



Handlungsanleitung - Optimierung der hydrologischen Wirkung von Schutzwäldern

Projekt ITAT4041-BLÖSSEN

Auswirkungen verzögerter Wiederbewaldung im Schutzwald auf die Sicherheit vor Naturgefahren (insbesondere Abflussbildung)

CIG-Kodex: Z512380595	CUP-Kodex B96E17000000001
CIG-Kodex: ZED2380578	CUP-Kodex B96E17000000001
CIG-Kodex: ZAB2380554	CUP-Kodex B96E17000000001
WV Nr.: 013163	Land Tirol / Forstplanung

Auftraggeber: Provinz Bozen (IT), Amt für Forstwirtschaft

Amt der Tiroler Landesregierung (A), Landesforstdirektion

Auftragnehmer: Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Institut für Naturgefahren, Rennweg 1- Hofburg, 6020 Innsbruck

Autoren: **G. Markart¹, F. Perzl¹, V. Lechner¹, B. Kohl¹, P. Hauser², C. Geitner³, G. Meißl³, G. Pircher⁴, C. Scheidl⁵, L. Stepanek⁶ und M. Teich¹**

¹ BFW – Institut für Naturgefahren, Rennweg 1 – Hofburg, 6020 Innsbruck

² Bezirksforstinspektion Landeck, 6500 Landeck

³ Institut für Geographie, Universität Innsbruck, 6020 Innsbruck

⁴ Forstinspektorat Schlanders, IT-39928 Schlanders

⁵ Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur, 1190 Wien

⁶ Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Gbltg. Mittleres Inntal, 6020 Innsbruck

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Abkürzungsverzeichnis	iii
1. Ziele und Grundlagen	1
2. Generelle Richtlinien	2
2.1 Abflussvorbeugung	2
2.2 Steuerung des Wasserumsatzes	2
2.3 Änderung des Wasserumsatzes durch Entfernung des Bestandes (Schlägerung)	4
2.4 Der (wildbachhydrologisch) ideale Bestand	7
2.5 Veränderung der Bodenverhältnisse – mechanische Belastung	10
2.6 Hangstabilisierende Wirkung von Waldbeständen	12
2.7 Wildholz-/Grabeneinhangbewirtschaftung	14
2.8 Klimawandel – Climate Change (CC)	15
2.9 Lawinen	16
2.10 Wild - Naturverjüngung	17
2.11 Naturverjüngung versus Aufforstung	17
2.11 Übersicht – hydrologische Wirkungen von Waldvegetation, Bewirtschaftung und Standort ..	19
2.12 Planungsgrundlagen	20
3. Ergänzende Angaben zu den Testgebieten	22
3.1 Istalanzbach und Schallerbach – See i.P. (NT)	22
3.1.1 Blößen und Räumden, offene Flächen	22
3.1.2 Hangstabilisierung	23
3.1.3 Bodenversiegelung	24
3.1.4 Verjüngungszustand	25
3.2 Tanaser Bach (ST)	26
3.2.1 Weideeinfluss	27
3.2.2 Verjüngungssituation	27
3.2.3 Wildholzpotenzial	28
3.2.4 Umbau der Schwarzkiefer-Bestände	29

3.3 Kapron (ST)	30
3.3.1 Verjüngungssituation	31
3.3.2 Weide und Wilddruck.....	31
3.3.3 Hydrologische Situation	31
Dank.....	32
Literatur.....	33
Abbildungsverzeichnis.....	36

Abkürzungsverzeichnis

AKL	Abflussbeiwertklasse
BA	Baumart
Bah	Bergahorn (<i>Acer pseudoplatanus</i>)
BF	Beregnungsfläche
Bi	Birke (<i>Betula pendula</i>)
CC	Climate Change, Klimawandel
DM	Durchmesser
EEs	Eberesche (<i>Sorbus aucuparia</i>)
EG, EZG	Einzugsgebiet
Fi	Fichte (<i>Picea abies</i>)
h	Pflanzenhöhe, Baumhöhe [m]
H/D	Höhe/Durchmesser -Verhältnis
HRU	Hydrologische Reaktionseinheit, hydrological response unit
Lä	Lärche (<i>Larix decidua</i>)
N	Niederschlag
NT	Nordtirol
OA	Oberflächenabfluss
SH	Seehöhe
SKi	Schwarzkiefer (<i>Pinus nigra</i>)
Spi	Spirke (<i>Pinus uncinata</i>)
ST	Südtirol
Ta	Gebiet Tanaser Bach, Tanaser Berg
TEZG	Teileinzugsgebiet
ü. NN.	über Normal Null
Vol%	Volumsprozent
Wki	Weißkiefer (<i>Pinus sylvestris</i>)
Zi	Zirbe (<i>Pinus cembra</i>)
Ψ_{const}	Oberflächen-Abflussbeiwert bei Abflusskonstanz

Handlungsanleitung - Optimierung der hydrologischen Wirkung von Schutzwäldern

1. Ziele und Grundlagen

- Die im folgenden Bericht angeführten Beispiele für Maßnahmen und Kriterien basieren auf
 - den Ergebnissen der Untersuchungen in den Testgebieten des ITAT4041 Projektes BLÖSSEN (Nordtirol: Istalanzbach und Schallerbach bei See im Paznauntal, Südtirol: Kapron und Tanaser Berg im Vinschgau) (siehe Bericht von Markart et al. 2019)
 - den Ergebnissen von Starkregensimulationen und begleitenden Erhebungen (Bodenfeuchtemessungen, Ermittlung bodenphysikalischer Kennwerte u.a.) in ca. 40 Regionen / Einzugsgebieten des Ostalpenraumes
 - Literaturrecherchen
 - Erfahrungen von verantwortlichen Förstern und Waldaufsehern in den Testgebieten und den Ergebnissen des Stakeholderworkshops in Graun am 23.1.2020 (Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse des ITAT4041-Projektes BLÖSSEN und des Rohentwurfes der Handlungsanleitung mit Vertretern der Forstdienste, der Wildbachverbauung und der Landwirtschaft aus Nordtirol, Südtirol und dem Engadin).
- Die hier gegebenen Hinweise sollen über die unmittelbaren Projektgebiete hinaus anwendbar sein. Daher werden im Folgenden auch Themen angesprochen, die in den Testgebieten nicht oder nur eingeschränkt relevant sind (z.B. Lawinen, Wildholzbewirtschaftung).
- Die angeführten Beispiele für Maßnahmen und Kriterien zielen überwiegend auf die **Bestandesoptimierung aus hydrologischer Sicht** und die **Optimierung der Standfestigkeit im Hinblick auf flachgründige Rutschungen**. Sind in einem Gebiet andere Naturgefahrenprozesse dominant (z.B. Lawinen, Steinschlag), ist die Bewirtschaftung auf diese Prozesse hin zu optimieren und die hydrologische Optimierung als zweites Ziel mitzuführen.
- Das vorliegende Heft ist jedoch keine standortsspezifische Bewirtschaftungsanleitung. Dafür gibt es die Ergebnisse und Karten der Waldtypisierung, Informationen der Walddatenbank und weitere landesweite standortsspezifische Grundlagen in Nord- und Südtirol.

In den meisten Kapiteln sind die wichtigsten Punkte in Kästchen – in **grüner (hydrologisch günstig)** bzw. **blauer (hydrologisch ungünstig)** Farbe – zusammengefasst. Unter **Einhaltung der grünen** bzw. **Vermeidung der blauen** Punkte kann man am einfachsten eine hydrologische Verbesserung erreichen bzw. eine möglichst gute hydrologische Wirkung der Bestände erzielen.

2. Generelle Richtlinien

2.1 Abflussvorbeugung

Die Ergebnisse der Berechnungen im ITAT-4041-Projekt BLÖSSEN und eine Vielzahl weiterer vom BFW durchgeführter Berechnungen belegen die geringere Abflusswirksamkeit von Waldstandorten in Relation zum Freiland und die positive Wirkung gut strukturierter und gemischter Bestände auf das Infiltrationsverhalten des Bodens. Auch nach Frehner et al. (2005)¹ ist optimales Retentionsvermögen des Bodens mit möglichst geringem Oberflächenabfluss und optimaler Schutz des Standortes vor (flachgründigen) Rutschungen an eine ausreichende Bodendeckung durch Wald- bzw. Zwergstrauchvegetation und an einen gestuften Bestandesaufbau gebunden.

Die Schutzwirkung des Waldes in einem Einzugsgebiet (EG) ist im Wesentlichen von den Standortverhältnissen, dem Waldanteil im EG und dem Waldzustand abhängig. In Einzugsgebieten mit geringem Waldanteil mag die Abfluss vorbeugende Wirkung des Waldes in Bezug auf das Gesamt-EG untergeordnet sein, jedoch ist i.d.R. eine hohe Schutzwirkung in den Teil- EG, in Klein-EG und auf der Hangskala gegeben (Rössler 2020, Markart et al. 2019).

2.2 Steuerung des Wasserumsatzes

Der Wasserbedarf von Beständen steigt mit zunehmendem Bestandesalter (Müller 2013). Nadelbäume weisen einen höheren Wasserverbrauch auf. Sie verdunsten auch in den zuletzt häufiger auftretenden milden Wintern erhebliche Wassermengen (Zimmermann et al. 2008, Müller 2013). Von Frühjahr bis Herbst weist vor allem aber auch die Lärche einen sehr hohen Wasserverbrauch auf und schränkt auch bei Trockenheit den Wasserverbrauch längere Zeit nicht ein (Wieser et al. 2016). Die Tiefensickerung unter Koniferen ist das gesamte Jahr über in Relation zu Laubhölzern (z.B. Eiche, Buche) geringer (Zimmermann et al. 2008).

¹ NaiS: Schutzwaldpflege-Maßnahmen. In Schweizer Gebirgswäldern verbindlich, wenn diese mit Bundesmitteln gefördert oder abgegolten werden.

Im Hinblick auf die **Abflussvorbeugung** ist ein **höherer Wasserverbrauch** durch die Waldbestockung günstiger, dadurch steht im Waldboden bei Niederschlagsereignissen ein höherer freier Bodenspeicher zur Verfügung.

⇒ Allgemein sollten **Koniferen** auf Standorten mit ausreichender Niederschlag (N)-Versorgung – wie im Nordtiroler (NT) Testgebiet – unter Berücksichtigung der jeweiligen Standortstauglichkeit **in ausreichendem Umfang erhalten bleiben**. Damit könnte bei und nach längeren N-Ereignissen eine rasche Wieder-Bereitstellung eines freien Bodenspeichers gewährleistet werden.

In trockeneren Regionen – wie den Südtiroler (ST) Testgebieten im Vinschgau – ist zu überlegen, an Hängen mit reiner Lärche **sukzessive andere standortsangepasste Baumarten beizumischen**, da die **Lärche** bei Häufung solcher Trockenjahre wie 2018 aufgrund ihres hohen Wasserverbrauches und der verspäteten Reduktion ihrer Transpirationsleistung hier **physiologisch Probleme** bekommen könnte (z.B. Wasserstress, Wachstumseinbußen). Zudem leistet die Lärche im Winter im nadelfreien Zustand nur einen geringen Beitrag zur Schnee-Interzeption und damit zum Lawinenschutz.

⇒ In der Waldtypisierung Südtirol werden für den Raum Kapron montane bis subalpine Fichtenwälder ausgewiesen. Auch nach Aussage der lokalen Förster hat die **Fichte hier Potenzial**, man könnte sie daher zumindest beimischen.

⇒ Anstelle der früheren Lärchen-Zirbenwälder findet man an den Sonnseiten einen Zwergstrauchgürtel mit Besenheide und Borstgrasweiden. In **höheren Lagen** hätte daher auch die **Zirbe ihre Berechtigung**.

Nach den Ergebnissen des ITAT-4041-Projektes BLÖSSEN weisen die Böden in den Testgebieten (Istalanzbach und Schallerbach in NT, Raum Kapron und Tanser Bach in ST) ein hohes Infiltrationsvermögen auf (Markart et al. 2019). Um dieses **Infiltrationspotenzial aufrecht zu erhalten**, benötigt es **Bodendeckung durch** (siehe Abbildung 2):

- **Baumvegetation** und ausreichende **Verjüngung**, um sukzessive einen gestuften Aufbau der Bestände zu erreichen und
- **ausreichende Bodenvegetation** (insbesondere Zwergstrauchheide und krautige Pflanzen). Reine Vergrasung ist aufgrund des hydrophoben Effektes toter Blattscheiden hinderlich (sog. „**Blattscheideeffekt**“).

2.3 Änderung des Wasserumsatzes durch Entfernung des Bestandes (Schlägerung)

Durch die Hiebsführung (Abbildung 1) findet ein starker Eingriff in die Struktur des Bestandes mit negativen aber auch positiven Auswirkungen auf den Wasserhaushalt statt. Im Folgenden werden die wichtigsten Effekte kurz angesprochen:

- **Interzeption und Transpiration** sind auf Hiebsflächen/Freiflächen deutlich **reduziert** (selbst bei nach einiger Zeit aufkommender Schlagflora).
- Der **Oberflächenabfluss** – mit Ausnahme sehr durchlässiger (grob texturierter) Böden – ist **höher**.
- Die **Bodenfeuchte ist im Jahresdurchschnitt höher**. Dies bestätigten auch die Messungen in den Nord- und Südtiroler Testgebiete im Projekt BLÖSSEN (Markart et al. 2019), d.h. der freie Bodenspeicher ist auf Freiflächen in Relation zum umliegenden Bestand geringer. Das Aufnahmevermögen der Böden in den Freiflächen ist daher insbesondere bei Starkregen schlechter.
- Innerhalb weniger Jahre nach der Hiebsführung werden tote Wurzeln abgebaut, die Wurzelkohäsion im Boden (armierende/bodenfestigende Wirkung) nimmt deutlich ab. Freie Wurzelkanäle können als Dränröhren über viele Jahre wirksam sein (Aigner 1991, Markart et al. 2007). Daher muss auf Schlagflächen auch mit einem erhöhten Zwischenabfluss gerechnet werden.
- Im montanen aber auch subalpinen Bereich kann die Konkurrenz für die Verjüngung durch krautige aber auch grasige Vegetation zunehmen (Abbildung 4). Im montanen Bereich steigt in vielen Teilen Westösterreichs die Konkurrenz durch invasive Neophyten (Drüsiges Springkraut - *Impatiens glandulifera*, Japanischer Staudenknöterich - *Reynoutria japonica*, Riesen-Bärenklau - *Heracleum mantegazzianum*, u.a.). Ohne entsprechende Schutzmaßnahmen für die Verjüngung wird daher die Wiederbewaldung, und damit eine optimale hydrologische Schutzwirkung, deutlich verzögert.



Abbildung 1: Istalanzbach – linkes Bild: - Kleine, mehrere Jahre alte Hiebsfläche im Unterlauf, auf der kaum Verjüngung vorhanden ist. Es besteht ein Potenzial für Oberflächenabfluss und höheres Hangwasserangebot. Rechtes Bild: Kleiner Schlitzhieb mit aufkommender Verjüngung. Der Verjüngung gelingt es langsam, auf nackten, nur mit Fichten-Streu bedeckten Flächen Fuß zu fassen.



Abbildung 2: Linkes Bild (Istalanzbach) – Natürliche Verjüngungsfläche mit großer Artenvielfalt. Rechtes Bild (Tanaser Sonnberg) – Umgewandelte Schwarzkiefern (SKI)-Fläche mit großer Baumartenvielfalt. Wenige Jahre nach Umwandlung ist das Abflussverhalten bereits deutlich besser als unter SKI.

⇒ Bei Starkregen muss auf Schlagflächen, neben einem erhöhten Oberflächenabfluss, mit mehr Wasser im Zwischenabfluss gerechnet werden, dieses wird auch rascher dem Vorfluter zugeführt.

⇒ Die **Schutzwirkung des Waldes vor Rutschungen** ist **in Jungwuchsflächen und auf über längere Zeit unbestockten Flächen am geringsten**. Die Wurzeln des Vorbestandes stabilisieren den Boden nicht mehr, das Wurzelnetzwerk der jungen Bäume ist noch zu schwach bzw. fehlt bei Nicht-Bestockung die armierende Wirkung der Wurzeln.

⇒ Geeignete Bewirtschaftungsarten, um eine möglichst durchgehende Schutzwirkung auf großer Fläche in Einzugsgebieten zu erreichen, sind: **Vorverjüngung unter Schirm** (Schirmschlag) und **kleinflächige Verjüngung** (Einzelstammnutzung, Entnahme von Kleingruppen < 1 Baumlänge Ø, Schlitzhiebe mit einer Breite < ½ Baumlänge) mit Baumartenkombination laut Waldtypisierung.

⇒ Aus hydrologischer Sicht ist die **sofortige Wiederbewaldung**, möglichst unter Ausnützung der Naturverjüngung, nach der Holzernte **zwingend**. **Wenn nach drei Jahren nicht oder nicht ausreichend Verjüngung aufkommt, ist unbedingt mit Baumarten laut Waldtypisierung nachzubessern** bzw. sind je nach Schadfaktor (Weide, Wild, Freizeitaktivitäten, invasive Neophyten u.a.) die entsprechenden **Schutzmaßnahmen** zu ergreifen.

Aus Abbildung 3 ist die deutlich erhöhte Tiefensickerung jüngerer Bestände aufgrund der geringeren Interzeption und Transpirationsleistung ersichtlich. Daher ist die Hang-stabilisierende Wirkung von Verjüngungsflächen und Dickungsstadien deutlich geringer. Verzögert sich die Wiederbewaldung, z.B. aufgrund von Wildverbiss oder Verdämmung durch Konkurrenzvegetation oder invasive Neophyten, verlängert sich diese Phase reduzierter Schutzwirkung des Waldes.

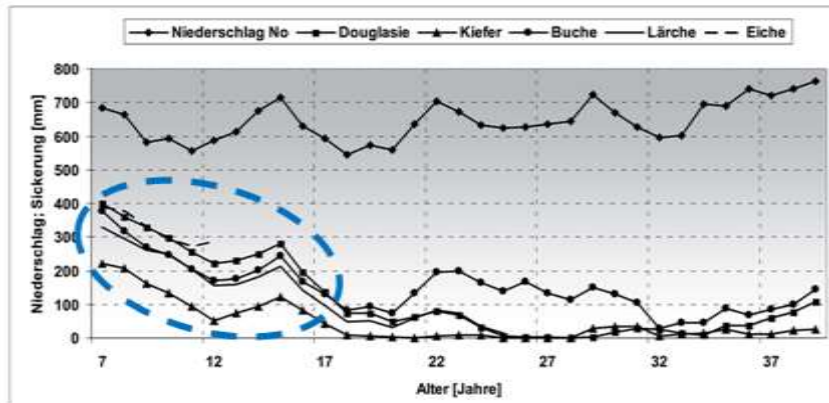


Abbildung 3: Anteil der Tiefensickerung in Abhängigkeit vom Jahres-N in jungen Beständen (verändert nach Müller 2013). Höhere Tiefensickerung in Jungwuchsflächen, höherer Wasserverbrauch ab Alter von 20 Jahren.



Abbildung 4: See im Paznauntal (zw. Schallerbach und Istanzbach) – Invasive Schlagflora gepaart mit invasiven Neophyten. Aufkommen der Bestandesverjüngung ist nur durch Freischneiden und/oder massiven Einzelschutz möglich.

⇒ Gibt es **binnen drei Jahren** keine Anzeichen für ausreichend aufkommende Naturverjüngung auf großer Fläche, ist **Pflanzung unter Schutz** notwendig.

⇒ Bei **invasiven Neophyten** (z.B. Drüsiges Spingkraut), starker Vergrasung oder Verkrautung, ist **Aussicheln, Ausmähen von Kleingruppen bzw. einzelnen Individuen** zumindest 1 Mal p.a. (vor Reifung der Samen) notwendig. Einzelschutz ist so lange sinnvoll, bis die Jungpflanzen von der Konkurrenzvegetation (z.B. Himbeere, Haselstrauch, Spingkraut) nicht mehr überwachsen werden können.

2.4 Der (wildbachhydrologisch) ideale Bestand

2.4.1 Bestandesaufbau

Hydrologisch optimal sind stockwerkartig aufgebaute Bestände, also **mehrschichtige Bestände** mit **dichter Deckung** durch die Bodenvegetation (am besten Jungwuchs, Sträucher, Zwergsträucher, krautige Pflanzen in Mischung). Durch diesen stockwerkartigen Aufbau wird die Aufprallwirkung des Niederschlages bei Starkregen am besten gebremst, die Verschlammung des Bodens weitgehend vermieden und dadurch der effektive Niederschlag gut über die Humusaufgabe in den Mineralboden abgeleitet (vgl. Abbildung 5).



Abbildung 5: Hangflanke mit guter Baumartenmischung und abwechslungsreicher Textur. Lediglich die beiden im Zuwachsen begriffenen Schneisen in der Bildmitte und unten am rechten Bildrand sind nicht ideal (mögliche Abflusskonzentration in der Falllinie).

2.4.2 Bestandesdichte, Überschirmung

In gut strukturierten Waldbeständen werden bis zu 6 mm Niederschlag pro Ereignis im Kronendach zurückgehalten (Markart 2000), je nach Art der Bodenvegetation weitere 1-4 mm. Stangen-, Baum- oder Althölzer sollten jedoch keine **100%-Überschirmung** aufweisen. Bei voller Überschirmung gelangt kein bzw. zu wenig Licht in den Bestand und auf den Waldboden. Bei reinen Fichten-Standorten kann diese Entwicklung zu einem dichten Bestand mit vegetationslosem Boden führen (*Piceetum nudum*). Zur Gewährleistung des optimalen Infiltrationspotentials eines Bestandes sollte das „Ausdunkeln“ der Bodenvegetation vermieden werden. Dickungspflege ist daher essenziell. In Dickungen ist so rechtzeitig einzugreifen, dass die einzelnen Bäume möglichst ihre langen Kronen behalten. Dadurch werden Standfestigkeit, Interzeptions- und Transpirationsleistung des Einzelbaumes erhöht und gleichzeitig die Infiltrationsleistung des Bodens erhalten bzw. optimiert.

Ziele sind:

- ⇒ Eine **hohe Blatt- bzw Nadelmasse** für **maximale Interzeptions- und Transpirationsleistung** (Ausschöpfung des Bodenspeichers), aber keine volle Überschirmung, um die ideale Bodenbedeckung zum Erhalt oder zur Förderung des Infiltrationsvermögens des Waldbodens zu gewährleisten.
- ⇒ Eine **gleichmäßige Kronenausbildung**, welche die größtmögliche Stabilität des Einzelbaumes gegenüber externen Belastungen, z.B. Nassschnee, Wind, fördert.

2.4.3 Oberflächenrauigkeit

Eine **raue Boden-Oberfläche** reduziert die Geschwindigkeit des Oberflächenabflusses und wirkt Abfluss verzögernd bzw. bremsend. Je rauer die Bodenoberfläche desto **dichter die Bodenvegetation**, umso stärker wird abfließendes Wasser verteilt und kann damit besser in den Boden einsickern. Deshalb sollte auch aus hydrologischer Sicht möglichst viel vom Schlagabraum (z.B. Ast-, Blattmasse, Wipfel) möglichst flächig verteilt am Standort verbleiben, um die Rauigkeit der Oberfläche zu erhöhen.

Vollbaumnutzung (auch Entnahme von Ast- und Blattmaterial) mag zwar kurzfristig monetäre Vorteile bringen, führt jedoch i.d.R. aufgrund des fehlenden Schlagabraumes zu höherem Oberflächenabfluss. Auch das Erosionspotenzial und damit die Verlustraten nährstoffreichen Oberbodens sind auf Standorten mit vergleichsweise geringeren Rauigkeiten höher.

Abfluss verzögernde/bremsende Wirkung der Bodenvegetation:

Die **Abfluss verzögernde/bremsende Wirkung der Bodenvegetation** verschlechtert sich in folgender Ordnung nach ihrem Wirkungsgrad:

Sträucher und Zwergsträucher

> Krautschicht

> Vergrasung mit viel Totmaterial

> reine dünne Humusschicht mit Nadelstreu (hydrophobe Effekte)

>> nackter Boden

Bestände mit Zwergsträuchern (z.B. Alpenrose, Heidelbeere - Abbildung 6) weisen die beste Infiltrationscharakteristik auf, krautige Bodenvegetation ist oft schon ein Indikator für feuchtere Bodenverhältnisse.



Abbildung 6: Istalanzbach – Linkes Bild: aufgelockertes Fi-Altholz mit dichter Zwergstrauchheide. Rechtes Bild: Baumholz mit Heidelbeere (beide 0 bis max. 10% Oberflächenabfluss).

Ein Spezialfall sind dichte Fichtenbestände. Hier kann es zur Ausbildung des *Piceetum nudum* (Boden mit Auflage aus reiner Fi-Streu ohne Kraut- und Strauchschicht) kommen (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Die Fi-Streu weist besonders bei Trockenheit hohe Benetzungswiderstände auf. Bei Starkregen fließen hohe N-Mengen insbesondere bei trockener Humusauflage wie auf einem Strohdach ab, obwohl der speicher- bzw. sickerrfähige Mineralboden eigentlich wesentlich mehr Niederschlag aufnehmen könnte.



Abbildung 7: Tanaser Sonnberg – linkes, oberes mittleres und rechtes Bild: Ski-Flächen mit nur teilweiser Bodendeckung durch Vegetation $\Rightarrow$ erhöhtes Abflusspotenzial (Abflussbeiwertklasse 2, Abflussbeiwert = 0,26). Entstehender Abfluss wird rasch linear und rinnt als „Bach“ den Hang hinunter. Diese Bestände sind nur begrenzt in der Lage, konzentrierten Oberflächenabfluss aus höheren Bereichen zu puffern (siehe rechtes Bild). (Linkes und mittleres oberes Bild: Auftraggeber – Landesforstdienst Südtirol). Mittleres Bild unten: Istalanzbach – mit reiner Fi-Streu bedeckter Boden (*Piceetum nudum: nudum* = ohne Bodenvegetation) ist bei großflächiger Ausbildung aufgrund von benetzungshemmender Wirkung nach Austrocknung stark Abfluss fördernd.

2.4.4 Vergrasung von Beständen

Beispiele zu vollständiger Vergrasung finden sich in vielen Flanken der Südtiroler Testgebiete (Kapron und Tanaser Berg). Nach Angaben des lokalen Forstpersonals fehlen die früher durch die Beweidung immer wieder gegebene Bodenverwundung bzw. der offene Boden zwischen dem kurz gehaltenen Gras und damit die passenden Ansamlungsbedingungen für die Lärche. Die zunehmende Vergrasung wirkt einer optimalen hydrologischen Schutzwirkung der Bestände entgegen. Sie bewirkt aufgrund der verstärkten Anreicherung von Totmasse (tote Blattscheiden) zu erhöhtem Abfluss (Strohdacheffekt).

⇒ L kommt im Bereich geworfener Bäume auf (Wurzelteller). **Lokale Bodenverwundung** ist eine Möglichkeit, um der **Lärche die Ansamung zu erleichtern**. Durch L-Ansaat können auf nicht extremen Standorten in höheren Lagen gute Anwuchserfolge erzielt werden (Stern 1972; Bsp. tztal/Obergurgl - Stern 1970), nicht jedoch z.B. auf Calluneten, extrem beweideten Flächen oder Trockenstandorten.

2.4.5 Einfluss der Baumartenkombination auf den Abfluss

Es gibt signifikante Einflüsse der Bewirtschaftung auf den Spitzenabfluss, wie auch die Ergebnisse der Starkregensimulationen am Tanaser Berg belegen: Das Abflussverhalten von Mischbeständen mit standortsangepassten Baumarten (Abflussbeiwert 0) ist besser als jenes mit gebietsfremden Baumarten bestockten Einheiten (SKI – Abflussbeiwert 0,26). Aber auch diese reagieren deutlich besser als das benachbarte Freiland (Abflussbeiwert > 0,5).

2.5 Veränderung der Bodenverhältnisse – mechanische Belastung

Mechanische Belastung verschlechtert die Bodeneigenschaften je nach Intensität der Belastung. Diese führt im Extremfall zur vollständigen Bodenversiegelung (z.B. Forststraßen, Rückegassen, Befahren mit Erntegerten, Bodenzug, Waldweide, konzentrierter Einstand von Wildtieren).

⇒ Abfluss- und Erosionssicherungen sind bei Durchlässen und **auch auf Rückegassen zwingend**, z.B. durch die Erhöhung der Oberflächenrauigkeit mit **Schlagabraum** und **die gezielte Anlage von Ausleitungen mit guter Versickerungsmglichkeit**.

2.5.1 Erschließung

Spitzenabfluss und -fracht bei Starkregen korrelieren direkt mit der Dichte des Wegenetzes. Je dichter die Erschließung (z.B. Straßen, Rckewege, Lager- und Umkehrpltze), umso höher der Abfluss bei Starkregen. Allerdings ist eine entsprechende Erschließung die unbedingte Voraussetzung für kleinflächige Nutzungseingriffe.

- ⇒ **Alternativen** prüfen, z.B. Seilbringung, Rückung mit Pferd (wo möglich)
- ⇒ **Landschaft schonender Wegebau**: Abziehen des Oberbodens mit der Vegetation und Wiederaufbringung ungestörter Boden/Vegetationsziegel auf den Wegböschungen
- ⇒ **Bombierung** von Wegen: nur ca. 50% des Niederschlages sind bei entsprechendem Pflegezustand über Berggräben und Durchlässe abzuführen
- ⇒ **Seitlich hängende Wege**: nur das Wasser von bergseitigen Böschungen muss gefasst und ausgeleitet werden. Der auf dem Weg entstehende Abfluss fließt seitlich ab und kann ab der Böschung flächig versickern.
- ⇒ **Optimierung von Auslaufsicherungen** unterhalb der Durchlässe: Durchlässe und Ausleitungen nur bei aufnahmefähigen unterliegenden Hängen.

2.5.2 Beeinträchtigung der Wirkung des Waldbodens – Umwandlung von Waldflächen (Bodenversiegelung²)

Die Inanspruchnahme von Waldboden für Wegebau, Holzlagerplätze oder für die Errichtung von Schipiste wirkt sich folgendermaßen aus:

z.B. Inanspruchnahme für Wegebau, Holzlagerplatz:

- Fahrbahn = Abflussbeiwert (Ψ_{const}) = **1,0**
- Böschung bergseitig - Ψ_{const} = **0,8-1,0** (lokal beim Regenereignis auch Mehranfall durch austretendes Hangwasser)
- Böschung, talseitig - Ψ_{const} = **0,5-0,8**

oder für Schipisten

Ψ_{const} i.d.R. $\geq$ **0,8** (mit Ausnahme extrem durchlässiger Substrate)

Durch derartige Maßnahmen wird Ψ_{const} **gegenüber der ursprünglichen Waldfläche** (i.d.R. zw. 0,0 und 0,2) deutlich erhöht (vgl.).

² „Bodenversiegelung bedeutet die Abdeckung des Bodens mit einer wasserundurchlässigen Schicht. Der Boden wird auf seine Trägerfunktion reduziert. Er verliert seine Produktionsfunktion und darüber hinaus auch viele andere wichtige Funktionen, wie zum Beispiel die Fähigkeit Wasser zu speichern, Schadstoffe zu filtern, zu binden oder abzubauen, und seine Fähigkeit Wasser zu verdunsten (Kühleffekt).“ (Umweltbundesamt 2020)



Abbildung 8: Forstweg im Istalanzbach. Im Mittel ist für die ganze Breite (rot strichlierte Linie) mit Abflussbeiwerten zwischen 0,8 und 0,9 bzw. für die Straße auf 5 m Breite mit 1,0 zu rechnen.

⇒ Für hydrologische Modellierungen sind daher für **Forststraßen**, aber auch **Skipisten**, **sehr hohe Abflussbeiwerte** anzunehmen. Beispielsweise ist in Kalkulationen mit ZEMOKOST (Kohl 2011), für **Forststraßen mit Abflussbeiwert 1 auf mindestens 5 m Breite** zu rechnen.

⇒ Für 1 ha umgewandelte Waldfläche (Planie – zerstörter Waldboden) müsste auf einer direkt darunter anschließenden Waldfläche von mindestens 5 ha der Abflussbeiwert von 0,2 auf unter 0,1 reduziert werden, um diese Verschlechterung zumindest rechnerisch teilweise zu kompensieren (Kohl et al. 2009).

Tatsächlich ist die Kompensation viel aufwendiger, weil der Abfluss auf diesen (teil)versiegelten Flächen sofort linear wird (sich in Tiefenlinien konzentriert) und die unterliegenden Flächen linear durchschneidet (quasi als Bach im Wald). Es benötigt daher eine sehr lange Fließstrecke (oft hunderte Meter), um einen solchen Abfluss zumindest teilweise zu puffern (vgl. Abbildung 7 – rechtes Bild).

2.6 Hangstabilisierende Wirkung von Waldbeständen

Baumarten-Mischung (Kombination unterschiedlicher Wurzeltypen) erhöht die bodenfestigende/hangstabilisierende Wirkung. Bei Beständen mit reinen Flachwurzlern (z.B. Fichte) ist die stabilisierende Wirkung geringer, Scherkräfte werden nur ungenügend auf tiefere Bodenschichten übertragen. Tanne oder, wo geeignet, Buche schließen diese tiefere Bodenschichten besser auf (Lange et al. 2012, Jost et al. 2012).

Eingriffe auf Rutschhängen dürfen keinesfalls zu großflächig erfolgen: Bei Massenbewegungen (tiefgründige Bewegungen und größere flachgründige Rutschungen) erfolgen immer wieder vermeintliche „Hangentlastungen“ auf deutlich größeren Bereichen um „durch Entfernung der Bäume die Masse des Hanges zu reduzieren“. Schon Beinsteiner (1981) berechnete, dass für einen Bodenkörper von 1 m Mächtigkeit die Masse des Bestandes vernachlässigbar gering ist, und die Massen der Festsubstanz und des Wassers im Boden ungleich stärker ins Gewicht fallen:

- Bestandesmasse 3 % ca. 500 to/ha (ca. 400 Bäume mit 40 cm DM)
- Boden 50% ca. 12500 to/ha (Feststoffdichte = 2,5 g/cm³)
- Wasser 35% ca. 3500 to/ha (ca. 2 Tage nach stärkeren Niederschlägen, nach Dauerregen ist deutlich mehr Wasser im Boden)
- Rest: mit Luft gefüllter Porenraum

In der Mehrzahl der so bezeichneten Fälle handelt es sich also nicht um Hangentlastungen.

Koniferen geben in unseren Breiten durch Interzeption und Transpiration im Jahr ca. 50% des Niederschlages wieder an die Atmosphäre zurück.

Daher beträgt der Mehranfall an Bodenwasser, z.B. bei Entfernung eines Fichtenbestandes, pro Jahr nach Entnahme des Bestandes:

- 2500 m³/ha (im Minimum) – durch geringere Interzeption
- 2000 m³/ha (im Minimum) – durch geringere Transpiration (unter der Annahme, dass Schlagvegetation ca. 50% der Transpirationsleistung der Waldvegetation erbringt)

Dieses Wasser geht in der ersten Zeit nach Räumung des Bestandes bis zur erfolgreichen Wiederbewaldung direkt in den Boden, den Zwischenabfluss oder den tieferen Untergrund kann also destabilisierend wirken (Gegenteil der geplanten Wirkung einer „Hangentlastung“). Die aufkommende Schlagvegetation kann die Interzeptions- und Transpirationsleistung des Bestandes nur zum Teil kompensieren.

⇒ **Räumungen sind auf den Standort abzustimmen.** Tatsächlich sollen solche „Räumungen“ nur im minimal notwendigen Umfang erfolgen, z.B.:

- wenn die Gefahr besteht, dass **Bäume in den Bach stürzen** oder mit dem Rutschkörper abzufahren drohen,
- Bäume z.B. **durch Bewegung im Wind umstürzen** oder **Rutschungen auslösen** könnten,
- bei Nicht-Entfernen sich das **Gefahrenpotenzial für die Unterlieger beträchtlich erhöhen** oder
- die **Aufarbeitung** des liegenden Holzes **übermäßig erschwert** würde.

⇒ Insbesondere auf tiefgründigen Auflockerungen + Massenbewegungen im Fels besteht bei großflächiger Räumung die Gefahr der Aktivierung/Beschleunigung der Hangbewegung.

⇒ Wenn arbeitstechnisch möglich, sollten die offenen Bereiche im Zuge der Räumung mit **einzelnen in Schichtenlinie verankerten Bäumen** gesichert werden. Dadurch wird die Erosion des offenen Hanges verringert: Die quergelegten Bäume wirken als Piloten (siehe Abbildung 9), erodiertes Material kann sich oberhalb der Bäume anlagern und die Wiederbesiedlung des Hanges durch Pioniere (Gehölze und Baumarten) wird erleichtert und beschleunigt.



Abbildung 9: Piloten - einfache Erosionssicherung mit quergelegten und -fixierten Bäumen. Dadurch wird die Erosion vermindert, Feinmaterial akkumuliert und das Ankommen von Vegetation (auch von Pionierhölzern) erleichtert.

2.7 Wildholz-/Grabeneinhangbewirtschaftung

Wildholz ist bereits im Bach liegendes Holz (Totholz) und das bei einem Hochwasserereignis frisch eingetragene Holz (Definition nach Hübl et al. 2008).

Der ansonsten schützende Wald kann auch eine Gefahrenquelle darstellen, denn bei vielen Hochwasser- und Wildbachereignissen der letzten Jahre wurde das Ausmaß der Schäden durch den Wildholzanteil erhöht. Daher kommt der Wildholz-gerechten Bewirtschaftung in steilen Grabeneinhängen besondere Bedeutung zu. Aus Sicherheitsgründen wird immer wieder über weite Strecken des Bachlaufes, mitunter vom Schwemmkegelhals bis zur Waldgrenze, der Baumbestand (starkes Stangenholz bis inkl. Altholz) entfernt, um das Wildholzpotenzial gering zu halten. Dies geschieht i.d.R. aus Kostengründen, um den Seilkraneinsatz möglichst effizient zu halten und das Wildholzpotenzial auf längere Zeit deutlich zu reduzieren.



Abbildung 10: Seigesbach im Sellraintal, nach dem Ereignis von 7. auf 8. Juni 2015. Ergänzend zur Wildholzbewirtschaftung entlang des Bachlaufes erfolgten auf größerer Fläche noch Aufräumarbeiten nach Windwurf und „Arrondierungsschläge“. Positives Resultat: Kaum Wildholz im Graben. Negativ: Rutschungen reichen in den geschlägerten Bereichen oft deutlich weiter nach oben als in den bestockten Einheiten.

⇒ Wildholzbewirtschaftung sollte gezielt für **Bestände ab starkem Stangenholz und die stärkeren Durchmesserklassen** erfolgen.

⇒ Ziel sind **Dauerwald-artige Mischbestände**, in die in kürzeren Abständen eingegriffen wird und die stärkeren Individuen, ab stärkerem Stangenholz (15-20 cm DM), entfernt werden.

⇒ Empfohlen werden **häufigere Eingriffe**, z.B. alle 20 Jahre. Diese Entnahme stärkerer Individuen (ab starkem Stangenholz) in kürzeren Intervallen sind wohl kostenintensiver, aber im Hinblick auf die Bestandes- und Hangstabilität wesentlich effektiver.

Anmerkung: Der Vorschlag zur Entnahme von **Durchmesserstärken > 15-20 cm** ergibt sich aus der Annahme, dass stärkere Hölzer – sobald sie im Bach liegen – von den Wassermassen weniger leicht zerteilt werden können, also das Verklausungspotenzial und damit auch das mögliche Schadausmaß durch Murgänge für die Unterlieger mit zunehmender Durchmesserstärke deutlich größer werden.

Derartige einmalige stärkere/großflächige Eingriffe sind nicht ideal, insbesondere wenn noch dazu Zufallsnutzungen in den überliegenden Hängen anfallen und zusätzliche „Arrondierungsschläge“ erfolgen. Analysen des Ereignisses im Seigesbach/Sellrain (7. auf 8. Juni 2015) zeigten, dass durch eine solche Vorgehensweise zwar das Wildholzangebot fast gegen Null reduziert werden konnte (Lechner et al. 2015). Aufgrund zusätzlicher Nutzungen an den Hängen kam es jedoch zu ausgedehnten Lockersedimentrutschungen im Gegensatz zu den Bereichen, die nur im Hinblick auf eine Wildholzbewirtschaftung geräumt wurden (Abbildung 10). Viele Erosionsflächen befanden sich dabei auf Jahre zuvor genutzten Standorten.

2.8 Klimawandel – Climate Change (CC)

Geänderte N-Mengen und N-Verteilungen im Zuge des CC können sich massiv auf Wuchsverhalten und -leistung und damit auf das Rückhaltevermögen der Standorte auswirken. Höhere Temperaturen bedeuten eine größere Gefährdung durch Schädlinge, insbesondere durch neue invasive Schädlings-Arten. Bei Zunahme von Schadflächen und Zufallsnutzungen (z.B. durch Wind, Nassschnee, Insekten, Lawinen; Bebi et al. 2017) ist an den betroffenen Standorten mit höherer Vorbefeuchtung und geringerer Aufnahmefähigkeit der Böden im Ereignisfall (Starkregen) zu rechnen.

⇒ In ihrem potenziellen Verbreitungsgebiet hat die **Tanne** auch ein **höheres Potenzial im Schutzwald**, insbesondere unter CC-Bedingungen; eine Voraussetzung ist jedoch die Lösung des Wildproblems (Fürst et al. 2017).

⇒ **Richtige Baumartenwahl** ist im Hinblick auf den CC besonders wichtig. Das Baumartenspektrum in den Hochlagen ist stark eingeschränkt (z.B. Fi, Zi, Lä, ev. Spi, EEs, Bah bis 1500 m). Deshalb wird empfohlen, autochthones Saatgut und Pflanzmaterial zu verwenden, d.h. standortsangepasste Pflanzen und nicht nur standortstaugliches Material.

⇒ Aufgrund der Vollbelaubung von Laubbölkern erst mit Ende April/Mitte Mai, ist in mittleren und tieferen Lagen zur Sicherung einer minimalen Retention in Zeiten fehlender bzw. beginnender oder fallender Belaubung im Frühjahr und im Herbst eine **ausreichende Ausstattung mit immergrünen Koniferen** notwendig (vermehrtes Einbringen von Ta, WKi zulasten der Fi). Die Fichte sollte zumindest in mittleren bis höheren Lagen weiterhin als Mischbaumart (Reinbestände sind aufgrund ihrer Anfälligkeit gegen Störungen durch Wind und Insekten zu minimieren) vorhanden sein, da sie ein höheres Schutzpotenzial aufweist als Lärche.

⇒ Bisher bewährte Grundregeln für die Aufforstung in höheren Lagen gelten auch für die Zukunft mit dem Klimawandel (Bebi et al. 2013, Fürst et al. 2017):

- **Standortsangepasste Herkünfte**
- **Kleinstandörtliches** Setzen, Lochpflanzung, kleine Pflanzen
- **Gruppenweises Pflanzen** der Baumarten, keine Einzelmischung
- Entsprechende **Pflege**
 - Förderung der **Vorverjüngung**
 - **Rechtzeitige Eingriffe** zur Förderung der Bestandesstabilität (unverkürzte Kronen, niedrige H/D-Werte)

2.9 Lawinen

Nach den Ergebnissen des RIMES-Projektes (Zeidler 2013) werden flüssige Niederschläge im Winter in den Zentralalpen bis 2300 m Seehöhe zunehmen, d.h. es herrschen häufiger Bedingungen für Gleitschnee-, feuchte und nasse Schneebrett- sowie nasse Lockerschneelawinen (siehe auch Bebi et al. 2012, Teich et al. 2012). Durch das **Abgleiten dieser Lawinen** direkt auf der Bodenoberfläche, erhöht sich auch die **Gefahr von Schäden an der Verjüngung**, dadurch wird wiederum die hydrologische **Schutzwirkung der Bestände verringert**. **Wintergrüne Überschildung** verhindert vor allem das Anbrechen von trockenen Schneebrettlawinen. Beobachtungen im Gelände zeigen, dass bei trockenem, bindigem Schnee trotz ca. 2 m Schneehöhe kaum Schneegleiten zu beobachten ist. An derselben Stelle können jedoch 50 cm bis 1 m mächtige Nassschneepakete unter Schirm als Gleitschneelawinen abrutschen.

⇒ Daher kommt der **Oberflächenrauigkeit** (Totholz, Jungwuchs, Stammzahl) künftig eine größere Bedeutung zu (Perzl und Walter 2012, Bebi et al. 2012). **Schlagabraum ist daher in Lawenschutzwäldern unbedingt zur Erhöhung der Oberflächenrauigkeit, v.a. zum Schutz gegen Gleitschneelawinen, im Wald zu belassen.**

⇒ **Wintergrüne Überschirmung** kann das Anbrechen von trockenen Schneebrettlawinen verhindern.

2.10 Wild - Naturverjüngung

Auf die Frage an Förster bzw. Waldaufseher in den Testgebieten in NT und ST, ob eine spezielle Bewirtschaftung in Hinblick auf den CC vorgesehen sei, war der Tenor: NEIN. Aufgrund des Wildeinflusses sei man froh, Flächen überhaupt in Bestand zu bekommen.

In Nordtirol kann Tanne nur unter Einzelschutz (Drahtkörbe) dem Äser entwachsen. Es gibt hohe Schäden an Lärche durch Fegen, auch Fichten müssen mittels streichfähiger Präparate geschützt werden.

In Südtirol leiden die Bestände ebenfalls durch Wild. In den Südtiroler Testgebieten erfolgen 80% der Laubholzaufforstungen unter Zaun. Ungeschützte Bäume sind durch wiederholte(n) Verbiss und Schälung schon in jungen Jahren von Rotfäule betroffen. In vielen Bereichen fehlt die Naturverjüngung, es gibt große Schäden an Lärche (Fegeschäden).

⇒ Die Entwicklung „klimafitter“ und stabiler Bestände mit ausreichender Mischung an Baumarten, die mit den künftigen Klimabedingungen zurechtkommen, ist an ein **optimiertes Wildtiermanagement** gebunden.

2.11 Naturverjüngung versus Aufforstung

In den letzten Jahrzehnten wurde in Nord- und Südtirol verstärkt auf Naturverjüngung gesetzt. Die in den letzten Jahren jedoch vielerorts ausbleibende oder nur stark verzögert aufkommende Verjüngung zeigt, dass mit der Naturverjüngung allein die Wiederbegründung schutzfähiger Bestände aufgrund zunehmender externer Einflüsse, wie

- Verstärkte Nutzung
- Häufung von Zufallsnutzungen (Windwurf, Schneedruck, Rutschungen)
- Wildschäden
- Klimawandel

an vielen Standorten nicht mehr binnen akzeptabler Frist erfolgen kann.

⇒ Wenn im **Schutzwald binnen drei Jahren nicht ausreichend Naturverjüngung** aufkommt, ist die **Ursache** dafür zu **analysieren** und mit **geeignetem Pflanzenmaterial (gemäß Waldtypisierung)** und unter Minimierung oder **Ausschaltung von Störfaktoren** und, wenn notwendig, unter **Schutz** (Einzelschutz, Zäunung) **aufzufensten**.

2.11 Übersicht – hydrologische Wirkungen von Waldvegetation, Bewirtschaftung und Standort

Hydrologisch günstig (+)	Hydrologisch ungünstig (–)
Mischbestände, standortangepasste Baumarten laut Waldtypisierung; Optimal sind junge, plenterartige Bestände mit hohem Anteil an Tiefwurzlern (z.B. Tanne); Anteil von Flach-/Senkwurzlern (z.B. Fichte) < 50 %; Hoher Laubholzanteil wo möglich (standortsanangepasst); Ausreichender Anteil an immergrünen Koniferen (Interzeption und Transpiration in Zeiten fehlender Belaubung bei Laubhölzern)	Standortswidrige Reinbestände Uniforme Bestände, Konzentration von Flach- bzw. Senkwurzlern (ungenügende Übertragung der Scherkräfte auf tiefere Bodenschichten)
Stufung, Schichtung Raumstruktur: • mehrschichtig-plenterartig • zweischichtig, dreischichtig • mit dichter Bodenvegetation (Krautschicht, Zwergsträucher)	Einschichtige Bestände Sehr hohe Individuenzahl bedeutet i.d.R.: • fortgeschrittene Astreinigung • geringe Kronenlänge und Nadelmasse • fehlende Bodenvegetation
Überschirmung durch die Oberschicht von 80 bis 90% Bodendeckung (Unterwuchs, Bodenvegetation) = • raue Bodenoberfläche • dichte Bodenvegetation (Krautschicht, Zwergsträucher) • hoher Anteil an Totholz, Schlagabraum, etc.	Überschirmung durch die Oberschicht von 100% bzw. Überschirmungsgrade der Baumvegetation < 70% (außer bei dichter Zwergstrauchheide) Fehlender Unterwuchs, fehlende Bodenvegetation = • glatte Bodenoberfläche • nackter Mineralboden • keine Bodenvegetation, trockene Nadelstreu - „gekämmter Wald“ • Vergrasung (mit hohem Anteil toter Blattscheiden)
Zuwachszintensive Phasen	Terminal-, Zerfallsphasen
Grob texturierte, lockere Böden (feinteilreich, nur wenn locker)	Bindige, dichte Böden, besonders in Kombination mit standortswidrigen BA, bzw. Flach- und/oder Senkwurzlern
Mittel-tiefgründige Böden	Flachgründige Böden auf dichtem Untergrund (anstehender Fels, Stauer; historische Zusatznutzungen, z.B. Streurechen)
Ausgeglichene Wasserversorgung	Hohes permanentes Hangwasserangebot, Vernässung
Humusaufgabe: Moder bis Rohhumus oder Mullhumus mit annueller Streu und Bodenvegetation	Xeromorphe Humusformen mit Benetzungswiderständen nach Austrocknung (z.B. ausgetrocknete Fi-Streu)
Bewegtes Kleinrelief, Mulden, Schichtköpfe, Verbindung über einzelne Spalten und Klüfte mit dem Untergrund	Gleichförmige Morphologie, Rückenlagen, Unterhänge, konvexe Formen
Alternative Bringungsformen (Seilkran, Pferd, u.a.), Anordnung von Rückegassen und -wegen in nicht abflusskonzentrierender Form	Dichtes Wegenetz, viele ungeordnete und ungenügend stabilisierte Bringungswege und Rückegassen; Viele (ungesicherte) Ausleitungen, Abflusskonzentrationen
Keine Zusatzbelastungen	Zusatzbelastungen: • Hoher Wilddruck • Waldweide • Freizeitaktivitäten

2.12 Planungsgrundlagen

Abflussbeiwertkarte und Walddtypisierung

Das BFW, Institut für Naturgefahren, in Innsbruck, erstellt im Auftrag der Sektion Tirol der WLW eine **Abflussbeiwertkarte für Tirol**, Projektleiter ist Dr. Bernhard Kohl.

Die **Abflussbeiwertkarte für Osttirol ist bereits fertig** (Abbildung 11). Sie wurde an insgesamt 6 Testgebieten auf ihre Praxistauglichkeit in der Niederschlags-/Abfluss-Modellierung geprüft. Die Tests des BFW ergaben sehr gut nachvollzieh- und vergleichbare Ergebnisse (Berechnungen der jeweiligen Abflussspitzen und Frachten für die jeweiligen Einzugsgebiete). Die Karte wird zurzeit von der WLW in Osttirol intern an weiteren Einzugsgebieten getestet.

Für Nordtirol soll die Abflussbeiwertkarte in der ersten Hälfte des Jahres 2021 vorliegen.

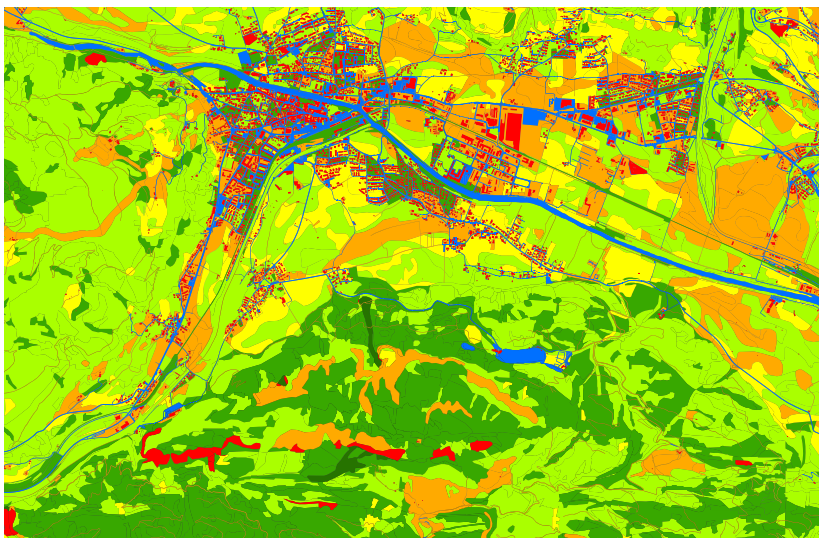


Abbildung 11: Ausschnitt aus der Abflussbeiwertkarte für Osttirol (Bereich Lienz-Tristach - Rauchkofel).

Farbgebung nach dem Ampelprinzip:
Dunkelgrün = kein bzw. max. 10%
OA, hellgrün = 11–30%, gelb = 31–50%, orange = 51–75%, rot = 75–100%, blau = undurchlässig, dicht bzw. Gewässer = 100%

⇒ **Abflussbeiwertkarten** wären für **Förster und Waldaufseher**, v.a. auf ihren Tablets, eine große Hilfestellung, um eine auf die Optimierung der hydrologischen Wirkung von Schutzwäldern ausgerichtete Bewirtschaftung zu unterstützen. Es sollte rasch das **Einvernehmen mit der WLW** bezüglich eines **Datenaustausches** hergestellt werden.

Die **Zuordnung der Abflussbeiwerte im Waldbereich** basiert maßgeblich auf den Daten der **Walddtypisierung Tirol** (<https://www.tirol.gv.at/umwelt/wald/schutzwald/walddtypisierung/>). Allerdings wird diese Walddtypisierung gerade aktualisiert. Der neue Stand soll 2021 vorliegen, daher können diese **aktualisierten Informationen** in die gerade laufende Erstellung der **Abflussbeiwertkarte Nordtirols** nicht einfließen.

⇒ Für den Waldbereich sollte rasch nach Vorliegen der Abflussbeiwertkarte eine **Aktualisierung anhand der neuen Datengrundlagen der Walddtypisierung** erfolgen.

⇒ Eine **periodische Aktualisierung** der Abflussbeiwertkarten (5-10 Jahre) erscheint gerade für den Waldbereich (z.B. in Bereichen mit großflächigen Zufallsnutzungen) notwendig.

⇒ Auch eine **Anpassung der Walddtypisierung** an die zu erwartenden Änderungen durch den **Klimawandel** (z.B. höhere Temperaturen, vermehrte trockenere Phasen in den Sommermonaten – siehe ZAMG 2020) erscheint notwendig. Es ist davon auszugehen, dass sich das Potenzial einzelner Baumarten deutlich erhöhen wird (z.B. Ta, Ei), z.B. zu Lasten der Fi in tieferen Lagen.

3 Ergänzende Angaben zu den Testgebieten

Einige generelle Hinweise wurden schon in Kapitel 1 vorgestellt. Im Folgenden werden, in Bezug auf die Ergebnisse der Erhebungen in den Testgebieten des ITAT4041 Projektes BLÖSSEN, weitere mögliche und anstehende Maßnahmen in den Projektgebieten skizziert bzw. bereits durchgeführte oder eingeleitete Maßnahmen angesprochen, die als beispielhaft gelten können.

3.1 Istalanzbach und Schallerbach – See i.P. (NT)

3.1.1 Blößen und Räumden, offene Flächen

In den Nordtiroler Testgebieten bestehen einige sehr große Kahlschläge resultierend aus den Schadholzflächen aus den Jahren vor 2012 (siehe z.B. Abbildung 15). Nach den Ergebnissen der Bestandesaufnahmen von Perzl im ITAT4041-Projekt BLÖSSEN sind

- Blößen und Räumden (durch Schlag) mit geringer bzw. ohne Bodendeckung von durchschnittlich 1,7 ha Größe (von 0,05 bis 5,8 ha) und
- Blößen und Räumden (durch Schlag) mit dichter Gras-/Krautschicht von durchschnittlich 0,3 ha Größe (von 0,04 bis 3,2 ha)

vorhanden. Aus Abbildung 12 ist z.B. die Waldwirkung auf den Untergrund im Istalanzbach ersichtlich. Orographisch linksufrig ist die Schutzwirkung gut bis ausreichend. Auf der rechten Seite jedoch schlecht. Hier finden sich größere, teils offene Hangflanken nach Rutschung und große Freiflächen mit verzögerter Verjüngung (Abbildung 13).

⇒ Die **hohe Tiefsickerung** aufgrund verminderter Interzeption und Transpiration durch den fehlenden Baumbestand **begünstigt Hanginstabilitäten**. Derartige Flächen sollten möglichst **rasch in Bestand** gebracht werden.



Abbildung 12: Istalanzbach – Schutzwirksamkeit des Waldes aus geologisch-morphologischer Sicht (nach Bunza 2018); gut (grün); befriedigend (gelb); schlecht (rot).



Abbildung 13: Mittellauf Istalanzbach – orographisch rechtsufrig – lokal vegetationsoffene Grabeneinhänge und sehr große Schlagflächen mit teils verzögerter Wiederbewaldung.

3.1.2 Hangstabilisierung

An den Rutschhängen im Istalanzbach wurde nach dem Ereignis im Juni 2015 sehr gut reagiert. Einzelne Baumhölzer an der Hangkante und umgestürzte Bäume im Hang wurden entfernt (**Abbildung 13** und **Abbildung 14**). Die Hangkante wäre sonst binnen kurzer Zeit instabil geworden (weitere Destabilisierung der Hangkante durch „Nicken“ bzw. „Läuten“ der Bäume unter Windeinfluss) und die Fläche beim Umstürzen der Bäume nach oben erweitert worden. Man könnte an den offenen Flanken einzelne Bäume querfällen bzw. einzelne der umgestürzten Bäume in Schichtenlinie fixieren (durch braune Balken in **Abbildung 14** angedeutet). Dadurch würde die natürliche Wiederbewaldung des Hanges durch Pionierbaumarten (div. Weiden, Bi, Lä, u.a.) beschleunigt. **RICHTIG und WICHTIG: Die verbleibenden Bestandesteile auf den angrenzenden annähernd stabilen Flanken (Verjüngung bis einzelne Baumhölzer) wurden belassen.**



Abbildung 14: Istalanzbach – Beispiel einer gut gesetzten Räumungsmaßnahme auf einem Rutschhang (orogr. rechtsufrig im Mittellauf).

⇒ Insbesondere zur **Reduktion der Rutschungspotenziale** in diesen Bereichen ist notwendig:

- **Optimale Anlage der Seilstrecken** und schonende Durchführung der **Seilbringung in den Bachstrecken**. Entsprechende **Schulung des Forstpersonals**.
- **Rasche Wiederbewaldung** der Freiflächen bzw. Flächen mit unvollständiger Verjüngung nach den Vorgaben der Waldtypisierung (<https://www.tirol.gv.at/umwelt/wald/schutzwald/waldtypisierung/>).
- **Förderung der Pioniervegetation** auf den offenen Flächen, z.B. durch schichtenparallele Verankerung einzelner größerer Bäume (siehe Abbildung 14). Dadurch würde lokal der Bodenabtrag gestoppt, feineres Material akkumuliert und die Ansamung von Pionierbaumarten erleichtert.
- Insbesondere die steilen Grabeneinhänge sollten nach dem **Dauerwaldkonzept** (Möller 1922) bewirtschaftet werden.



Abbildung 15: Schallerbach/Istanzbach: **Hydrologisch nicht optimal** – große Schlagfläche mit verzögerter Verjüngungsentwicklung führt zu sehr hohem Sickerwasseranfall und hohem Zwischenabfluss.

3.1.3 Bodenversiegelung

Hydrologisch am schlechtesten reagieren im Waldgürtel technisch veränderte und planierte Böden (siehe z.B. Abbildung 16), nämlich:

- Schipisten
- (teilweise vernässte) Weideflächen
- Straßen

Auf der planierten Schipiste in Abbildung 16 ergaben die Beregnungsversuche 83% Oberflächenabfluss bei Starkregen (ca. 100 mm/h). Der Boden war extrem hart und verdichtet. Der Einbau von Bodenfeuchtesonden war nicht möglich. Vor der Planie dürften die Bodeneigenschaften ähnlich wie im aufgelockerten Baum-Altholz bzw. in der Verjüngungsfläche mit dichtem Zwergstrauchheidebewuchs und einigen Überhältern (oberhalb des Weges) gewesen sein. Hier wurde bei der Beregnung kein Oberflächenabfluss gemessen.



Abbildung 16: Istalanzbach: **1** Planierte Schipiste im Vordergrund $\Psi_{\text{const}} = 0,83$ bei Starkregen; **2** Aufgelockertes Baum-Altholz, Verjüngungsfläche mit dichter Zwergstrauchheide $\Psi_{\text{const}} = 0$ (kein Abfluss) bei Starkregen

Die Forderung sollte daher sein: Keine neuen Schipisten im Waldbereich.

⇒ Wenn Schipiste im Wald angelegt werden sollen, dann nur mit **strengsten Auflagen im Genehmigungsverfahren**:

- **Kompensation dieser Verschlechterung** des Abflussverhaltens im Nahbereich notwendig
 - hydrologische Verbesserung unterliegender Waldflächen
 - Schaffung von Ausgleichsflächen möglichst nahe am Vorfluter
- Schipistenbau nur unter **Bodenkonservierung**
 - Abziehen des Oberbodens, möglichst ungestört, seitliche Deponie
 - Durchführung des Geländeausgleiches
 - Wiederaufbringung des ungestörten Oberbodens
 - Stöcke nicht herausreißen, sondern bodengleich abfräsen. Die durch die Zersetzung des Wurzelstockes nach Jahren entstehenden Dellen im Gelände später auffüllen und begrünen.

Dadurch bleiben Bodenstruktur und Wirkung der Wurzeln des ehem. Baumbestandes zumindest teilweise erhalten (Cosandey et al. 2005), der Oberflächenabfluss auf derartig gebauten Pisten ist geringer.
- **Begrünung mit standortsangepasstem Saatgut**
- **Mulchung statt Weide**

3.1.4 Verjüngungszustand

Im Fichten-Tannenwald konnte auf 67,6 % der Probestflächen im Testgebiet lebender Jungwuchs festgestellt werden. Es ist anzunehmen, dass die **starke und rasche Vergrasung** der Blößen bzw. der Flächen bei Kahlschlagbetrieb die Entwicklung des Jungwuchses hemmt bzw. das Einwachsen in die Dickungsphase verzögert. Gräser wie *Calamagrostis villosa*, *Deschampsia flexuosa* und *Luzula sylvatica* lassen "fast keine Verjüngung" zu (Reif & Przybilla 1995).

Der **Verbiss durch Paarhufer** ist nach den Referenzstichproben keine primäre Ursache der verzögerten Wiederbewaldung. Die Hauptbaumart Fichte ist nur einem schwachen Verbiss ausgesetzt. Zum Zeitpunkt der Aufnahmen waren rund 90 % der beurteilten Pflanzen nicht verbissen.

Der **Verbiss ist aber eine Hauptursache für die zunehmende Entmischung der Bestände**. Rund 30 % der Lärchen zeigten Fegeschäden und einen schwachen Verbiss der Leittriebe. Das Laubholz zeigte zu über 50 % Verbissschäden und 23 % der Pflanzen waren durch mehrjährigen Verbiss verkrüppelt. In Verbindung mit dem geringen Lärchen- und Laubholzanteil im Jungwuchs und Altbestand ist eine völlige Entmischung vorgezeichnet.

⇒ Wie bereits in Kapitel 2.8 angeführt:

Die Entwicklung „klimafitter“ und stabiler Bestände mit ausreichender Mischung an Baumarten, die mit den künftigen Klimabedingungen zurechtkommen und ihre Schutzwirkung erfüllen können, ist an ein **optimiertes Wildtiermanagement** gebunden.

3.2 Tanaser Bach (ST)

Die Schutzwirkung der Lärchen-reichen Bestände mit Fi und Zi bis ca. 2000/2100 m ü.A. rechts- und linksufrig des Tanaser Baches kann als „gut“ bezeichnet werden (Bunza 2019). Der Wald trägt hier wesentlich zur Stabilisierung der Hänge bei (Abbildung 17). Besonders die linksufrigen Bestände oberhalb Tanas sind möglichst unter ausreichender Bestockung zu halten. Das Potenzial natürlicher Verjüngung sollte ausgeschöpft werden mit **flächiger Vorverjüngung** und nur **sehr kleinflächiger Hiebsführung**, um auf Dauer möglichst eine hohe Interzeptions- und Transpirationsleistung der Bestände sicherzustellen (**Baumartenwahl gemäß Waldtypisierung**).

In den Lärchen-Fichtenbeständen mit unterschiedlicher Lückengröße oberhalb von Ober- und Unterfring treten oberflächliche Kriechbewegungen auf, möglicherweise Auswirkungen der darunterliegenden Gleitfläche (Großhangbewegung). Hier ist der Schutzeffekt des Waldes im derzeitigen Zustand im Hinblick auf die Stabilisierung der Großhangbewegung als „mäßig“ einzustufen (Abbildung 17) (Bunza 2019). Ziel sollte auch hier die weitgehende Verdichtung der Bestände durch entsprechende waldbauliche Maßnahmen sein, um den Wassereintrag in den Hang zu minimieren. In dem in Abbildung 17 gelb umrandeten Bereich könnte durch Verdichtung der Bestände (lokale Aufforstung) die Waldwirkung verbessert werden. Viele der Lücken in den Lärchen-reichen Beständen sind durch „Umrisse“ entstanden (Schneedruck). Eine weitere Verdichtung durch Aufforstung in diesem Bereich ist jedoch nicht vorgesehen. Der Lärchen-reiche Gürtel an und unter der Waldgrenze wurde in den letzten Dezennien natürlich dichter (Lärchen-Verjüngung nach Auflassung der Weide). Jedoch wäre der Anwuchserfolg der Naturverjüngung und damit die zu erwartende künftige Schutzwirkung der Bestände ohne den hohen Wilddruck (Verbiss, Verfegen) deutlich höher.



Abbildung 17: Tanaser Bach – Schutzwirksamkeit des Waldes aus geologischer Sicht (nach Bunza 2019): gut (grün); Waldwirkung für die Hangstabilität von besonderer Bedeutung (grün schraffiert); mäßig (gelb)

3.2.1 Weideeinfluss

Die Weideintensität war früher deutlich höher (Herbst- und Frühjahrsbeweidung):

- Seit 20 Jahre ist die Kleintierweide verboten.
- Aktuell erfolgt nur mehr Rinderweide geringer Intensität mit Konzentration auf die „Böden“ (weniger geneigte Lagen). Es erfolgt hier nur eine gezielte Durchweide durch speziell ausgebildete Hirten, um Narbenverletzungen zu vermeiden

3.2.2 Verjüngungssituation

Für den Schwarzkiefernwald zeigen die Probeflächen einen ausreichenden Verjüngungsanteil. Dabei handelt es sich überwiegend um künstlich eingebrachten Laubholzjungwuchs unter Zaun. Die Auswertung der Verbissanalysen für die ungezäunten Probeflächen im SKI-Areal zeigt für Laubholzjungwuchs eine Verbissrate von 40 %. Die Bestandesaufnahmen erfolgten im August und September 2018. Der vom Forstpersonal jährlich beobachtete hohe Totverbiss von Sämlingen ist darin also nicht erfasst, d.h. die tatsächliche Verbissrate für die Laubholz-Verjüngung außerhalb gezäunter Flächen liegt noch deutlich höher.

Nur auf etwa einem Drittel der Probeflächen im Lärchenwald wurde Verjüngung festgestellt. Die vorwiegend aus Lärchen bestehende Verjüngung weist mit 48 % eine hohe Verbissrate auf. Als

Ursachen für die kritische Verjüngungssituation sind zu nennen: Wildeinfluss, Vergrasung, Trockenheit und lokaler Weidegang.

Im Fichten-Lärchenwald verjüngen sich beide Baumarten mit Beimischung von Waldkiefer auf etwa der Hälfte der untersuchten Punkte. Diese Bestände sind ebenfalls verjüngungsarm. Sie werden aber bewusst möglichst dicht belassen, um die Attraktivität für die Weide gering zu halten und die Schutzwirkung am Hang zu erhalten.

Im Lärchen-Zirbenwald wurde auf über 50% der Flächen Jungwuchs gezählt. Dabei ist der Verbissgrad der Lärchen ähnlich wie im montanen Lärchenwald; es konnte aber kein Totverbiss festgestellt werden. Ältere Lärchen weisen vielfach sehr starke Durchmesser auf, sind aber nicht hochwüchsig. Aufgrund des Wilddruckes und der früheren Weidbelastung konnten sie sich nicht gut entwickeln. Ein höherer Fichten-Anteil wäre hydrologisch günstig. Jedoch kommt die Fichte nicht auf direkt Süd-exponierten Hängen, sondern nur in West- und Ost-Exposition und engen Taleinschnitten auf. Die Fichte benötigt Einzelschutz, junge Individuen sind häufig rotfaul.

⇒ Wie bereits in Kapitel 1 angeführt:

Die Entwicklung „klimafitter“ und stabiler Bestände mit ausreichender Mischung an Baumarten, die mit den künftigen Klimabedingungen zurechtkommen und ihre Schutzwirkung erfüllen können, ist an ein **optimiertes Wildtiermanagement** gebunden.

3.2.3 Wildholzpotenzial

Das Wildholzpotenzial erscheint gering. Nur Bestände mit geringen Höhen und Durchmesserstärken säumen die Bachläufe (vgl. Abbildung 18). Im Mittellauf säumen einige stärkere Individuen den Bachlauf. Diese könnte man entnehmen bzw. umschneiden, auf Stücke ≤ 1 m Länge zerteilen und diese seitlich deponieren.



Abbildung 18: Tanaser Berg - linkes Bild: L-reiche Bestände (geringer Höhe und Durchmesserstärke) unterhalb der Stieralm. Rechtes Bild: L-reiche Bestände im Mittellauf. Hier erscheint die Entnahme einzelner stärkerer Bach-naher Individuen sinnvoll.

3.2.4 Umbau der Schwarzkiefer-Bestände

Für den Umbau der Schwarzkiefer-Bestände am Sonnenberg zu laubholzreichen Mischbeständen wurde an der Forststation Schlanders ein fundiertes Konzept entwickelt. Unter Berücksichtigung der Neigungsverhältnisse wird im steilen Gelände mit kleineren Lckenbreiten und im flacheren mit groeren Breiten in die Schwarzkiefer-Bestände eingegriffen, um zu große Austrocknung aufgrund der Sonneneinstrahlung am Trockenhang zu vermeiden (bei 30% Neigung: 20 m breit, 60-80 m lang; bei 80-100% Neigung: 8-10 m breit = Erkenntnisse aus bisherigen Anwuchserfolgen).

Es werden keine Schwarzkiefer-Überhälter belassen, da die SKi nach Freistellung ihre Krone extrem ausdehnt und die Lücken schließt (Gefährdung der Laubholzkultur).

Es werden junge Laubholzer (z.B. Flaumeiche 1-3-jährig) in Abhängigkeit von ihren Strahlungs- und Wasseransprchen gepflanzt. Einzelpflanzung, z.B. bei Flaumeiche und Walnuss, und Gruppenpflanzung bei anderen Laubholzern, wie Blumenesche. Vogelkirsche wird in groeren Gruppen im unteren, besser Wasser versorgten, schattigeren Teil gepflanzt (vgl. Abbildung 19). Die Flaumeiche behält das Laub bis ins Fruhjahr (es wird braun; die Belaubung wird aber erst bei Neuaustrieb im Fruhjahr abgeworfen). Dadurch sind eine hoherer Interzeptionswirkung und bessere Schutzwirkung für den Boden gegeben.

SKi wird in extremen Bereichen, z.B. Felslagen, belassen, denn hier wäre die aktive Umstrukturierung mit Laubholz schwierig. SKi fällt auch natürlich aus und es folgt die Sukzession durch Sträucher und Jungwuchs von anderen Baumarten

Hatte die Schwarzkiefer schon eine deutliche Reduktion des Abflusses und Bodenabtrages gebracht (Abflussbeiwert 0,26 statt > 0,6), bewirken die Umwandlungen in Laubholzbestände eine weitere

deutliche Reduktion des Oberflächenabflusses (bzw. kein Oberflächenabfluss, siehe Resultate der Berechnungsversuche im ITAT4041-Projekt BLÖSSEN – Markart et al. 2019).

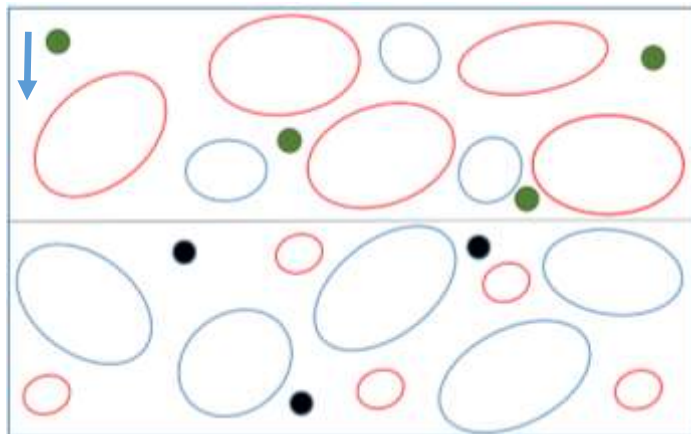


Abbildung 19: Skizze einer vorbildlichen Anlage von Laubholzaufforstungen bei der Umwandlung der Schwarzkiefer-Bestände am Tanaser Sonnberg.

○ = Blumenesche (*Fraxinus ornus*)

○ = Vogelkirsche (*Prunus avium*)

● = Walnuss (*Juglans sp.*)

● = Flaumeiche (*Quercus pubescens*)

↓ = Hangrichtung

3.3 Kapron (ST)

Das primäre Ziel der Aufforstungen und der Lär-reichen Bestände oberhalb von Kapron ist der Schutz vor Lawinen; sekundäre Ziele sind Muren- und Abflussprävention.

Laut **Waldtypisierung** handelt es sich um **potenzielles Fi-Gebiet**.

Jedoch weichen aktuelle Bestockung und Bewirtschaftung deutlich davon ab: Der Großteil der Hänge im Raum Kapron wurde nach 1912 mit Lär aufgeforstet. Auf der Sonnseite findet man nur Lär, teils sogar alte Ur-Lärche, in höheren Lagen auch Zi (Abbildung 20). Es erfolgten weitere umfangreiche Aufforstungen in den 1970er Jahren: Jedoch ist die Lär nicht vital und das H/D-Verhältnis suboptimal. Dagegen zeigt Zi ein sehr gutes Wachstum, diese produziert schon erste Samen.

Die derzeit gewünschte naturnahe Endstruktur in den Aufforstungen ist ein Zi- und Fi-reicher Bestand (hoher Anteil wintergrüner Baumarten). Es erfolgen noch keine Pflegeeingriffe in der Zi (diese ist noch zu jung). In Beständen mit nicht wertvoller, sehr schlechtwüchsiger Lär werden Löcher hineingeschnitten und Zi gepflanzt.

Die Fi entwickelt sich eindeutig besser als die Lär. Daher wurde in Wies eine Fi-Testaufforstung neben einem Wandersteig angelegt, d.h. kleine Rotten (6-10 m² Fläche) unter Lär-Schirm (gezäunt). Ziel ist es, dass bei Öffnung der Zäune die äußeren Fi-Individuen verbissen werden und die mittlere Individuen in der Rotte überleben.



Abbildung 20: Lärch-reiche Bestände am Sonnberg von Kapron.

3.3.1 Verjüngungssituation

Die Hänge sind stark vergrast und verfilzt. Es fehlt die Bodenverwundung, das Gras bildet ein regelrechtes Strohdach. Dazu kommt noch Schneeschub im Winter. Früher erfolgte Waldweide und , dadurch kam es zu Bodenverwundung. Heute wird dies nicht mehr praktiziert und damit fehlen die Ansammlungsbedingungen für die Lärche (diese kommt derzeit nur im Bereich von Wurzeltellern, z.B. nach Windwurf, auf). Verjüngung erfolgt derzeit aufgrund des hohen Wilddruckes nur in gezäunten Aufforstungsflächen.

3.3.2 Weide und Wilddruck

Früher erfolgte in den Lärchen-Hängen eine intensive Beweidung; heute nur mehr extensiver Weidegang durch Rinder und im Frühjahr durch einige wenige Schafe in den angrenzenden Wiesen und den unteren Waldrandbereichen. Im Wald wird kaum bestoßen.

Es herrscht hoher Wilddruck, d.h. ca. 10 St/ha in sonnseitigen Wintereinständen. Das Rotwild bevorzugt diesen Hang, da keine Wege vorhanden sind und Ruhe herrscht. Versuche der Regulierung durch Revision der Abschusspläne und Erhöhung der Abschusszahlen nach oben sind erfolgt, zeigten jedoch keinen Effekt. Auch Steinwild steht im Sommer ein, dieses ist jedoch nicht jagdbares Wild.

Daher sind 80% der Verjüngungsflächen 2 m hoch eingezäunt (wildsicher und als Weideschutz).

3.3.3 Hydrologische Situation

Es wurde und wird versucht, Geländekanten aufzuforsten, um Einwehungen von Schnee zu verhindern. Der Spätwinter und das Frühjahr 2019 waren extrem schneereich gefolgt von einer zeitlich sehr konzentrierten Schneeschmelze (Totalabschmelze innerhalb von 2 Wochen). Dabei sind an verschiedenen Stellen Wässer (regelrechte Bäche) ausgetreten, an denen sonst kein Wasser beobachtet wird. Zudem kam es zu einzelnen kleinen Hangrutschungen an steilen Hangversteilungen.

⇒ Die Böden am Sonnhang sind sehr grob texturiert (sehr skelettreich, der Feinanteil ist stark sandig bis schluffig sandig). Dadurch und auch aufgrund der weitgehend fehlenden Beweidung sind sie locker gelagert. Wie auch die vor Ort durchgeführten Beregnungsversuche zeigen, ist daher auf diesen Hängen auch bei hohen N-Intensitäten kaum Oberflächenabfluss zu erwarten (Markart et al. 2019). Die **Verdichtung der Lärchen Bestände unter vermehrter Einbringung immergrüner Baumarten** (Zi, ev. auch Fi) ist **hydrologisch positiv** (Reduktion des Hangwasserangebotes und des Schneeabsatzes).

⇒ Die **Aufforstung der Geländekanten zur Reduktion der Schneeeinwehungen** sollte unbedingt weiterverfolgt werden. Damit kann das Hangwasserangebot im Frühjahr zumindest an einigen Stellen reduziert und damit ggf. das **Potenzial für Rutschungen lokal vermindert** werden.

Dank

Diese Anleitung ist in intensiver Abstimmung und Diskussion mit den VertreterInnen der Auftraggeber (Landesforstdienste Tirol und Südtirol) entstanden. Wir bedanken uns für die Mitwirkung, Unterstützung und viele Anregungen bei DI Peter Hauser (Leiter der Bezirksforstinspektion Landeck) und seinen MitarbeiterInnen, Dr. Georg Pircher (Leiter der Forstinspektion Schlanders) und seinen MitarbeiterInnen, DI Patricia Schrittwieser (Koordinatorin des ITAT4041-Projektes BLÖSSEN, LFD Tirol), Dr. Dieter Stöhr (stv. Leiter Abt. Forstorganisation - LFD Tirol) für die souveräne Vorbereitung und Leitung des Stakeholder-Workshops und viele kritische Anregungen. Ganz besonderen Dank schulden wir den Waldaufsehern und Förstern in den Projektgebieten: Fö. Andreas Felderer und Stationsleiter Siegfried Plangger (Forststation Graun), Fö. Mario Burgo (Forststation Schlanders) und Waldaufseher Rudolf Juen (Gemeinde See i.P.) die uns in wiederholten und langen Besprechungen einen umfangreichen Fragenkatalog beantworteten.

Literatur

- Aigner, J. 1991: Wurzelraum eines sekundären Fichtenbestandes im tertiären Hügelland Oberösterreichs, Diplomarbeit - Univ. f. Bodenkultur - Wien, 106 S.
- Amt der Tiroler Landesregierung (2019): Waldtypenhandbuch, Download unter: <https://www.tirol.gv.at/umwelt/wald/schutzwald/waldtypisierung/waldtypenhandbuch/>
- Arbeitskreis Standortkartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung (2016): Forstliche Standortsaufnahme – Begriffe, Definitionen, Einteilungen, Kennzeichnungen, Erläuterungen, 7. Auflage, IHW-Verlage, Eiching bei München.
- Autonome Provinz Bozen - Südtirol (2019 - Jahr der Abfrage): Waldtypisierung Südtirol, Band 2 – Waldgruppen Naturräume, Glossar. <http://www.provinz.bz.it/land-forstwirtschaft/wald-holz-almen/studien-projekte/waldtypisierung-suedtirol.asp>
- Bebi, P., M. Teich, J. Schwaab, F. Krumm, A. Walz und A. Grêt-Regamey (2012): Entwicklung und Leistungen von Schutzwäldern unter dem Einfluss des Klimawandels. Schlussbericht im Rahmen des Forschungsprogramms „Wald und Klimawandel“. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Bern, Bundesamt für Umwelt.
- Bebi, P., F. Krumm, U. Brändli und A. Zingg (2013): Dynamik dichter, gleichförmiger Gebirgsfichtenwälder. Schweiz. Zeitschr. Forstw., 164, 2, 37-46.
- Bebi, P., R. Seidl, R. Motta, M. Fuhr, D. Firm, F. Krumm, M. Conedera, C. Ginzler, T. Wohlgemuth, D. Kulakowski (2017): Changes of forest cover and disturbance regimes in the mountain forests of the Alps. Forest Ecology and Management, 388, 43-56.
- Beinstein, H. (1981): Waldbauliche Beurteilung der Waldabbrüche im Osttiroler Katastrophengebiet. Dissertation Universität für Bodenkultur, Wien.
- Bunza, G. (2018): Beurteilung möglicher Stabilisierungs- (und Schutz-)Effekte der Waldvegetation im Istanzbach bei See im Paznauntal auf Grundlage der geologischen und hydrologischen Verhältnisse sowie geotechnisch-prozessorientierter Erhebungen. Bericht im Rahmen des Interreg ITAT4041-Projektes BLÖSSEN an das Bundesforschungszentrum Wald (BFW), Innsbruck.
- Bunza, G. (2019): Beurteilung der Grabeneinhänge des Tanaser Baches bei Eyrs in der Gemeinde Laas im Vinschgau in Bezug auf mögliche Rutschungspotenziale und Hangprozesse sowie Stabilisierungseffekte der Waldvegetation. Bericht im Rahmen des Interreg ITAT4041-Projektes BLÖSSEN an das Bundesforschungszentrum Wald (BFW), Innsbruck.
- Cosandey C., V. Andréassian, C. Martin, J.F. Didon-Lescot, J. Lavabre, N. Folton, N. Mathys and D. Richard (2005): The hydrological impact of the mediterranean forest: A review of French research. J. Hydrol., 301(1-4), 235-249.
- Czech, T. und G. Hoch (2017): Hochlagen in den Ostalpen – Forstpathologische Herausforderungen und Risiken der künstlichen Bestandesbegründung. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 180, 174-185.
- Frehner M., Wasser B. und R. Schwitter (2005): Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion, Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 564 S.
- Fürst, W., S. Lipp, R. Jandl und S. Schüler (2017): Schutzwald im Klimawandel: Auswirkungen, Maßnahmen und Forschungsbedarf. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 180, 220-230.

- Hübl, J., M. Anderschitz, F. Florineth, H. Gatterbauer, H. Habersack, E. Jäger, A. Kogelnig, F. Krepp, J.P. Rauch und E. Stulev-Steindl (2011): Präventive Strategien für das Wildholzrisiko in Wildbächen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Flood-Risk II, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Jost, G., H. Schume, H. Hager, G. Markart and B. Kohl (2012): A hillslope scale comparison of tree species influence on soil moisture dynamics and runoff process during intense rainfall. J. Hydrol., 420-421, 112-124.
- Klein, H. (2000): Probleme beim Anbau standortsfremder Gehölze im Wald; www.WaldKlein.de/w-bau/exot_1.pdf, 1. Fassung vom Okt. 2000.
- Kohl, B., F. Perzl, F., G. Markart, K. Klebinder, H. Pirkel, F. Riedl und L. Stepanek (2009): Hochwasser Paznaun 2005: Wald-Abfluss-Potentiale. Bericht der Wildbach- und Lawinenverbauung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien, 192 Seiten.
- Kohl, B. (2011): ZEMOKOST – Entwicklung eines praktikablen Niederschlag-/Abflussmodells zur Modellierung von Hochwasserabflüssen in Wildbacheinzugsgebieten unter Einbeziehung verbesserter Felddaten. Dissertation, Fakultät für Geo- und Atmosphärenwissenschaften, Institut für Geographie, Universität Innsbruck.
- Lange, B., B. Lüscher, P.F. Germann, J-J. Thormann und K. Zürcher (2012): Hochwasserschutzwirkung von Tannen-Fichten-Wäldern. Wald und Holz 11, 31-34.
- Lechner V., Markart G., Perzl F., Bunza G., Hagen K., Huber A., Klebinder K. (2015): Standortsangepasste und gefahrenorientierte Waldbewirtschaftung im Bereich steiler Grabeneinhänge - Grabeneinhangbewirtschaftung. Bericht an das Bundesministerium für land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Abt. III/4.
- Markart, G. (2000): Zum Wasserhaushalt von Hochlagenaufforstungen – am Beispiel der Aufforstung von Haggen bei St. Sigmund im Sellrain. FBVA-Bericht, Nr. 117.
- Markart, G., B. Kohl und F. Perzl (2007): Der Bergwald und seine hydrologische Wirkung - eine unterschätzte Größe? LWF-Wissen Nr. 55, Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 34-43.
- Markart, G., B. Kohl und B. Sotier (2016): Bergwälder als Abflussregulatoren. BFW Praxis-Info, Heft 40, 16-19.
- Markart, G., D. Klingsbigl, V. Lechner, F. Perzl, M. Rössel, T. Rössler, G. Bunza, A. Graf, B. Kohl, G. Meißl, F. Nagl, C. Scheidl, K. Suntinger, N. Werner (2019): Auswirkung verzögerter Wiederbewaldung auf Naturgefahren – insbesondere Abflussbildung. Endbericht des BFW im Rahmen des ITAT4041-Projekt BLÖSSEN an die Auftraggeber Landesforstdirektion Tirol und Landesforstdienst Südtirol. 267 Seiten.
- Möller, A. (1922): Der Dauerwaldgedanke. Sein Sinn und seine Bedeutung. J. Springer Verlag.
- Müller, J. (2013): Die Bedeutung der Baumarten für den Landschaftswasserhaushalt. 15. Gumpensteiner Lysimetertagung, 49-56.
- Perzl, F. und D. Walter (2012): Die Lawinen-Schutzwirkung des Waldes im Klimawandel - Literaturüberblick über gegenwärtige Klimatrends in den Alpen, mögliche Auswirkungen der Klimaveränderung auf die Schneedeckenparameter, die Lawinenaktivität und die Lawinen-Schutzwirkung des Waldes. Bericht im Rahmen des Interreg-Alpine-Space-Projektes MANFRED.
https://bfw.ac.at/cms_stamm/600/PDF/MANFRED_CC_Avalanche_Forest_DE_3.pdf

- Reif, A. und M. Przybilla (1995): Zur Regeneration der Fichte (*Picea abies*) in den Hochlagen des Nationalparks Bayerischer Wald. – Hoppea, Denkschriften der Regensburgischen Botanischen Gesellschaft, 56. S. 467-514.
- Rössler, T. (2020): Hydrologische Beurteilung unterschiedlicher Reaktionseinheiten zweier Wildbacheinzugsgebiete mit dem Fokus auf Waldstandorte - Istalanzbach / See im Paznauntal (Tirol) und Tanaser Bach / Laas im Vinschgau (Südtirol). Masterarbeit, Institut für Geographie, Fakultät für Geo- und Atmosphärenwissenschaften, Universität Innsbruck, 272 Seiten.
- Stern, R. (1970): Baumsaaten im Gebirge. Allgem. Forstztg., 81Jg., Folge 12, 315-316.
- Stern, R. (1972): Versuche mit Nadelholz-Saaten auf subalpinen Standorten. Mitt. Forstl. BVA Wien, 96, 51-59.
- Teich, M., C. Marty, C. Gollut, A. Grêt-Regamey und P. Bebi (2012): Snow and weather conditions associated with avalanche releases in forests: Rare situations with decreasing trends during the last 41 years. Cold Regions Science and Technology 83-84: 77-88.
- Umweltbundesamt (2020): Grundbegriffe zur Flächeninanspruchnahme. https://www.umweltbundesamt.at/rp_definitionen/
- Wieser G., Oberhuber W., Gruber A. (2016): Bodentrockenheit in einem inneralpinen Trockental verringert den Wasserverbrauch von Kiefer und Fichte, aber nicht von Lärche. Centralblatt für das gesamte Forstwesen, Wien, 133(1), 1-17.
- ZAMG (2020): Informationsportal Klimawandel, Klimazukunft Alpenraum. <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimazukunft/alpenraum>, Datum der Abfrage: 13.3.2020
- Zimmermann, L., S. Raspe, C. Schulz und W. Grimmeisen (2008): Wasserverbrauch von Wäldern – Bäume und Bestände verdunsten unterschiedlich stark. LWF-aktuell 66, 16-20.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Istalanzbach – linkes Bild: - Kleine, mehrere Jahre alte Hiebsfläche im Unterlauf, auf der kaum Verjüngung vorhanden ist. Es besteht ein Potenzial für Oberflächenabfluss und höheres Hangwasserangebot. Rechtes Bild: Kleiner Schlitzhieb mit aufkommender Verjüngung. Der Verjüngung gelingt es langsam, auf nackten, nur mit Fichten-Streu bedeckten Flächen Fuß zu fassen.	4
Abbildung 2: Linkes Bild (Istalanzbach) – Natürliche Verjüngungsfläche mit großer Artenvielfalt. Rechtes Bild (Tanaser Sonnberg) – Umgewandelte Schwarzkiefern (SKI)-Fläche mit großer Baumartenvielfalt. Wenige Jahre nach Umwandlung ist das Abflussverhalten bereits deutlich besser als unter Ski.	5
Abbildung 3: Anteil der Tiefensickerung in Abhängigkeit vom Jahres-N in jungen Beständen (verändert nach Müller 2013). Höhere Tiefensickerung in Jungwuchsflächen, höherer Wasserverbrauch ab Alter von 20 Jahren.	6
Abbildung 4: See im Paznauntal (zw. Schallerbach und Istalanzbach) – Invasive Schlagflora gepaart mit invasiven Neophyten. Aufkommen der Bestandesverjüngung ist nur durch Freischneiden und/oder massiven Einzelschutz möglich.	6
Abbildung 5: Hangflanke mit guter Baumartenmischung und abwechslungsreicher Textur. Lediglich die beiden im Zuwachsen begriffenen Schneisen in der Bildmitte und unten am rechten Bildrand sind nicht ideal (mögliche Abflusskonzentration in der Falllinie).	7
Abbildung 6: Istalanzbach – Linkes Bild: aufgelockertes Fi-Altholz mit dichter Zwergstrauchheide. Rechtes Bild: Baumholz mit Heidelbeere (beide 0 bis max. 10% Oberflächenabfluss).	8
Abbildung 7: Tanaser Sonnberg – linkes, oberes mittleres und rechtes Bild: SKI-Flächen mit nur teilweiser Bodendeckung durch Vegetation → erhöhtes Abflusspotenzial (Abflussbeiwertklasse 2, Abflussbeiwert = 0,26). Entstehender Abfluss wird rasch linear und rinnt als „Bach“ den Hang hinunter. Diese Bestände sind nur begrenzt in der Lage, konzentrierten Oberflächenabfluss aus höheren Bereichen zu puffern (siehe rechtes Bild). (Linkes und mittleres oberes Bild: Auftraggeber – Landesforstdienst Südtirol). Mittleres Bild unten: Istalanzbach – mit reiner Fi-Streu bedeckter Boden (Piceetum nudum: nudum = ohne Bodenvegetation) ist bei großflächiger Ausbildung aufgrund von benetzungshemmender Wirkung nach Austrocknung stark Abfluss fördernd.	9
Abbildung 8: Forstweg im Istalanzbach. Im Mittel ist für die ganze Breite (rot strichlierte Linie) mit Abflussbeiwerten zwischen 0,8 und 0,9 bzw. für die Straße auf 5 m Breite mit 1,0 zu rechnen.	12
Abbildung 9: Piloten - einfache Erosionssicherung mit quergelegten und -fixierten Bäumen. Dadurch wird die Erosion vermindert, Feinmaterial akkumuliert und das Ankommen von Vegetation (auch von Pionierhölzern) erleichtert.	14
Abbildung 10: Seigesbach im Sellraintal, nach dem Ereignis von 7. auf 8. Juni 2015. Ergänzend zur Wildholzbewirtschaftung entlang des Bachlaufes erfolgten auf größerer Fläche noch Aufräumarbeiten nach Windwurf und „Arrondierungsschläge“. Positives Resultat: Kaum Wildholz im Graben. Negativ: Rutschungen reichen in den geschlägerten Bereichen oft deutlich weiter nach oben als in den bestockten Einheiten.	14
Abbildung 11: Ausschnitt aus der Abflussbeiwertkarte für Osttirol (Bereich Lienz-Tristach - Rauchkofel).	20
Abbildung 12: Istalanzbach – Schutzwirksamkeit des Waldes aus geologisch-morphologischer Sicht (nach Bunza 2018); gut (grün); befriedigend (gelb); schlecht (rot).	22
Abbildung 13: Mittellauf Istalanzbach – orographisch rechtsufrig – lokal vegetationsoffene Grabeneinhänge und sehr große Schlagflächen mit teils verzögerter Wiederbewaldung.	23
Abbildung 14: Istalanzbach – Beispiel einer gut gesetzten Räumungsmaßnahme auf einem Rutschhang (orogr. rechtsufrig im Mittellauf).	23
Abbildung 15: Schallerbach/Istalanzbach: Hydrologisch nicht optimal – große Schlagfläche mit verzögerter Verjüngungsentwicklung führt zu sehr hohem Sickerwasseranfall und hohem Zwischenabfluss.	24
Abbildung 16: Istalanzbach: 1 Planierte Schipiste im Vordergrund $\Psi_{const} = 0$, 83 bei Starkregen; 2 Aufgelockertes Baum-Altholz, Verjüngungsfläche mit dichter Zwergstrauchheide $\Psi_{const} = 0$ (kein Abfluss) bei Starkregen	25
Abbildung 17: Tanaser Bach – Schutzwirksamkeit des Waldes aus geologischer Sicht (nach Bunza 2019): gut (grün); Waldwirkung für die Hangstabilität von besonderer Bedeutung (grün schraffiert); mäßig(gelb)	27
Abbildung 18: Tanaser Berg - linkes Bild: Lärche Bestände (geringer Höhe und Durchmesserstärke) unterhalb der Stieralm. Rechtes Bild: Lärche Bestände im Mittellauf. Hier erscheint die Entnahme einzelner stärkerer Bach-naher Individuen sinnvoll.	29
Abbildung 19: Skizze einer vorbildlichen Anlage von Laubholzaufforstungen bei der Umwandlung der Schwarzkiefer-Bestände am Tanaser Sonnberg.	30
Abbildung 20: Lärche Bestände am Sonnberg von Kapron.	31