mit Lawinen- und Steinschlag-OSF ist es nicht mehr zweckmäßig zwischen einem aktivem und passiven Schutzwald zu differenzieren.

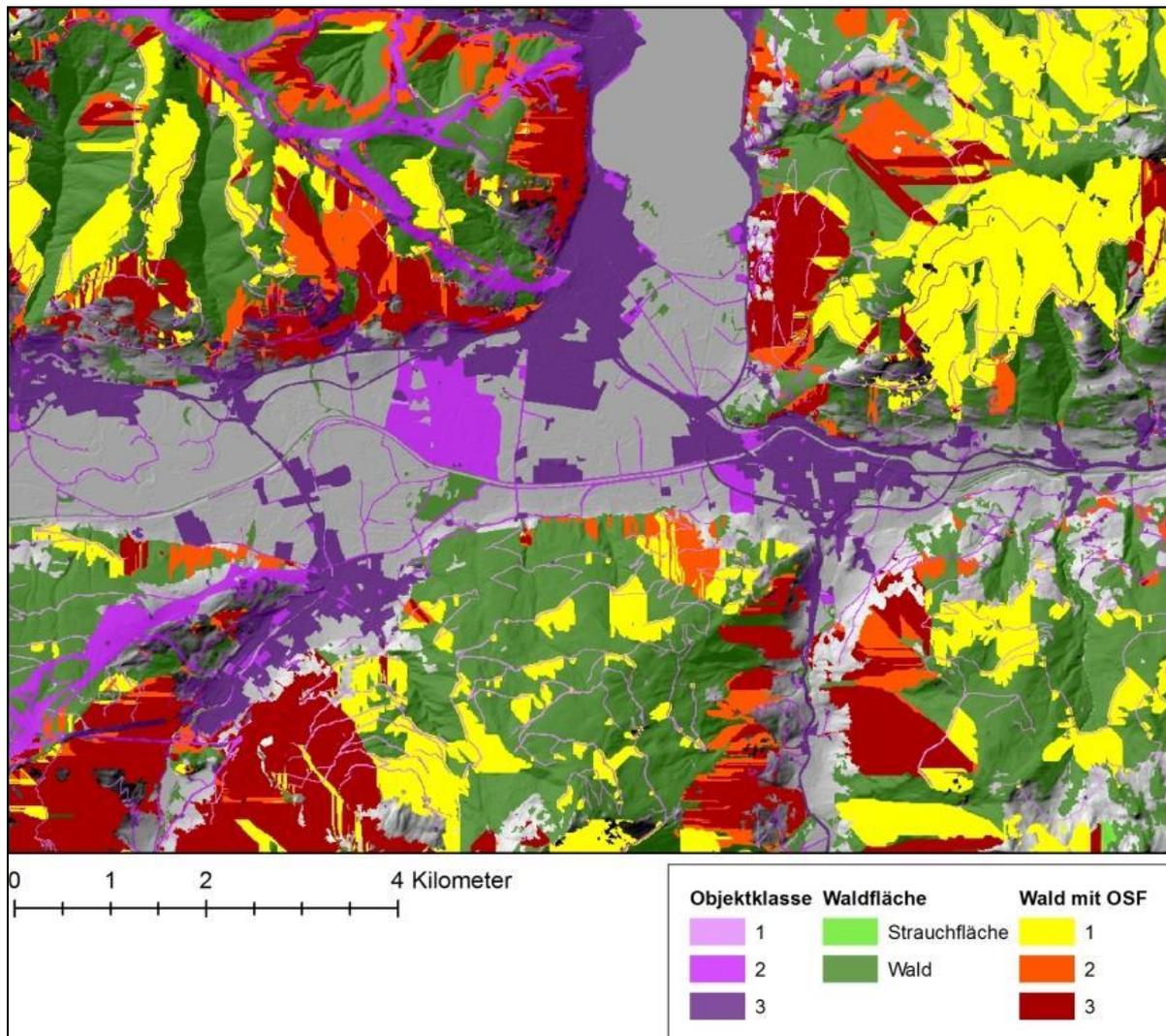
TABELLE 73-1: WALD MIT STEINSCHLAG- UND LAWINEN-OBJEKTSCHUTZFUNKTION

Land	Strauch- und Waldfläche nach dem Rastermodell		WOSF S1		WOSF S2		WOSF S3	
	[ha]	[%]*	[ha]	[%]**	[ha]	[%]**	[ha]	[%]**
Burgenland	117.802	3,2	85,5	0,1	11,6	0,0	27,9	0,0
Kärnten D8	499.979	13,5	100.795,6	20,2	23.554,5	4,7	17.624,2	3,5
Niederösterreich	738.872	20,0	54.414,5	7,4	19.116,8	2,6	16.709,6	2,3
Oberösterreich D8	458.038	12,4	47.395,0	10,3	9.487,8	2,1	12.384,7	2,7
Salzburg	347.298	9,4	60.884,8	17,5	15.999,5	4,6	67.276,1	19,4
Steiermark D8	929.849	25,0	121.189,7	13,0	38.230,7	4,1	27.443,6	3,0
Tirol D8	496.853	13,4	147.286,2	29,6	32.201,2	6,5	55.929,3	11,3
Vorarlberg D8	106.825	2,9	24.208,5	22,7	4.081,5	3,8	12.719,5	11,9
Wien	7.483	0,2	6,9	0,1	6,9	0,1	13,1	0,2

* In Prozent des Bundesgebiets, ** in Prozent der gesamten Waldfläche pro Land, D8 im D8 Modus berechnet

Abbildung 73-1 zeigt als Beispiel in einem Ausschnitt von Salzburg (Raum Zell am See) den modellierten Wald mit Objektschutzfunktion (OSF) in Bezug auf Lawinen und Steinschlag.

ABBILDUNG 73-1: AUSSCHNITT: MODELLIERTER WALD MIT LAWINEN- UND STEINSCHLAG-OBJEKTSCHUTZFUNKTION



8. KURZFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN

Dieser Bericht ist eine Zusammenfassung der Methoden und Ergebnisse einer Modellierung von Waldflächen mit Gefahren- und Schadenspotenzialen durch Schneelawinen und Steinschlag in Österreich auf Ebene einer Gefahrenhinweiskarte. Zweck der Modellierung ist die Unterstützung der forstlichen Raumplanung bei der Kartierung von Wald mit Objektschutzfunktion und bei der Planung sowie Evaluierung der Programme zur Schutzwaldverbesserung.

Die Modellierung beruht auf dem Konzept zur Beurteilung der Objektschutzfunktion des Waldes nach der WEP-Richtlinie. Dieses Konzept sieht eine Einteilung der Schutzwaldkulisse in drei Bedeutungsstufen der Schutzfunktion vor, die sich einerseits aus dem Gefahrenpotenzial und andererseits aus einer dreistufigen Wertung der potenzielle bedrohten Siedlungsflächen und Infrastrukturanlagen ergibt. Für die Modellierung wurden digitale Geodaten des Bundes und der Bundesländer aufbereitet.

Digitales Geländemodell

Die Bundesländer haben in den letzten Jahren genaue digitale ALS-Geländemodelle erstellen lassen. Da während der Projektlaufzeit noch kein Modell für ganz Österreich zur Verfügung stand, und noch kleine Teilbereiche fehlten, wurde aus den Teilmodellen der Bundesländer, ergänzt durch das konventionelle Geländemodelle des BEV, ein Modell für ganz Österreich mit einer Auflösung von 10 m erstellt. Das LFRZ hat parallel dazu ein 1 m Modell für Österreich erstellt, das aber noch nicht zur Verfügung stand.

Da die Qualität, Aktualität, Auflösung und der Extent des digitalen Geländemodells das Ergebnis und die räumliche Kompatibilität von Modellierungen beeinflusst, wäre es in Zukunft zweckmäßig, dass Naturgefahren-Modellierungen im Auftrag des Bundes und der Bundesländer auf der Basis eines einheitlichen digitalen Geländemodells (Standardmodelle mit verschiedenen Auflösungen je nach Zielmaßstab) durchgeführt werden. Die Naturgefahren-Modellierungen auf überregionalem und regionalem Maßstab sollten künftig mit der Erstellung der erforderlichen Basis-Geodaten zwischen dem Bund und den Bundesländern koordiniert werden, um Doppelgleisigkeiten zu vermeiden.

Zur Feststellung des Schadenpotenzials an den Siedlungsflächen und der Infrastruktur sind Geodaten über die Lage und Art dieser Objekte erforderlich. Sie werden nach dem Schutzfunktions-Bewertungskonzept der WEP-Richtlinie in drei Stufen des öffentlichen Interesses (in drei Objektklassen) eingeteilt. Die Objektklassifikation nach der WEP-Richtlinie erwies sich jedoch dafür aus zwei Gründen nicht in jedem Punkt geeignet: (1) sie ist nicht mit den verfügbaren Geodaten abgestimmt, und (2) die Bewertungen der Objekttypen sind aus risikoanalytischer Sicht nicht immer optimal. Daher wurde die Objektklassifikation modifiziert und auf die verfügbaren Geodaten ausgerichtet.

Digitale Geodaten über den Bestand an Siedlungsflächen und die Infrastruktur (die Objekte)

Da es in Österreich kein einheitliches, für risikoanalytische Modellierungen geeignetes digitales Landschaftsmodell gibt, mussten die Information über die Objekte aus vielen, heterogenen Geodatenbeständen des Bundes und der Länder zusammengesetzt werden. Die Geodaten weisen in Bezug auf risikoanalytische Fragestellungen konzeptionelle Mängel der Datenmodelle auf. Der Flut von digitalen Geodaten steht keine zentrale inhaltliche Gesamtkoordination und qualitative Kontrolle gegenüber. Obwohl einzelne Geodatensätze von guter Qualität sind, prägen immer noch nicht befriedigende Vollständigkeit (Aktualität), ungenügender Informationsgehalt und vor allem die fehlende Standardisierung die Geodateninfrastruktur. Auch Geodaten, die grundsätzlich einheitlich für das gesamte Bundesgebiet erstellt werden, wie z. B. das niederrangige Straßennetz der GraphenIntegrationsPlattform (GIP) und die Nutzungsebene der digitalen Katastermappe

(DKM), haben sich als heterogen erwiesen. Daher waren einerseits umfangreiche Bearbeitungen und Ergänzungen dieser Daten und andererseits die Modifikationen der Objektklassifikation erforderlich.

Digitale Flächenwidmungsplanung

Die Flächenwidmungsplanung ist die Schnittstelle zwischen der Raumordnung (Raumplanung) und dem Naturgefahrenmanagement. Sie bestimmt die Raumnutzung und -entwicklung. Daher sollten die Informations- und Planungsinstrumente der allgemeinen Raumplanung und der forstlichen Raumplanung bzw. die entsprechenden Planungsrichtlinien aufeinander abgestimmt werden. Es wäre zweckmäßig, wenn die Flächenwidmung in Abstimmung mit der forstlichen Raumplanung den vom Wald vor Naturgefahren zu schützenden Raum festlegt, und nach Vulnerabilitätskriterien klassifiziert. Dazu könnten bereits bei der Widmungsplanung den Widmungseinheiten Vulnerabilitätsklassen (Objektklassen) zugeordnet werden. Da in Österreich die Flächenwidmung in der Kompetenz der Bundesländer liegt, gibt es neun verschiedene Raumordnungsgesetze und Datenschnittstellen der digitalen Flächenwidmungsplanung. Die Qualität der digitalen Flächenwidmungspläne ist in Bezug auf die Datenmodelle bzw. -struktur sehr unterschiedlich. Es wird kein einheitlicher Standard verwendet. Eine Möglichkeit zur Harmonisierung der Flächenwidmungsplanung als Schnittstelle zum Naturgefahrenmanagement auf Bundesebene sind auch Widmungshüllen nach einem einheitlichen Standard für ganz Österreich. Entsprechende Muster hoher Qualität sind die Widmungshüllen der Flächenwidmung in Niederösterreich und im Burgenland.

Im Rahmen des Projektes GRAVIPROFOR wurden die verfügbaren Widmungseinheiten der Widmungshüllen und der Flächenwidmungspläne als Interessensgebiete der Raumentwicklung berücksichtigt und wie der Realbestand dreistufig klassifiziert. Aufgrund der Heterogenität und der strukturellen Besonderheiten der landesspezifischen Datensätze war das mit einem sehr hohen Aufwand verbunden.

Aufgrund der Heterogenität der Datenverfügbarkeit wurden drei Ebenen der Erfassung der vom Wald zu schützenden Objekte definiert. Je nach Datenverfügbarkeit wurde für jede Gemeinde die jeweils höchste (vollständigste) Ebene umgesetzt. Die höchste Ebene kombiniert den Realbestand und die Flächenwidmung.

Eine weitere erforderliche Datengrundlage für die Modellierung der Schutzwaldkulisse ist eine digitale Waldkarte.

Digitaler Waldlayer

Es gibt in Österreich keine einheitlich erstellte, aktuelle amtliche Waldkarte (forest use). Die in der Nutzungsebene der DKM ausgewiesene Waldfläche ist nicht aktuell und entspricht oft nicht der forstgesetzlichen Walddefinition. Die Forstdienste der Bundesländer verwenden verschiedene Waldkarten. Die Waldflächen dieser Karten stimmen nicht mit der Waldfläche nach der DKM überein. Für GRAVIPROFOR wurde daher eine Waldkarte aus verschiedenen, jeweils am besten geeigneten Waldkarten auf Empfehlung der Landesforstdienste generiert.

Langfristig wäre es zweckmäßig für ganz Österreich eine einheitlich Waldkarte als Grundlage für die forstliche Raum- und Fachplanung zu erstellen, und diese Karte als Basis für die Zuordnung des Nutzungstyps Wald in der DKM zu verwenden.

Gefahrenpotenzial - Grunddispositionsmodell

Zur Bestimmung von Schadenspotenzialen aus dem Wald müssen die potenziellen Herkunftsflächen (Auslösungsflächen) von Schneelawinen und Steinschlag bestimmt und klassifiziert werden. Das

Grunddispositionsmodell der GRAVIPROFOR Modellierung beruht auf dem ISDW-Konzept (Initiative Schutz durch Wald) des BMLFUW. Das ISDW Konzept ist auf terrestrische Erhebungen und nicht auf flächendeckende Modellierungen ausgelegt. Es wurde daher entsprechend angepasst und verbessert. Zur Bestimmung potenzieller Steinschlag-Auslösungsflächen wurden nach geologischen Einheiten differenzierte Hang-Grenzneigungswinkel verwendet. Die potenziellen Anbruchflächen von Lawinen wurden über Grenzfunktionen der Hangneigung in Abhängigkeit von der Schneehöhe bestimmt. Der bei ISDW unterstellte Zusammenhang zwischen der Schneehöhe und der Hangneigung konnte nachgewiesen und als Funktion abgebildet werden.

Schadenspotenzial - Reichweitenmodell

Um das Schadenspotenzial bestimmen zu können, wurde ausgehend von den Herkunftsflächen die Reichweite der Prozesse bestimmt. Dazu wurde ein empirisch-topografisches Prozessmodell entwickelt und verwendet, dass bei einem potenziellen Treffer an einem zu schützenden Objekt auch auf die relevante Sturzbahn bis zur Herkunftsfläche zurück rechnet, und der Sturzbahn die höchste betroffene Objektklasse zuordnet. Das Modell bestimmt die Reichweite nach dem Pauschalneigungsansatz. Es kann im D8- (für Steinschlag) und Multiple-Flow-Betrieb (Lawine) eingesetzt werden.

Schutzwaldkulisse

Zur Bestimmung der Schutzwaldkulisse (Wald mit Objektschutzfunktion) wurden die Lawinen- und Steinschlag-Prozesszonen mit Schadenspotenzial mit der Waldfläche verschnitten und nach dem modifiziertem WEP-Ansatz klassifiziert.

Die eingesetzte Methodik ist das Ergebnis der österreichweiten Datenverfügbarkeit und der zur Verfügung stehenden Arbeitsressourcen. Die Prozessmodellierung musste aufgrund der minimalen Datenverfügbarkeit und des großen Bearbeitungsgebiets mit einfachen Ansätzen und Modellen durchgeführt werden. Die Ergebnisse sind für die Prozesse Steinschlag und Lawine unterschiedlich.

Das verwendete Reichweitenmodell ist für Steinschlag besser geeignet als für Lawinen. Das Ergebnis der Modellierung von Steinschlag-Schadenspotenzialen ist als Hilfsinstrument für die Ausweisung von Wald mit Objektschutzfunktion sehr gut geeignet. Das Modell ist aber nur bedingt für die Abbildung von großen Lawinen, die meist oberhalb der Waldgrenze anbrechen, tauglich. Daher sollten vor allem bei der Kartierung des Waldes mit Lawinen-Objektschutzfunktion zusätzliche Informationen wie der Lawinenkataster und der GZP herangezogen werden.

Ausblick

Die Auseinandersetzung mit der Geodateninfrastruktur und der WEP-Richtlinie im Rahmen von GRAVIPROFOR ergibt folgende Verbesserungsmöglichkeiten der Raumplanung:

- 1) Die WEP-Richtlinie sollte in einigen Punkten überarbeitet werden. Vor allem die Beurteilungsmatrix und die Klassifikation (Bewertung) der Objekttypen sollte stärker nach risikoanalytischen Überlegungen und in Bezug auf die verfügbaren Geodaten modifiziert werden. Außerdem fehlen einheitliche Kriterien zur Beurteilung des Gefahrenpotenzials. Die Modellierung im Rahmen des Projekts zeigt dafür Ansätze auf.
- 2) Es ist eine stärkere Abstimmung der allgemeinen und der forstlichen Raumplanung möglich. Ein effizienter Ansatz könnte darin bestehen, dass bereits bei Widmungen potenzielle Vulnerabilitätsklassen berücksichtigt und in den Flächenwidmungsplänen ausgewiesen werden. Zur Harmonisierung mit der Planung auf Bundesebene sollte bei den landesspezifischen Widmungen ein einheitlicher Mindeststandard im Sinne einer Widmungshülle mitgeführt werden.

- 3) Es ist eine stärkere und bessere Abstimmung der Geodaten unter Berücksichtigung des risikoanalytischen und landschaftsökologischen Informationsbedarfs möglich. Die Datenmodelle der DKM (Nutzungsebene) und der GIP (die funktionale Straßenklassifikation) sollten dahingehend überdacht werden.
- 4) Die forstliche Raumplanung sollte sich verstärkt der Informationsstrategie zuwenden und mit der Abstimmung und Erstellung von Grundlagen für die forstlichen Raum- und Fachplanung beschäftigen (Basis- und Infrastrukturdaten, Waldlayer, Gefahrenhinweiskarten). Mit mehr zweckspezifischer Koordination der Forschung und Entwicklung können erheblich Verbesserungen der Naturgefahren- und Schutzwald-Modellierungen und damit der Qualität und Effizienz der Raumplanung als Steuerungsinstrument des Naturgefahrenmanagements erreicht werden.

LITERATUR

- Agerer, H.; Ziegner, K (2003): Das Tiroler Modell für die Beurteilung von Objektschutzwäldern. Fachvortrag beim ÖROK Workshop "Integrales Naturgefahrenmanagement", "Raumordnung und Naturgefahren", 1. und 2. Dezember 2003, Wien.
- Amt der Tiroler Landesregierung (2002): Zustand der Tiroler Wälder. Kurzbericht an den Tiroler Landtag 2002 über das Jahr 2001. Amt der Tiroler Landesregierung, Landesforstdirektion, Innsbruck.
- Anderson, G.; McClung, D. (2012): Snow avalanche penetration into mature forest from timber-harvested terrain. *Canadian Geotechnical Journal* 49: 477-484
- AGL (1974): Leitfaden zur Kartierung der Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes (Waldfunktionenkartierung) WFK. Arbeitskreis Zustandserfassung und Planung der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung), Arbeitsgruppe Landespflege, J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main.
- Banko, G.; Riedl, M. (2010): LISA – Land Information System Austria. Ziele, Inhalte, Aufbau. ÖROK-FFG Workshop 22.11.2010
- Barbolini, M.; Pagliardi, M.; Ferro, F.; Corradeghini, P. (2011): Avalanche hazard mapping over large undocumented areas. In: *Natural Hazards* 56 (2011): 451-464
- Bartelt, P.; Stöckli, V. (2001): The influence of tree and branch fracture, overturning and debris entrainment on snow avalanche flow. *Annals of Glaciology* 32: 209-216
- Bauerhansl, Ch.; Berger, F.; Dorren, L.; Duc, Ph.; Ginzler, Ch.; Kleemayr, K.; Koch, V.; Koukal, T.; Mattiuzzi, M.; Perzl, F.; Prskawetz, M.; Schadauer, K.; Seebach, L. (2010): Development of harmonized indicators and estimation procedures for forest with protective functions against natural hazards in the alpine space. JRC Scientific and Technical Reports, Ispra, (JCR 56151).
- BayWaldG (2005): Waldgesetz für Bayern (BayWaldG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. Juli 2005.
- Bebi, P. (1999): Erfassung von Strukturen im Gebirgswald als Beurteilungsgrundlage ausgewählter Waldwirkungen. Dissertation. ETH Zürich.
- Beguiría, S. (2006): Changes in land cover and shallow landslide activity: A case study in the Spanish Pyrenees. *Geomorphology* 74: 196-206
- Benda, L.; Veldhuisen, C.; Miller, D.; Miller, L.R. (1998): Slope Instability and Forest Land Managers. A Primer and Field Guide. Earth Systems Institute.
- Berger, F.; Clouet, N.; Toe, D. (2012): Avalanche and rockfall regional analysis with a special focus on protective role of forest. In: Tacnet, J.-M. (2012): Decision Support Guidelines. Methods, procedures and tools developed in PARAMOUNT (WP 7). Version 1.0. Alpine Space Programm (ERDF). <http://www.paramount-project.eu/>
- Berger, F.; Larcher, V.; Pasquazzo, R.; Simoni, S.; Strada, C.; Zampedri, G. (2012). WP6 guidelines Rockfall and Forecast systems. Paramount improved Accessibility of Alpine transport infrastructure related to mountainous hazards in a changing climate: <http://paramount-project.eu>
- Bertogg, R. (2001): Analyse der Topographie von Lawinenanrissgebieten im Lawinenwinter 1999. Diplomarbeit. Universität Salzburg.

- Biskupič, M.; Barka, I. (2011): Spatial modelling of snow avalanche run-outs using GIS. GIS Ostrava 2010.
- Blahut, J.; Horton, P.; Sterlacchini, S.; Jaboyedoff, M. (2010): Debris flow and hazard modelling on medium scale: Valtellina di Tirano, Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 10: 2379-2390
- Bohner, H.; Habeler, H.; Starlinger, F.; Suanjak, M. (2009): Wirken Lawinen nur zerstörend? *Ländlicher Raum* 2009. Online Zeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Bollinger, D.; Bonnard, Ch.; Keusen, H. (2008): Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung in der Raumplanung. Teil D: Rutschungen. Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT.
- Brassel, P.; Lischke H. (2001): Swiss National Forest Inventory: Methods and Models of the Second Assessment. WSL Swiss Federal Research Institute. Birmensdorf.
- Brang, P.; Schönenberger, W.; Frehner, M.; Schwitter, R.; Thormann, J.-J.; Wasser, B. (2006): Management of protection forests in the Alps: an overview. *Forest Snow and Landscape Research* 80, 1: 23-44
- Brosinger, F.; Rothe, A. (2003): Intakter Bergwald – unverzichtbar für den Hochwasserschutz. *LWF Berichte* 40: 34-38
- Bruschi, V.M.; Bonachea, J.; Remondo, J.; Gómez-Arozamena, J., Rivas, V.; Barbieri, M.; Capocchi, S.; Soldati, M.; Cendrero, A. (2013): Land management versus natural factors in land instability: some examples in northern Spain. *Environmental Management* 52(2): 398-416
- Burkard, A.; Salm, B. (1992): Die Bestimmung der mittleren Anrissmächtigkeit zur Bestimmung von Fließlawinen. Interner Bericht Nr. 668. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung. Weissfluhjoch Davos.
- BUWAL (1996): Handbuch. Forstliche Planung. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- BUWAL (1996 b): Wegleitung. Minimale Pflegemaßnahmen für Wälder mit Schutzfunktion. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern.
- Ciulli, M.; Tabarelli, St.; Zatelli, P. (1998): 3D Spatial Data Integration for Avalanche Risk Management. ISPRS Commission IV Symposium on GIS - Between Visions and applications, Stuttgart, Vol. 32/4: 121-127
- de la Fuente, J.; Elder, D.; Miller, A. (2002), Does deforestation influence the activity of deep-seated landslides? Observations from the flood of 1997 in the Central Klamath Mountains, Northern California: Abstracts with Programs - Geological Society of America, v. 34, no. 5, p. 88.
- de Quervain, M. (1978): Wald und Lawinen. In: Mountain Forests and Avalanches, Proceedings of the IUFRO Seminar Davos, Switzerland: 219-231
- Dieterich, V. (1953): Forstwirtschaftspolitik – Eine Einführung. Verlag Paul Parey, Hamburg.
- Dorren, L.K.A.; Berger, F.; Imeson, A.C.; Maier, B.; Rey, F. (2004): Integrity, stability and management of protection forests in the European Alps. *Forest Ecology and Management* 195: 165-176
- Dorren, L.K.A. (2012): Rockyfor3D (v4.1) revealed - Transparent description of the complete 3D rockfall model. 2012. ecorisQ paper (www.ecorisq.org)
- Duc, Ph.; Brändli U.-B.; Brassel, P. (2004): Der Schutzwald im zweiten Schweizerischen Landesforstinventar (LF2). *Forum für Wissen* 2004: 7-13
- Eisl, J. (2010): GIS-basierte Evaluierung von forstlich-biologischen Maßnahmen im Bannwald Hallstatt (OÖ). Diplomarbeit, BOKU Wien.
- Evans, S. G.; Hungr, O. (1988): Engineering evaluation of fragmental rockfall hazards. In: Bonnard, C. (1988): Landslides. Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides in Lausanne. Vol 1: 685-690
- Felkel, K. (1960): Gemessene Abflüsse in Gerinnen mit Weidenbewuchs. *Bundesanstalt für Wasserbau, Mitteilungsblatt* Nr. 15: 34-45
- Fetherstone, K.L.; Naiman, R.J.; Bilby, R.E. (1995): Large woody debris, physical process, and riparian forest development in montane river networks of the Pacific Northwest. *Geomorphology* 13: 133-144
- Fey, Ch. (2010): Modellierung von Steinschlag, Blockschlag und Felsstürzen auf alpinen Bergwegen – Kalibrierung und Anwendung von Sturzmodellierungsprogrammen zur sicheren Gestaltung des Hüttenzustiegweges zur Winnebachseehütte in Tirol. Diplomarbeit. Ruprecht-Karls-Universität, Heidelberg.
- FG (2002): Forstgesetz 1975 in der Fassung der Forstgesetz-Novelle 2002. Republik Österreich. Nationalrat. In: Jäger, F. (2003): *Forstrecht mit Kommentar*. Verlag Österreich GmbH, Wien.

- Fischer, L.; Rubensdotter, L.; Sletten, K.; Stalsberg, K.; Melchiorre, C.; Horton, P.; Jaboyedoff, M. (2012): Debris flow modelling for susceptibility mapping at regional to national scale in Norway. In: Landslides and Engineered Slopes: Protection Society through improved understanding, pp. 723-729, Taylor & Francis Group, London.
- FPB (2004): Guidelines for Evaluating Potentially Unstable Slopes and Landforms. Board Manual 11/2004. Unstable Slopes. Section 16. Forest Practices Board. Washington State Department of Natural Resources.
- Frehner, M.; Wasser, B.; Schwitter, R. (2005): Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. BUWAL, Bern.
- Freeman, G.T.(1991): Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid. In: Computers & Geosciences 17(3): 413-422
- Frey, W. (1977): Wechselseitige Beziehungen zwischen Schnee und Pflanze – eine Zusammenstellung anhand der Literatur. Mitteilungen des Eidgenössischen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung, Nr. 34, Davos.
- FSV, BMVIT (2014): Intermodaler Verkehrsgraph Österreich – Standardbeschreibung GIP (Graphenintegrationsplattform). Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS 05.01.14). Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV).
- Fuchs, S.; Zischg, A. (2014): Vulnerabilitätslandkarte Österreichs. Kurzfassung. IAN Report 152. Institut für Alpine Naturgefahren, BOKU Wien.
- Fürst, W.; Schaffer, H. (2000): Konzept des neuen Österreichischen Waldentwicklungsgesamtplanes "WEP-Austria-Digital". FBVA-Berichte 112, Wien.
- Gamma, P. (1999): dfwalk - Ein Murgang-Simulationsprogramm zur Gefahrenzonierung. Dissertation, Universität Bern.
- Gauquelin, X. (2006): Guide des Sylvicultures de Montagne. Alpes du Nord françaises. Cemagref de Grenoble, Centre Régional de la Propriété Forestière Rhône-Alpes, Office National des Forêts.
- Gayl, A. (1975): Wald, Schneemetamorphose und Lawinen. Schutz alpiner Lebensräume. Internationales Symposium INTERPRAEVENT 1975, Innsbruck, Band 2: 283-292
- Gerstel, W. J.; Badger, T.C. (2002): Hydrologic controls and forest land management implications for deep-seated landslides; examples from the Lincoln Creek Formation, Washington: Abstracts with Programs - Geological Society of America, v. 34, no. 5, p. 89.
- Ghinoi, A.; Chung, C.-J. (2005): STARTER: a statistical GIS-based model for the prediction of snow avalanche susceptibility using terrain features" application to Alta val Badia, Italian dolomites. Geomorphology 66 (1-4): 305-325
- Giamboni, M. (2008): SilvaProtect-CH – Phase I. Projektdokumentation. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- Gissing, R. (2003): Geodatenpolitik in Österreich. Herausforderungen für Politik und öffentliche Verwaltung. In: Schrenk, M. (2003) CORP 2003. Computergestützte Raumplanung. Beiträge zum 8. Symposium zur Rolle der Informationstechnologie in der und für die Raumplanung 25.02. bis 01.03.2003. TU, Wien: 131-134
- Glade, Th. (2003): Landslide occurrence as a response to land use change: a review of evidence from New Zealand. Catena 51: 297-314
- Gruber, U. (2001): Using GIS for avalanche hazard mapping in Switzerland. ESRI International User Conference, San Diego, USA.
- Gruber, U.; Baltensweiler, U. (2007): SilvaProtect-CH. Prozess Lawine. Dokumentation. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf.
- Gubler, H.; Rychetnik, J. (1991): Effects of forest near timberline on avalanche formation. Snow, Hydrology and Forests in High alpine Areas, Proceedings of the Vienna Symposium, August 1991, IAHS Publication No. 205: 19-38
- Guzzetti, F.; Crosta, G. B.; Detti, R.; Agliardi, F. (2002): STONE: a computer program for the three-dimensional simulation of rock-falls. In: Computers & Geosciences 28 (2002): 1079-1093
- GZP-V (1976): 436. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 30. Juli 1976 über die Gefahrenzonenpläne. BGBl Nr. 436/1976. Republik Österreich. Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft.
- GZP-R (2011): Richtlinie für die Gefahrenzonenplanung. Fassung vom 4. Februar 2011, BMLFUW-LE.3.3.3./0185-IV/5/2007.

- Hanewinkel, M. (2011): Multifunktionalität des Waldes. Forum für Wissen 2011: 7-14
- Hauk, E.; Perzl, F. (2013): Freiflächen in Österreichs Wald – Viehweiden und Gefahrenquellen? BFW-Praxis Nr. 32/2013: 24-31
- Hegg, Ch. (2006): Waldwirkung auf Hochwasser. LFW Wissen 55: 29-33
- Heim, A. (1932): Bergsturz und Menschenleben. Fretz & Wasmuth Verlag. Zürich.
- Hess, J.Th. (2011): Schutzziele im Umgang mit Naturrisiken in der Schweiz. Dissertation. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- Hopf, J.(2000): Beurteilung der Lawinengefahr.In: LandTirol(Hg.),Lawinenhandbuch. Innsbruck-Wien.
- Hornich, R.; Adelwöhrer, R. (2010): Landslides in Styria in 2009. Geomechanics and Tunneling 3 (5): 455-461
- Huber, A.; Perzl, F.; Fromm, R.; Fischer, J.-T.; Klebinder, K.; Sotier, B. (2013): Development of a simple raster-based model for gravitational mass movement processes applied to the regional assessment of forest stands with direct protective functionality. In: International Snow Science Workshop Grenoble Chamonix Mont-Blanc.
- Hübl, J. (2012): Anwendungsbereich und Grenzen der Prozessmodellierung von gravitativen Naturgefahren in Wissenschaft und Praxis. Wildbach- und Lawinenverbau. Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz 76/169: 18-27
- Irasawa, M.; Ishikawa, Y.; Fukumoto, A. (1991): Control of debris flow by forested zones. In: Proceedings of the Japan – United States Workshop on Snow Avalanche, Landslide, Debris Flow Prediction and Control, Sept. 30 – Oct. 2, 1991, Tsukuba, Japan: 543-550
- Jahn, J. (1988): Entwaldung und Steinschlag. Internationales Symposium INTERPRAEVENT 1988 – Graz. Tagungspublikation, Band 1: 185-198.
- Johnson, E.A. (1987): The relative importance of snow avalanche disturbance and thinning on canopy plant populations. Ecology 68 (1): 43-53.
- Johnson, A.C.; Swanston, D.N.; McGee, K.A. (2000): Landslide initiation, runoff, and deposition within clearcuts and old-growth forests of Alaska. Journal of the American Water Resources Association, 36 (1): 17-30
- Kalberer, M. (2007): Waldwirkung gegenüber Steinschlag. Untersuchungen zur Quantifizierung und Optimierung der Schutzwaldleistung. VDM Verlag Dr. Müller, Saarbrücken.
- Kaltenbrunner A. (1993): Methodenbeitrag zur Ermittlung der Lawinenschutzwirkung alpiner Wälder. Diplomarbeit ETH Zürich.
- Kennel, M.; Canalejo, J.; Schnell, A.; Troycke, A; Uhl, E. (2004): Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wald und Forstwirtschaft in Bayern. Ergebnisse eines Demonstrationsvorhabens. Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. LWF Wissen 44.
- Keusen, H.R.; Bollinger, D.; Rovina, H.; Wildberger, A; Wyss, R. (2004): Gefahreinstufung Rutschungen i.w.S. - Permanente Rutschungen, spontane Rutschungen und Hangmuren. Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren. Schweizerische Fachgruppe für Ingenieurgeologie. Bundesamt für Wasser und Geologie. Bern.
- Kienholz, H. (1995): Gefahrenbeurteilung und -bewertung: Auf dem Weg zu einem Gesamtkonzept. Schweizer Zeitschrift für das Forstwesen 146 (9): 701-725
- Kienholz, H.; Zeilstra, P.; Hollenstein, K. (1998): Begriffsdefinitionen zu den Themen: Geomorphologie, Naturgefahren, Forstwesen, Sicherheit, Risiko. Arbeitspapier. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Eidgenössische Forstdirektion, Bern.
- Konetschney, H. (1990): Schneebewegungen und Lawinentätigkeit in zerfallenden Bergwäldern. Informationsberichte, Bayerisches Landesamt zur Wasserwirtschaft, 3/90. München.
- Krott, M. (1989): Forstliche Raumplanungspolitik. Praxis und Zukunft des österreichischen Waldentwicklungsplanes. Forstliche Schriftenreihe, Band 2, BOKU Wien.
- Klebinder, K.; Fromm, R.; Perzl, F. (2009): Ausweisung von Lawinenschutzwald mittels GIS und einfachen Modellrechnungen. In: Strobl, Blaschke, Griesebner [Hrsg.]: Angewandte Geoinformatik 2009. Beiträge zum 21. AGIT- Symposium, Salzburg; Heidelberg: 94-103
- Körner, H. (1976): Reichweite und Geschwindigkeit von Bergstürzen und Fließlawinen. Rock Mechanics 8/1975; 225-256

- Langenegger, H. (1979): Eine Checkliste für die Waldstabilität im Gebirgswald. Schweizer Zeitschrift für das Forstwesen 130 (8): 640-646
- Lancaster, St.; Hayes, S.K., Grant, G.E. (2003): Effects of wood on debris flow runout in small mountain watersheds. *Water Resources Research*, 39 (6), 1168, doi:10.1029/2001WR001227
- Lied, K. (1977): Rockfall problems in Norway. Publication Nr. 90. Instituto Sperimentale Modelli e Strutture (ISMES). Bergamo.
- Lied, K.; Bakkehøi, S. (1980): Empirical calculations of snow-avalanche run-out distance based on topographic parameters. *Journal of Glaciology*, Vol. 26: 165-178
- Lied, K.; Weiler, Ch.; Bakkehoi, S.; Hopf, J. (1995): Calculation methods for avalanche run-out distance for the Austrian Alps. In: *The Contribution of scientific research to safety with snow, ice and avalanche. Actes de colloque: Chamonix 30 Mai – 3 June 1995*, Cemagref Editions, Chamonix: 63-68
- Liener, S.; Pfeifer, R.; Giambonia, M. (2008): Simulation von Gefahrenhinweisflächen als Grundlage zur Schutzwaldausscheidung in der Schweiz. In: *INTERPRAEVENT 2008 – Conference Proceedings Vol. 2*: 529-538
- LFP (2004): Waldfunktionenkartierung. Grundsätze und Verfahren zur Erfassung der besonderen Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes im Freistaat Sachsen. Freistaat sachsen. Landesforstpräsidium.
- Losey, S.; Wehrli, A. (2013): Schutzwald in der Schweiz. Vom Projekt SilvaProtect-CH zum harmonisierten Schutzwald. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- Loye, A.; Jaboyedoff, M.; Pedrazzini, A. (2009): Identification of potential rockfall source areas at a regional scale using a DEM-based geomorphometric analysis. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences 9 (2009)*: 1643-1653
- Loye, A.; Pedrazzini, A.; Jaboyedoff, M. (2008): Preliminary regional Rockfall Hazard Mapping using LiDaR-based slope frequency distribution and cone-fall modelling. In: *Locat, D.; Turmel D.; Demers D.; Leroueil S. (Hrsg.): Proceedings of the 4th Canadian Conference on Geohazards: From Causes to Management*. Quebec. Presse de l'Université laval, 2008.
- Lüscher, P.; Wasser, B.; Zürcher, K. (2000): Standortcharakteristiken (Teilprojekt 1). Schlussbericht zum Projekt "Einfluss des Waldes und minimaler Pflegemassnahmen auf das Abflussverhalten der Gewässer und die Rutschaktivität im Flyschgebiet". Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- Lüscher, P.; Zürcher, K. (2003): Waldwirkung und Hochwasserschutz: Eine differenzierte Betrachtungsweise ist angebracht. In: *LWF-Bericht Nr. 40*: 30-33.
- Maestro Cano, I.C. (2004): Map of the Intrinsic Risk of Avalanches for the Aragonese Pyrenees by using GIS Techniques. Commission on Mountain Cartography, workshop Valle de Nuria, Spain.
- Maggioni, M.; Gruber, U.; Stoffel, A. (2002): Definition and characterisation of potential avalanche release areas. In: *Proceedings of the 2002 ESRI International User Conference*, San Diego, United States.
- Maggioni, M.; Gruber, U. (2003): The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency. In: *Cold Regions Science and Technology 37*: 407-419
- Maggioni, M. (2004): Avalanche release areas and their influence on uncertainty in avalanche hazard mapping. Dissertation. Universität Zürich.
- Margreth, S. (2004): Die Wirkung des Waldes bei Lawinen. *Forum für Wissen 2004*: 21-26
- Margreth, S.; Burkard, A.; Buri, H. (2008): Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung in der Raumplanung. Teil B: Lawinen. PROTECT Testversion 2008. Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT.
- 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 Gemeinden Vorarlbergs. BFW-Dokumentation 5, Wien.
- Marty, J.; Blanchet, J. (2011): Long-term changes in annual maximum snow depth and snowfall in Switzerland based on extreme value statistics, *Climatic Change*, doi:10.1007/s10584-011-0159-9.
- May, C.L. (2002): Debris flows through different forest age classes in the central Oregon coast range. *Journal of the American Water Resources Association* 38/4: 1097-1113
- May, C.L.; Gresswell, R.E. (2003): Processes and rates of sediment and wood accumulation in headwater streams of the Oregon coast range, USA. *Earth Surface Processes and Landforms* 28: 409-424

- Mazzorana, B.; Zischg, A., Largiader, A.; Hübl, J. (2009): Hazard index maps for woody recruitment and transport in alpine catchments. *Natural hazards and Earth System Sciences* 9/2009: 197-209
- McClung, D.M.; Schaerer, P.A. (1981): Snow avalanche size classification. In: Proc. Avalanche Workshop, Associate Committee on Geotechnical Research. National Research Council of Canada, Ottawa, Ont. Tech. Mem. 133: 12-27
- McClung, D. M. (2003): Magnitude and Frequency of Avalanches in Relation to Terrain and Forest Cover. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* Volume 35, No. 1, 2003: 82-90
- Medicus, G. (2009): Massenbewegungen und Vegetationsbedeckung. Diplomarbeit. Universität Innsbruck.
- Melzner, S.; Preh, A. (2012): Sturzmodelle und ihre Anwendbarkeit in der Praxis. *Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz*. 169/2012.
- Moser, T.A.; Zabel, A.; Bernath, K.; Baur, P.; Roschewitz, A.; Beck, C.; Zimmermann, W. (2008): Inwertsetzung von Waldwerten und Waldleistungen. Ergänzungsbearbeitung zur COST Aktion E45. Professur Umweltpolitik und Umweltökonomie – IED – ETH, Forschungsanstalt WSL.
- Motta, R.; Haudemand, J.C. (2000): Protective Forests and Silvicultural Stability: An Example of Planning in the Aosta valley. *Mountain Research and Development*, Vol. 20, 2: 180-187
- O'Callaghan, J.F.; Mark, D.M. (1984): The extraction of drainage networks from digital elevation data. In: *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* 28: 323-344
- Perla, R.; Martinelli, M. (1976): Avalanche Handbook. Agriculture Handbook No. 489. U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Perla, R. (1977): Slab avalanche measurement. *Canadian Geotechnical Journal*. Volume 14: 206-212
- Perzl, F. (1995): Die Weiterentwicklung des Waldentwicklungsplanes im alpinen Schutzwald durch luftbildgestützte waldbauliche Zustandserfassung. Fallbeispiel Gortniel – Badmunt/St. Gallenkich. Diplomarbeit. BOKU, Wien.
- Perzl, F. (2005): Verbesserung der Evaluierung geförderter Schutzwaldmaßnahmen im Rahmen der VO LE auf ausgewählten Standorten unter Heranziehung aktueller Methodenentwicklungen im In- und Ausland (vertiefende Evaluierung). Projektendbericht im Auftrag des BMLFUW. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Innsbruck.
- Perzl, F. (2005 b): Beurteilung der Lawinen-Schutzwirkung des Waldes. BFW-Praxisinformation 8: 27-31
- Perzl, F. (2008 a): Indicators of hazard potential and protective effects. Vortrag. ProAlp Consultation Meeting. 31.03.2008, Logarska, Slovenien.
- Perzl, F. (2008 b): Ein Minimalstandard für die Dokumentation der Schutzwirkungen des Waldes im Rahmen der Österreichischen "Initiative Schutz durch Wald". In: Conference Proceedings - Internationales Symposium Interprävent 2008, Dornbirn, (2): 551-562
- Perzl, F.; Kammerlander J. (2010): Schneehöhe und Lawinengefahr einst und im Jahre Schnee? BFW-Praxisinformation 23: 8-10
- Perzl, F.; Bauerhansl, Ch.; Walter, D. (2011): Endbericht zu "Standardisierte Ermittlung von Wald mit Objektschutzwirkung" im Rahmen des European Territorial Cooperation South East Space Project MONITOR II, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), Institut für Naturgefahren, Institut für Waldinventur, Innsbruck.
- Perzl, F.; Walter, D. (2012 a): Gefährdung der Verkehrsinfrastruktur durch Naturgefahren: Identifikation durch Schneelawinen gefährdeter Verkehrswege-Abschnitte. AlpineSPACE Projekt PARAMount: improved Accessibility: Reliability and security of Alpine transport infrastructure related to mountainous hazards in a changing climate, Deliverables.
- Perzl, F.; Walter, D. (2012 b): Die Lawinen-Schutzwirkung des Waldes im Klimawandel. AlpineSPACE Projekt MANFRED: Management strategies to adapt Alpine Space forests to climate change risks, Deliverables.
- Perzl, F. (2014): Der Objektschutzwald – Bedeutung und Herausforderung. BFW-Praxis Nr. 34/2014: 20-24
- Perzl, F.; Den Outer, J.; Rössel, M. (2014 c): GRAVIPROFOR. Verbesserung der Erfassung der Schutzwaldkulisse für die forstliche Raumplanung. Methodik – Datengrundlagen für die Modellierung von Waldflächen mit Lawinen- und Steinschlag-Objektschutzfunktion. Technische Hilfe im Rahmen des österreichischen Programms LE 07-13. Projektbericht, Projekt-Teilbericht im Auftrag des BMLFUW. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald (BFW), Innsbruck.

- Perzl, F.; Hagen, K; Huber, A. (2014 b): GRAVIPROFOR. Verbesserung der Erfassung der Schutzwaldkulisse für die forstliche Raumplanung. Methodik - Prozessmodellierung Steinschlag. Technische Hilfe im Rahmen des österreichischen Programms LE 07-13. Projektbericht, Projekt-Teilbericht im Auftrag des BMLFUW. Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Innsbruck.
- Perzl, F.; Huber, A.; Fromm, R. (2014 a): GRAVIPROFOR. Verbesserung der Erfassung der Schutzwaldkulisse für die forstliche Raumplanung. Methodik - Prozessmodellierung Schneelawine. Technische Hilfe im Rahmen des österreichischen Programms LE 07-13. Projektbericht, Projekt-Teilbericht im Auftrag des BMLFUW. Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Innsbruck.
- Pfister, R. (1997): Modellierung von Lawinenanrissen im Wald. Nachdiplomkurs in angewandter Statistik. ETH Zürich.
- Pfister, F.; Eggenberger, M. (1988): Zukunft für den Schutzwald? Methoden der Massnahmenplanung dargestellt am Beispiel der Region "Visp-Westl.Raron" VS. Nationales Forschungsprogramm 14+. Eidgenössische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen, Birmensdorf.
- Piegay, H.; Bravard, J.-P. (1997): Response of a mediterranean riparian forest to a 1 in 400 year flood, Ouveze river, Drome-Vaucluse, France. *Earth Surface Processes and Landforms* 22: 31-43
- Pistocchi, A; Notarnicola, C. (2013): Data driven mapping of avalanche release areas: a case study in South Tyrol, Italy. *Natural Hazards* (2013) 65: 1313-1330
- Proske, H.; Bauer, Ch.; Granica, K. (2011): Different Approaches of Rockfall Susceptibility Maps in Lower Austria. *Proceedings of the Second World Landslide Forum – 3-7 October 2011, Rome.*
- Proske, H.; Bauer, Ch. (2013): MONOE – Modellierung der Sturzprozesse. NÖ Geotage 2013. Geogene Gefahren und Raumordnung.
- Rauter, M.; Paulus, G.; Seymann, C. (2006): GIS-gestützte Analyse zur Berechnung potenzieller Lawinenabbruchgebiete. In: Strobl J., Blaschke Th. und Griesebner G. (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik. Beiträge zum 18. GIS-Symposium Salzburg.* Wichmann Verlag, Heidelberg: 569-578
- Reichenbach, P.; Busca, C.; Mondini, A.C.; Rossi, M. (2014): The Influence of Land Use Change on Landslide Susceptibility Zonation: The Briga Catchment Test Site (Messina, Italy). *Environmental Management DOI 10.1007/s00267-014-0357-0*
- Rickli, C.; Graf, F.; Gerber, W.; Frei, M.; Böll, A. (2004): Der Wald und seine Bedeutung bei Naturgefahren geologischen Ursprungs. *Forum für Wissen* 2004: 27-34
- Riegert, C., Bader, A. (2010): On uses, effects, meanings and tasks of German forest. Linking forest functions and ecosystem services. Background paper. *Solutions for Sustaining Natural Capital and Ecosystem Services. International Conference and Workshop – Salzaau Castle and Kiel University (June 7th 2010 – June 11th 2010);* http://www.uni-kiel.de/ecology/projects/salzaau/wp-content/uploads/2010/02/Background-Paper-Riegert_Bader.pdf
- Rouiller, J.-D.; Jaboyedoff, M., Philipposian, F.; Marro, Ch. (1998): *Pentes instables dans le Pennique valaisan – une méthodologie d'auscultation des falaises et de détection des éboulements majeurs potentiels. Rapport final du PNR 31. Edition VDF.*
- Rudolf-Miklau, F.; Patek, M. (2004): Geschiebemanagement in Wildbacheinzugsgebieten im Einklang mit der EU-Wasserrahmenrichtlinie. *Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004 – Riva/Trient, Tagungsband: 207-216*
- Rudolf-Miklau, F.; Hübl, J. (2010): Managing risks related to drift wood (woody debris). *Symposium Proceedings INTERPRAEVENT 2010 Taipei/Taiwan: 868-878*
- Rudolf-Miklau, F.; Hübl, H.; Schattauer, G.; Rauch, H. P.; Kogelnig, A.; Habersach, H.; Schulev-Steindl, E. (2011): *Wildholz Praxisleitfaden. INTERPRAEVENT Klagenfurt, Schriftenreihe 1, Handbuch 2.*
- Sakals, M.E.; Innes, J.L.; Wilford, D.J.; Sidle, R.C.; Grant, G.E. (2006): The role of forests in reducing hydrogeomorphic hazards. *Forest, Snow and Landscape Research*. 80, 1: 11-22
- Salm, B.; Burkard, A.; Gubler, H. (1990): Berechnung von Fließlawinen, eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. *Mitteilungen des Eidgenössischen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung EISLF, Nr. 47, Davos.*
- Schaerer, P.A. (1981): Avalanches. In: Gray, D.M. & Male, D.H. (1981): *Handbook of snow. Principles, management & use.* Blackburn Press. Caldwell, New Jersey.
- Scheller, E. (1970): *Geophysikalische Untersuchungen zum Taminser Bergsturz. Dissertation. ETH Zürich.*

- Schmidt, R.; Heller, A.; Sailer, R. (2003): Die Eignung verschiedener digitaler Geländemodelle für die dynamische Lawinensimulation mit SAMOS. In: Strobl, J., Blaschke, T., Griesebner, G. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XV, Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2003: 455-464
- Schneebeili, M.; Laternser, M.; Föhn, P.; Ammann, W. (1997): Wechselwirkungen zwischen Klima, Lawinen und technischen Massnahmen. Zürich, Hochschulverlag ETH Zurich (vdf). (National Research Program 31. Final report.
- Schneebeili, M.; Bebi, P. (2004): Snow and Avalanche Control. In: Burley et al. (2004): Encyclopedia of Forest Science. Elsevier Academic Press, Amsterdam, Boston, Heidelberg: 397-402
- Schönenberger, W. (1998): Adapted silviculture in mountain forests in Switzerland. In: Proceedings of IUFRO Inter-Divisional Seoul Conference, October 12-17, 1998, Seoul, Korea: 142-147
- Schwitter, R.; Bucher, H. (2009): Hochwasser: Schützt der Wald oder verstärkt er die Schäden? Waldbauliche Behandlung von gerinnerelevanten Schutzwäldern. Wald und Holz 6/9: 31-34
- Sekot, W.; Schwarzbauer, P. (1995): Methodische Ansätze zur Bewertung der infrastrukturellen Leistungen der Forstwirtschaft. Schriftenreihe des Instituts für forstliche Betriebswirtschaft und Forstwirtschaftspolitik. Band 25. BOKU Wien.
- Sidle, R. (2008): Case study: slope stability: benefits of forest vegetation in Japan. ProAct Network 2008.
- Simea, I. (2012): Using GIS for avalanche susceptibility mapping in Rodnei Mountains. Riscuri și Catastrofe. An Xi, Vol. 10, Nr. 1/2012: 83-88
- SLF (2000): Der Lawinenwinter 1999. Ereignisanalyse. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF), Davos.
- Steinacher, R.; Medicus, G.; Fellin, W.; Zangerl, W. (2009): The Influence of Deforestation on Slope (In-) Stability. Austrian Journal of Earth Science 102/2: 90-99
- Stitzinger, K.R. (1999): Snow avalanche risk and decision support for clear-cut harvested terrain. Master thesis, Edinboro University of Pennsylvania.
- Suk, P.; Klimánek, M. (2011): Creation of the snow avalanche susceptibility map of the Krkonoše mountains using GIS. Acta Universitatis Agridulturae et Silviculturae Mendelianae Brunnensis 28, 5 (2011): 237-245
- Takeuchi, Y.; Torita, H.; Nishimura, K.; Hirashima, H. (2011): Study of large scale dry slab avalanche and the extent of damage to a cedar forest in the Makunosawa valley, Myoko, Japan. Annals of Glaciology 52(58): 119-128
- Tarboton, D.G. (1997): A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. Water Resources Research 33(2): 309-319
- Teich, M.; Marty, Ch.; Gollut, C.; Grêt-Regamey, A.; Bebi, P. (2012 a): Snow and weather conditions associated with avalanche release in forests: Rare situations with decreasing trends during the 41 years. Article in press. Cold Regions Science and Technology 44 (4): 509-515
- Teich, M.; Bartelt, P.; Grêt-Regamey, A.; Bebi, P. (2012 b): Snow avalanches in forested terrain: Influence of forest parameters, topography and avalanche characteristics on runout distance. Arctic, Antarctic, and alpine Research 44: 509-519
- Tracz, D. (2012): Deep Snow Slab Avalanches. Master of Science Thesis. Department of Civil Engineering, University of Calgary, Alberta.
- TRL-WLV (2011): Technische Richtlinie für die Wildbach- und Lawinenverbauung. TRL-WLV gemäß § 3 Abs 1 Z 1 und Abs 2 des WBFG 1985 i. d. F. BGBl. Nr. 82/2003 vom 29.8.2003. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.
- Tromp, H. (1971): Der Wald als Element der Infrastruktur. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 122 (11): 528-541
- Tukey, J.W. (1974): Exploratory data analysis. Addison-Wesley.
- Vanacker, V.; Vanderschaeghe, M.; Govers, G.; Willems, E.; Poesen, J.; Deckers, J.; De Bievre, B. (2003): Linking hydrological, infinite slope stability model and land-use change models through GIS for assessing the impact of deforestation on slope stability in high Andean watersheds. Geomorphology 52, 3-4: 299-315
- Veitinger, J.; Sovilla, B.; Purves, R. (2012): Influence of snow cover on location and extension of avalanche release areas. [Abstract] Geophys. Res. Abstr. 14: EGU2012-11317

- Volk, H.; Schirmer, Ch. (2003): Leitfaden zur Kartierung der Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes (Waldfunktionenkartierung). Projektgruppe Forstliche Landespflege. Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung. Sauerländer.
- Volkwein, A.; Schellenberg, K.; Labiouse, V.; Agliardi, F.; Berger, F.; Bourrier, F.; Dorren L.K.A.; Gerber, W.; Jaboyedoff, M. (2011): Rockfall characterisation and structural protection – a review. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 11: 2617-2651
- WaG (2008): Schweizerische Eidgenossenschaft. Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft. Bundesgesetz über den Wald (Waldgesetz, WaG) vom 4. Oktober 1991 (Stand am 1. Januar 2008)
- WaV (2012): Schweizerische Eidgenossenschaft. Schweizerischer Bundesrat. Verordnung über den Wald (Waldverordnung, WaV) vom 30. November 1992 (Stand am 1. Januar 2012).
- Weber, L. (1997): Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Archiv für Lagerstättenforschung 19. Wien.
- Wehrli, A.; Brang, P.; Maier, B.; Duc, Ph.; Binder, F.; Lingua, E.; Ziegner, K.; Kleemayr, K.; Dorren, L. (2007): Schutzwaldmanagement in den Alpen – eine Übersicht. *Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen* 158 (2007) 6: 142-156
- Weir, P. (2002): Snow avalanche management in forested terrain. Res. Br., B.C. Min.For., Victoria B.C. Land Manage. Handb. No. 55.
- Weiss, G. (1999): Die Schutzwaldpolitik in Österreich. Einsatz forstpolitischer Instrumente zum Schutz vor Naturgefahren. Schriftenreihe des Instituts für Sozioökonomik der Forst- und Holzwirtschaft. Band 39. BOKU Wien.
- Weiss, G. (2001): Strategien für die Gebirgswalderhaltung auf Basis von Erfahrungen aus Österreich und anderen Alpenländern. Österreichische Forsttagung, Tagungsband, Wien.
- Weiss, G. (2003): Politische Strategien für einen nachhaltigen Schutz vor Naturgefahren. *Ländlicher Raum* 4/2003. Online Zeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Weiss, G.; Meier-Glaser, A.L. (2012): Coase und der Schutz vor Naturgefahren durch den Wald – eine institutenökonomische Analyse. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 163: 17-28
- WEP-V (1977): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 18. November 1977 über den Waldentwicklungsplan, BGBl. Nr. 582/1977. Republik Österreich. Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft.
- WEP-R (2006): Waldentwicklungsplan. Richtlinie über Inhalt und Ausgestaltung – Fassung 2006. Erstellung: Singer, F.; Starsich, A.; Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Wien.
- WEP-R (2012): Waldentwicklungsplan. Richtlinie über Inhalt und Ausgestaltung – Fassung 2012. Erstellung: Singer, F.; Starsich, A.; Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Wien.
- Wilford, D.J.; Sakals, M.E.; Innes J.L. (2005): Forest management on fans: hydrogeomorphic hazards and general prescriptions. For., Res. Br., Victoria, B.C. Land Manage. Handb. No. 57.
- Wohlrab, B.; Ehlers, M.; Günnewig, D.; Söhngen, H.-H. (1995): Oberflächennahe Rohstoffe – Abbau, Rekultivierung, Folgenutzung – im Spannungsfeld zwischen gesicherter Versorgung und Umweltverträglichkeit. Gustav Fischer Verlag, Jena, New York.
- Wullschleger, E. (1982): Die Erfassung der Waldfunktionen. Berichte. Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen. Bericht 238. Birmensdorf.
- Zimmermann, M.; Mani, P.; Gamma, P. (1997): Murganggefahr und Klimaänderung - ein GIS-basierter Ansatz. Zürich : vdf Hochschulverlag AG an der ETH.
- Zürcher, K. (2010): Anforderungen an den Steinschlag-Schutzwald: Maximal zulässige Lückenlänge und minimal bewaldete Hanglänge? In: FAN-Agenda 2/10: 10-15