

Interreg
Italia-Österreich

European Regional Development Fund



EUROPEAN UNION



AUTONOME
PROVINZ
BOZEN
SÜDTIROL



PROVINCIA
AUTONOMA
DI BOLZANO
ALTO ADIGE

PROVINCIA AUTONOMA DE BULSAN
SÜDTIROL



Handlungsanleitung – Optimierung der hydrologischen Wirkung von Schutzwäldern

G. Markart, F. Perzl, V. Lechner,
B. Kohl, P. Hauser, C. Geitner,
G. Meißl, G. Pircher, C. Scheidl,
L. Stepanek & M. Teich



Handlungsanleitung – Optimierung der hydrologischen Wirkung von Schutzwäldern

Projekt ITAT4041-BLÖSSEN

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

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 Bundesforschungszentrum für Wald – 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

September 2020

DOI: 10.13140/RG.2.2.19306.06083

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	3
1. Ziele und Grundlagen	7
2. Generelle Richtlinien	9
2.1. Abflussvorbeugung	9
2.2. Steuerung des Wasserumsatzes.....	10
2.3. Änderung des Wasserumsatzes durch Entfernen des Bestandes (Schlägerung)	12
2.4. Der (wildbachhydrologisch) ideale Bestand	17
2.4.1. Bestandesaufbau	17
2.4.2. Bestandesdichte, Überschildung	18
2.4.3. Oberflächenrauigkeit	19
2.4.4. Vergrasung von Beständen.....	23
2.4.4. Einfluss der Baumartenkombination auf den Abfluss ..	23
2.5. Veränderung der Bodenverhältnisse – mechanische Belastung.....	24
2.5.1. Erschließung	24
2.5.2. Beeinträchtigung der Wirkung des Waldbodens – Umwandlung von Waldflächen (Bodenversiegelung1) ..	25
2.6. Hangstabilisierende Wirkung von Waldbeständen.....	27
2.7. Wildholz-/Grabeneinhangbewirtschaftung	30
2.8. Klimawandel	33
2.9. Lawinen	34

2.10. Wild - Naturverjüngung	35
2.11. Naturverjüngung versus Aufforstung	36
2.12. Übersicht – hydrologische Wirkungen von Waldvegetation, Bewirtschaftung und Standort	37
2.13. Planungsgrundlagen	39
3. Ergänzende Angaben zu den Testgebieten	42
3.1. Istalanzbach und Schallerbach – See im Paznaun (Nordtirol)	42
3.1.1. Blößen und Räumden, offene Flächen	42
3.1.2. Hangstabilisierung	44
3.1.3. Bodenversiegelung	47
3.1.4. Verjüngungszustand	49
3.2. Tanaser Bach (Südtirol)	50
3.2.1. Weideeinfluss	52
3.2.2. Verjüngungssituation	52
3.2.3. Wildholzpotenzial	54
3.2.4. Umbau der Schwarzkiefer-Bestände.....	55
3.3. Kapron (Südtirol)	57
3.3.1. Verjüngungssituation	58
3.3.2. Weide und Wilddruck	59
3.3.3. Hydrologische Situation.....	59
Dank	61
Literatur	62
Abbildungsverzeichnis.....	66

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>)
Ψconst	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 **Bestandsoptimierung aus hydrologischer Sicht** und die **Optimierung der Standfestigkeit im Hinblick auf flachgründige Rutschungen ab**. 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 Handbuch ist jedoch keine standortspezifische 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 und 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, dass aus Waldstandorten im Vergleich zum Freiland geringere Abflüsse entstehen und gut strukturierte und gemischte Bestände sich positiv auf das Infiltrationsverhalten des Bodens auswirken. Auch nach Frehner et al. (2005)¹ ist ein optimales Rückhaltevermögen des Bodens mit möglichst geringem Oberflächenabfluss und optimalem Schutz des Standortes vor (flachgründigen) Rutschungen an eine ausreichende Bodendeckung durch Wald- und Zwergstrauchvegetation sowie einen gestuften Bestandaufbau gebunden.

Die Schutzwirkung des Waldes in einem Einzugsgebiet ist im Wesentlichen von den Standortverhältnissen, dem Waldanteil und dem Waldzustand abhängig. In Einzugsgebieten mit geringem Waldanteil mag die Abfluss vorbeugende Wirkung des Waldes in Bezug auf das Gesamteinzugsgebiet untergeordnet sein, jedoch ist in der Regel meist eine hohe Schutzwirkung in den Teileinzugsgebieten, in Kleineinzugsgebieten und auf der Hangskala gegeben (Rössler 2020, Markart et al. 2019).

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

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 häufigen auftretenden milden Wintern erhebliche Wassermengen (Zimmermann et al. 2008, Müller 2013). Insbesondere die Lärche ist ein extremer Wasserverbraucher und schränkt auch bei Trockenheit den Wasserverbrauch längere Zeit nicht ein (Wieser et al. 2016). Die Tiefensickerung unter Koniferen (Nadelbäumen) ist das gesamte Jahr über in Relation zu Laubhölzern (z.B. Eiche, Buche) geringer (Zimmermann et al. 2008).

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 **Nadelbäume** auf Standorten mit ausreichender Niederschlagsversorgung – wie im Nordtiroler Testgebiet – unter Berücksichtigung der jeweiligen Standorttauglichkeit in **ausreichendem Umfang erhalten bleiben**. Damit wird bei und nach längeren Niederschlagsereignissen die rasche Wiederbereitstellung eines freien Bodenspeichers gewährleistet.

In trockeneren Regionen – wie den Südtiroler 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 **physiologische Probleme** bekommen könnte (z.B. Wasserstress, Wachstumseinbußen). Zudem leistet die Lärche im Winter 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 Nordtirol, Raum Kapron und Tanser Bach in Südtirol) 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 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. Strohdacheffekt – bei Starkregen wird ein hoher Anteil des auftreffenden Niederschlages an der Vegetationsdecke abgeleitet).
-

2.3. Änderung des Wasserumsatzes durch Entfernen 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 bestätigen auch die Messungen in den Nord- und Südtiroler Testgebieten im Projekt BLÖSSEN (Markart et al. 2019), d.h. der freie Bodenspeicher ist auf Freiflächen in Relation zum umliegenden Bestand geringer. Die Böden in den Freiflächen können daher insbesondere bei Starkregen weniger Wasser aufnehmen.
- » 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.



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.

- » 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 werden daher die Wiederbewaldung und damit eine optimale hydrologische Schutzwirkung, deutlich verzögert.



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

→ 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 und es fehlt bei Nicht-Bestockung die armierende Wirkung der Wurzeln. Waldstandorte können bereits drei Jahre nach Kahlschlag nur mehr zwei Drittel der Wurzel-Biomasse der ursprünglichen Altbestände aufweisen. (Ziemer 1981).

→ 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 Durchmesser, 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 keine 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.

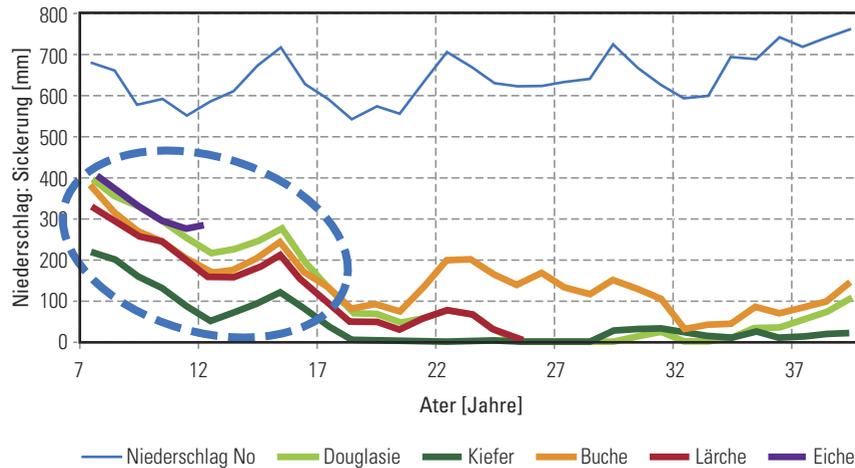


Abbildung 3: Anteil der Tiefensickerung in Abhängigkeit vom Jahres-N in jungen Beständen (verändert nach Müller 2013). Höhere Tiefensickerung in Jungwuchsflächen, höherer Wasserverbrauch ab Alter von 20 Jahren.



Abbildung 4: See im Paznauntal (zwischen 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 einmal pro Jahr (vor Reifung der Samen) notwendig. Einzelschutz ist so lange sicherzustellen, 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, 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 **hundertprozentige 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*). Um ein optimales Infiltrationspotenzial zu gewährleisten, 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 wie etwa Nassschnee und 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 ist die Bodenvegetation**, umso stärker wird abfließendes Wasser verteilt und kann dadurch besser in den Boden einsickern. Deshalb sollte auch aus hydrologischer Sicht möglichst viel vom Schlagabraum (zum Beispiel 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 in der Regel aufgrund des fehlenden Schlagabraumes zu höherem Oberflächenabfluss. Auch das Erosionspotenzial und damit die Verlusten nährstoffreichen Oberbodens sind auf Standorten mit vergleichsweise geringeren Rauigkeiten höher.

Abfluss verzögernde/bremssende Wirkung der Bodenvegetation:

Die Abfluss verzögernde/bremssende 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.

Ein Spezialfall sind dichte Fichtenbestände. Hier kann es zur Ausbildung des *Piceetum nudum* (Boden mit Auflage aus reiner Fichtenstreu ohne Kraut- und Strauchschicht) kommen (Abbildung 7 – mittleres unteres Bild). Die Fichtenstreu weist besonders bei Trockenheit hohe Benetzungswiderstände auf. Bei Starkregen fließen hohe Niederschlagsmengen insbesondere bei trockener Humusaufgabe wie auf einem Strohdach ab, obwohl der speicher- und sickerfähige Mineralboden eigentlich wesentlich mehr Niederschlag aufnehmen könnte.



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



Abbildung 7: Tanaser Sonnberg – linkes, oberes mittleres und rechtes Bild: Schwarzkiefer-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: Fotoquelle: Landesforstdienst Südtirol). Mittleres Bild unten: Istanzbach – mit reiner Fichtenstreu 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 und der offene Boden zwischen dem kurz gehaltenen Gras und damit die passenden Ansammlungsbedingungen für die Lärche.

Vergrasung wirkt einer optimalen hydrologischen Schutzwirkung der Bestände entgegen. Sie bewirkt aufgrund der verstärkten Anreicherung von Totmasse (tote Blattscheiden) erhöhten Abfluss (Strohdacheffekt).

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

2.4.4. Einfluss der Baumartenkombination auf den Abfluss

Die Art der Bewirtschaftung wirkt sich signifikant auf den Spitzenabfluss aus, 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 (Schwarzkiefer – 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 Erntegeräten, 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 Versickerungsmöglichkeit**.

2.5.1. Erschließung

Spitzenabfluss und -fracht bei Starkregen korrelieren direkt mit der Dichte des Wegenetzes. Je dichter die Erschließung (z.B. Straßen, Rückewege, Lager- und Umkehrplätze), 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

→ **Regelmäßige Wartung** der Wege, besonders nach intensiverer Nutzung bzw. niederschlagsbedingter Erosion

2.5.2. Beeinträchtigung der Wirkung des Waldbodens – Umwandlung von Waldflächen (Bodenversiegelung¹)

Die Inanspruchnahme von Waldboden für Wegebau, Holzlagerplätze oder für die Errichtung von Schipisten wirkt sich folgendermaßen aus: z.B. Inanspruchnahme für Wegebau, Holzlagerplatz (Farbschema nach dem Ampelprinzip gemäß der Geländeanleitung von Markart et al., 2004):

- » Die Fahrbahn hat den höchsten 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**

¹„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)

oder für Skipisten

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

Durch derartige Maßnahmen wird der Abflussbeiwert gegenüber der ursprünglichen Waldfläche (meist zwischen 0,0 und 0,2) deutlich erhöht.

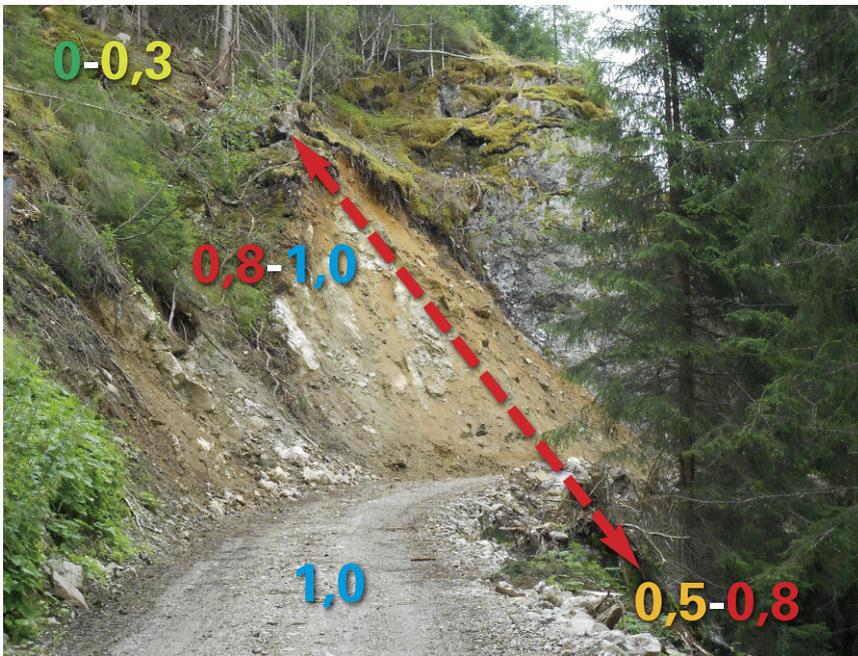


Abbildung 8: Forstweg im Istalanzbach. Im Mittel ist für die ganze Breite (rot strichlierte Linie) mit Abflussbeiwerten zwischen 0,8 und 0,9 bzw. für die Straße auf 5 m Breite mit 1,0 zu rechnen.

→ in hydrologischen 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, Seite 22).

2.6. Hangstabilisierende Wirkung von Waldbeständen

Eine Baumarten-Mischung (Kombination unterschiedlicher Wurzeltypen) erhöht die bodenfestigende und 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 Beinstener (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 Tonnen/ha (ca. 400 Bäume mit 40 cm DM)
- » Boden 50 % ca. 12.500 Tonnen/ha (Feststoffdichte = 2,5 g/cm³)
- » Wasser 35 % ca. 3.500 Tonnen/ha (ca. zwei 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.

Nadelhölzer geben in unseren Breiten durch Interzeption und Transpiration im Jahr rund die Hälfte des Niederschlages wieder an die Atmosphäre zurück. Daher beträgt der Mehranfall an Bodenwasser z.B. nach Entfernung eines Fichtenbestandes pro Jahr (bezogen auf eine Bodentiefe von 1 m):

- » 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 und kann destabilisierend wirken (Gegenteil der geplanten Wirkung einer „Hangent-

lastung“). 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, zum Beispiel:

- » wenn die Gefahr besteht, dass **Bäume in den Bach stürzen** oder mit dem Rutschkörper abzufahren drohen,
- » Bäume etwa **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 Massenbewegungen besteht bei großflächiger Räumung die Gefahr der Aktivierung und 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 (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 inklusive Altholz) entfernt, um das Wildholzpotenzial gering zu halten. Dies geschieht häufig aus Kostengründen, um den Seilkraneinsatz möglichst effizient zu halten und das Wildholzpotenzial auf längere Zeit deutlich zu reduzieren.

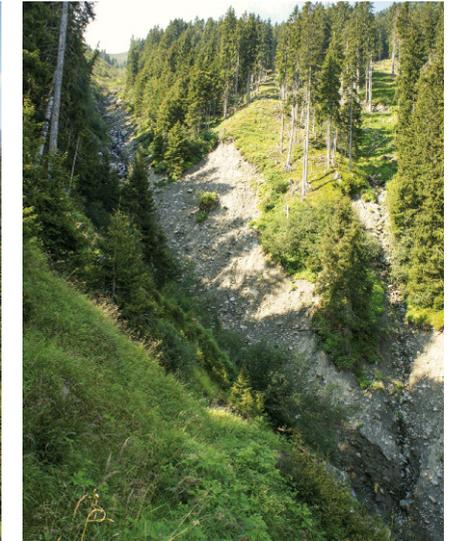


Abbildung 10: Seigesbach im Sellraintal, nach dem Ereignis von 7. auf 8. Juni 2015. Ergänzend zur Wildholzbewirtschaftung entlang des Bachlaufes erfolgten auf größerer Fläche noch Aufräumarbeiten nach einem Windwurf und „Arrondierungsschläge“. Positives Resultat: Kaum Wildholz im Graben. Negativ: Rutschungen 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 bei denen die stärkeren Individuen, ab stärkerem Stangenholz (20 cm DM) – zumindest in Bachnähe – entfernt werden.

→ Empfohlen werden **häufigere Eingriffe**, beispielsweise alle 20 Jahre. Die Entnahme stärkerer Individuen (ab starkem Stangenholz) in kürzeren Intervallen ist kostenintensiver, aber im Hinblick auf die Bestandes- und Hangstabilität wesentlich effektiver.

Anmerkung: Der Vorschlag zur Entnahme von **Durchmesserstärken > 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 und großflächige Eingriffe sind nicht ideal, insbesondere wenn noch dazu Zufallsnutzungen in den überliegenden Hängen dazu kommen 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). Jedoch kam es aufgrund zusätzlicher Nutzungen an den Hängen zu ausgedehnten Lockersedimentrutschungen im Gegensatz zu den Bereichen, die nur im Hinblick auf eine Wildholzbewirtschaftung geräumt wurden (Abbildung 10).

2.8. Klimawandel

Geänderte Niederschlagsmengen und Niederschlagsverteilungen im Zuge des Klimawandels 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 Schädlingsarten. 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 Klimawandelbedingungen; eine Voraussetzung ist jedoch die Lösung des Wildproblems (Fürst et al. 2017).

→ Die **richtige Baumartenwahl** ist im Hinblick auf die Klimaerwärmung besonders wichtig. Das Baumartenspektrum in den Hochlagen ist stark eingeschränkt (z.B. Fichte, Zirbe, Lärche, eventuell Spirke, Eberesche, Bergahorn bis 1500 m). Deshalb wird empfohlen, autochthones Saatgut und Pflanzmaterial zu verwenden, das heißt standortangepasste Pflanzen und nicht nur standorttaugliches Material.

→ Laubhölzer haben den Nachteil, dass sie erst mit Ende April/Mitte Mai vollbelaubt sind. Um in mittleren und tieferen Lagen eine minimale Retention in Zeiten fehlender bzw. beginnender Belaubung im Frühjahr und im Herbst sichern zu können, ist eine **ausreichende Ausstattung mit immergrünen Koniferen** notwendig (vermehrtes

Einbringen von Tanne und Weißkiefer zulasten der Fichte). Die Fichte sollte zumindest in mittleren bis höheren Lagen weiterhin als Mischbaumart vorhanden sein (Reinbestände sind aufgrund ihrer Anfälligkeit gegen Störungen durch Wind und Insekten zu minimieren), 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 zirka zwei Meter 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 Lawinenschutzwäldern unbedingt zur Erhöhung der Oberflächenrauigkeit, v.a. zum Schutz gegen Gleitschneelawinen, im Wald zu belassen.**

→ **Wintergrüne Überschildung** kann das Anbrechen von trockenen Schneebrettlawinen verhindern.

2.10. Wild - Naturverjüngung

Die Förster und Waldaufseher in den Testgebieten in Nord- und Südtirol wurden gefragt, ob eine spezielle Bewirtschaftung in Hinblick auf den Klimawandel vorgesehen sei. Der Tenor war: NEIN. Aufgrund des Wildeinflusses sei man derzeit 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 zu-recht kommen, 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) aufzuforsten.

2.12. Übersicht – hydrologische Wirkungen von Waldvegetation, Bewirtschaftung und Standort

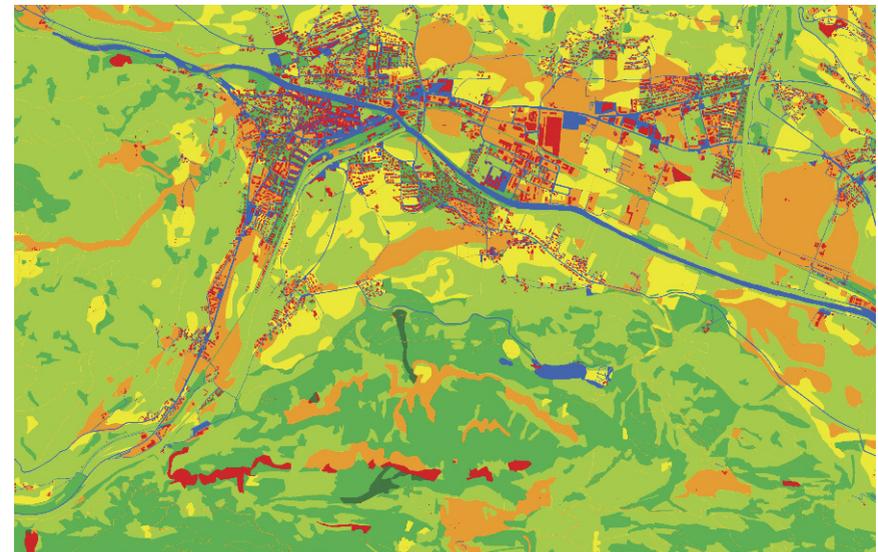
Hydrologisch günstig (+)	Hydrologisch ungünstig (-)
Mischbestände, standortangepasste Baumarten laut Waldtypisierung; Optimal sind junge, plenterartige Bestände mit hohem Anteil an Tiefwurzlern (z.B. Tanne); Anteil von Flach-/Senkwurzlern (z.B. Fichte) < 50 %; Hoher Laubholzanteil – wo möglich (standortangepasst); 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 in der Regel: » 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)

Hydrologisch günstig (+)	Hydrologisch ungünstig (-)
Zuwachsintensive Phasen	Terminal-, Zerfallsphasen
Grob texturierte, lockere Böden (fein- teilreich, nur wenn locker)	Bindige, dichte Böden, besonders in Kombination mit standortwidrigen Baumarten bzw. Flach- und/oder Senkwurzlern
Mittel-tiefgründige Böden	Flachgründige Böden auf dichtem Untergrund (anstehender Fels, Stauer; historische Zusatznutzungen, z.B. Streuerechen)
Ausgeglichene Wasserversorgung	Hohes permanentes Hangwasserangebot, Vernässung
Humusaufgabe: Moder bis Rohhumus oder Mullhumus mit annueller Streu und Bodenvegetation	Xeromorphe Humusformen mit Benetzungswiderständen nach Aus- trocknung (z.B. ausgetrocknete Fi-Streu)
Bewegtes Kleinrelief, Mulden, Schicht- köpfe, Verbindung über einzelne Spalten und Klüfte mit dem Untergrund	Gleichförmige Morphologie, Rückenlagen, Unterhänge, konvexe Formen
Alternative Bringungsformen (Seilkran, Pferd, u.a.), Anordnung von Rükke- gassen und -wegen in nicht abfluss- konzentrierender Form	Dichtes Wegenetz, viele ungeordnete und ungenügend stabilisierte Bringungs- wege und Rückegassen; Viele (ungesicherte) Ausleitungen, Abflusskonzentrationen
Keine Zusatzbelastungen	Zusatzbelastungen: » Hoher Wilddruck » Waldweide » Freizeitaktivitäten

2.13. Planungsgrundlagen

Abflussbeiwertkarte und Waldtypisierung

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



Farbegebung nach dem Ampelprinzip:

- kein bzw. max. 10 % Oberflächenabfluss
- 11-30 %
- 31-50 %
- 51-75 %
- 76-99 %
- undurchlässig, dicht bzw. Gewässer = 100%

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

Die **Abflussbeiwertkarte für Osttirol ist bereits fertig** (Abbildung 11). Sie wurde an insgesamt sechs 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.

→ **Abflussbeiwertkarten** wären für **Försterinnen 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 Waldtypisierung Tirol (<https://www.tirol.gv.at/umwelt/wald/schutzwald/waldtypisierung/>). Allerdings wird diese Waldtypisierung 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 Waldtypisierung** erfolgen.

→ Eine **periodische Aktualisierung** der Abflussbeiwertkarten (alle fünf bis zehn Jahre) erscheint gerade für den Waldbereich (z.B. in Bereichen mit großflächigen Zufallsnutzungen) notwendig.

→ Auch eine **Anpassung der Waldtypisierung** 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 (wie etwa Tanne und Eiche), z.B. zu Lasten der Fichte in tieferen Lagen.

3. Ergänzende Angaben zu den Testgebieten

Einige generelle Hinweise wurden schon in Kapitel 1 vorgestellt. Im Folgenden werden für die Testgebiete des ITAT4041 Projektes BLÖSSEN weitere mögliche und anstehende Maßnahmen skizziert bzw. bereits durchgeführte oder eingeleitete Maßnahmen angesprochen, die als beispielhaft gelten können.

3.1. Istalanzbach und Schallerbach – See im Paznaun (Nordtirol)

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 Projekt BLÖSSEN sind

- » Blößen und Räumden (durch Schlag) mit geringer oder 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 beispielsweise 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 Tiefensickerung aufgrund verminderter Interzeption und Transpiration durch den fehlenden Baumbestand begünstigt Hanginstabilitäten. Derartige Flächen sollten möglichst rasch in Bestand gebracht werden.

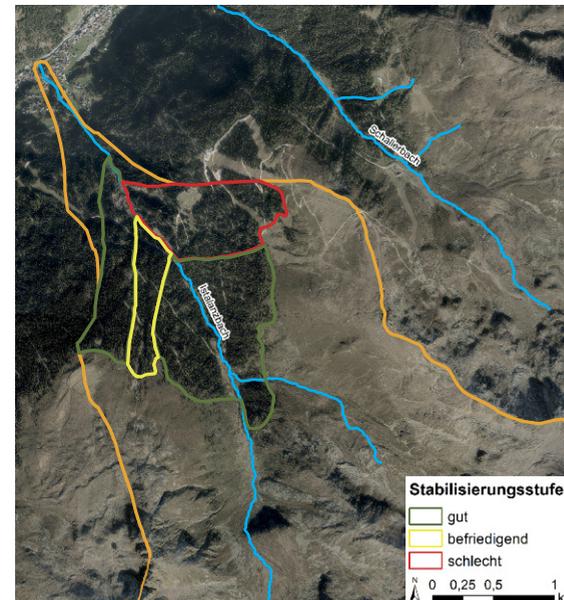


Abbildung 12: Istalanzbach – Schutzwirksamkeit des Waldes aus geologisch-morphologischer Sicht (nach Bunza 2018); gut (grün); befriedigend (gelb); schlecht (rot).



Abbildung 13: Mittellauf Istalanzbach – orographisch rechtsufrig – lokal vegetations-offene 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 (diverse Weiden, Birken, Lärchen, 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 (orographisch 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 von Freiflächen und 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, etwa durch schichtenparallele Verankerung einzelner größerer Bäume (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/Istalanzbach: **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:

- » Skipisten
- » (teilweise vernässte) Weideflächen
- » Straßen

Auf der planierten Skipiste (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 und 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 Skipiste im Vordergrund, Abflussbeiwert = 0, 83 bei Starkregen;
2 – Aufgelockertes Baum-Altholz, Verjüngungsfläche mit dichter Zwergstrauchheide, Abflussbeiwert = 0 (kein Abfluss) bei Starkregen

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

 → Wenn Skipisten 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 ehemaligen Baumbestandes zumindest teilweise erhalten (Cosandey et al. 2005, Schiechtl und Neuwinger 1980), der Oberflächenabfluss auf derartig gebauten Pisten ist deutlich geringer.

» **Begrünung mit standortsangepasstem Saatgut**

» **Mulchung** statt Weide

3.1.4. Verjüngungszustand

Im Fichten-Tannenwald konnte auf rund zwei Drittel der Probestflächen im Testgebiet lebender Jungwuchs festgestellt werden. Es ist anzunehmen, dass die **starke und rasche Vergrasung** der Blößen und der Flächen bei Kahlschlagbetrieb die Entwicklung des Jungwuchses hemmt sowie das Einwachsen in die Dickungsphase verzögert. Gräser wie Bürstling (*Nardus stricta*), Wolliges Reitgras (*Calamagrostis villosa*), Drahtschmiele (*Deschampsia flexuosa*) und Wald-Hainsimse (*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 % Verbisschäden 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 (Südtirol)

Die Schutzwirkung der Lärchen reichen Bestände mit Fichte und Zirbe bis ca. 2000/2100 m Seehöhe 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 eine möglichst hohe Interzeptions- und Transpirationsleistung der Bestände sicherzustellen (Baumartenwahl gemäß Waldtypisierung).

In den Lärchen-Fichtenbeständen mit unterschiedlicher Lückengröße oberhalb von Ober- und Unterfrinig 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 „Umriss“ entstanden (Schneedruck). Eine weitere Verdichtung durch Aufforstung in diesem Bereich ist jedoch nicht vorgesehen. Der lärchenreiche Gürtel an und unter der Waldgrenze wurde

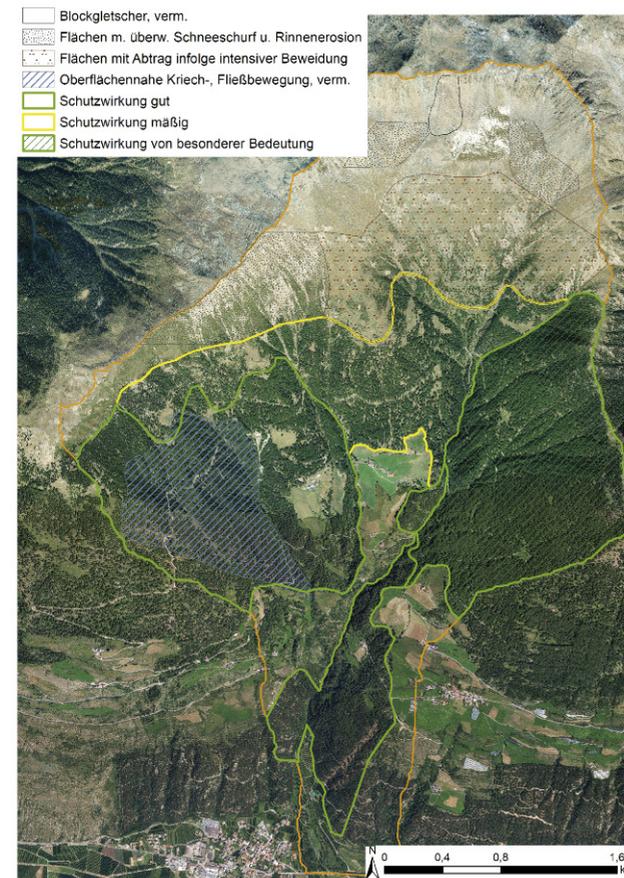


Abbildung 17: Tanaser Bach – Schutzwirksamkeit des Waldes aus geologischer Sicht (nach Bunza 2019): gut (grün); Waldwirkung für die Hangstabilität von besonderer Bedeutung (grün schraffiert); mäßig (gelb)

in den letzten Dezennien natürlich dichter (Lärchenverjüngung nach Auflassung der Weide). Jedoch wäre der Anwucherfolg der Naturverjüngung und damit die zu erwartende künftige Schutzwirkung der Bestände ohne den hohen Wilddruck (Verbiss, Verfegen) deutlich höher.

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 Schwarzkiefern-Areal zeigt für Laubholz-Jungwuchs 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 Lärche 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 Weidebelastung konnten sie sich nicht gut entwickeln. Ein höherer Fichtenanteil wäre hydrologisch günstig. Jedoch kommt die Fichte nicht auf direkt südexponierten 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 einer ausreichenden 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 stehen einige stärkere Individuen am Bach. Diese könnte man entnehmen bzw. umschneiden, auf Stücke < 1 m Länge zerteilen und seitlich deponieren.



Abbildung 18: Tanaser Berg - linkes Bild: Lärchenreiche Bestände (geringer Höhe und Durchmesserstärke) unterhalb der Stieralm. Rechtes Bild: Lärchenreiche Bestände im Mittellauf. Hier erscheint die Entnahme einzelner stärkerer Bachnaher 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 Lückenbreiten und im flacheren mit größeren 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 Schwarzkiefer nach Freistellung ihre Krone extrem ausdehnt und die Lücken schließt (Gefährdung der Laubholzkultur).

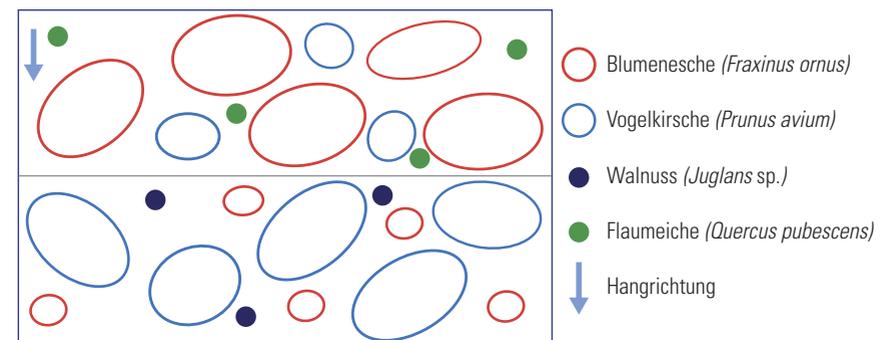


Abbildung 19: Skizze einer vorgeschlagenen Anlage von Laubholzaufforstungen bei der Umwandlung der Schwarzkiefer-Bestände am Tanaser Sonnenberg.

Es werden junge Laubhölzer (z.B. Flaumeiche 1-3-jährig) in Abhängigkeit von ihren Strahlungs- und Wasseransprüchen gepflanzt. Einzelpflanzung, z.B. bei Flaumeiche und Walnuss, und Gruppenpflanzung bei anderen Laubhölzern, wie Blumenesche. Vogelkirsche wird in größeren Gruppen im unteren, besser mit Wasser versorgten, schattigeren Teil gepflanzt (vgl. Abbildung 19). Die Flaumeiche behält das Laub bis ins Frühjahr (es wird braun; die Belaubung wird aber erst bei Neuaustrieb im Frühjahr abgeworfen). Dadurch sind eine höhere Interzeptionswirkung und bessere Schutzwirkung für den Boden gegeben.

Schwarzkiefer wird in extremen Bereichen, z.B. Felslagen, belassen, denn hier wäre die aktive Umstrukturierung mit Laubholz schwierig. Die Schwarzkiefer 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).

3.3. Kapron (Südtirol)

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

Laut **Waldtypisierung** handelt es sich um **potenzielles Fichtengebiet**.

Jedoch weichen aktuelle Bestockung und Bewirtschaftung deutlich davon ab: Der Großteil der Hänge im Raum Kapron wurde nach 1912 mit Lärche aufgeforstet. Auf der Sonnseite findet man nur Lärche, teils



Abbildung 20: Lärchenreiche Bestände am Sonnberg von Kapron.

sogar alte Ur-Lärchen, in höheren Lagen auch Zirbe (Abbildung 20). Es erfolgten weitere umfangreiche Aufforstungen in den 1970er Jahren: Jedoch ist die Lärche nicht vital und das H/D-Verhältnis suboptimal. Dagegen zeigt Zirbe ein sehr gutes Wachstum, diese produziert schon erste Samen.

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

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

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, das heißt rund zehn Stück/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 zwei 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 Berechnungsversuche zeigen, ist daher auf diesen Hängen auch bei hohen Niederschlags-Intensitäten kaum Oberflächenabfluss zu erwarten (Markart et al. 2019). Die **Verdichtung der Lärchenreichen Bestände unter vermehrter Einbringung immergrüner Baumarten** (Zirbe, ev. auch Fichte) 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 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 (Kordinatorin 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.

Wir bedanken uns bei Herrn DI Christian Lackner, Leiter des Fachbereiches Kommunikation und Wissensvermittlung am BFW, für die Durchsicht des Manuskriptes und bei Frau Johanna Kohl für Layout und Satz des Handbuches.

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/>
- 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. Greif-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.
- Beinsteiner, 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 Istalanzbach 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_l.pdf, 1. Fassung vom Okt. 2000.
- Kohl, B., F. Perzl, F., G. Markart, K. Klebinder, H. Pirkl, 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., G. Markart, F. Perzl, G. Bunza, K. Hagen, A. Huber und K. Klebinder (2015): Standortsangepasste und gefahrenorientierte Waldbewirtschaftung im Bereich steiler Grabeneinhangen - 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, B. Sotier, T. Schauer, G. Bunza und R. Stern (2004): Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen (Version 1.0). BFW Dokumentation, Nr.3.
- 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. Süntinger, 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.
- Schiechtel, H.M., und I. Neuwinger (1980): Regeneration von Vegetation und Boden nach Einstellung der Beweidung und Bodenstreunutzung in einem zentralalpinen Hochlagen-Aufforstungsgebiet; Mitteilungen der Forstl. Bundes-Versuchsanstalt Wien, Heft 129, 63-80.
- 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. Grell-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., W. Oberhuber und A. Gruber (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
- Ziemer, R.R. (1981): Roots and the stability of forested slopes. In: *Erosion and Sediment Transport in Pacific Rim Steeplands*. I.A.H.S. Publ. No. 132 (Christchurch).
- 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.	13
Abbildung 2: Linkes Bild (Istalanzbach) – Natürliche Verjüngungsfläche mit großer Artenvielfalt. Rechtes Bild (Tanaser Sonnberg) – Umgewandelte Schwarzkiefern-Fläche mit großer Baumartenvielfalt. Wenige Jahre nach Umwandlung ist das Abflussverhalten bereit.....	14
Abbildung 4: See im Paznauntal (zwischen Schallerbach und Istalanzbach) – Invasive Schlagflora gepaart mit invasiven Neophyten. Aufkommen der Bestandesverjüngung ist nur durch Freischneiden und/oder massiven Einzelschutz möglich.	16
Abbildung 3: Anteil der Tiefensickerung in Abhängigkeit vom Jahres-N in jungen Beständen (verändert nach Müller 2013). Höhere Tiefensickerung in Jungwuchsf lächen, höherer Wasserverbrauch ab Alter von 20 Jahren.	16
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).	18
Abbildung 6: Istalanzbach – Linkes Bild: aufgelockertes Fichten-Altholz mit dichter Zwergstrauchheide. Rechtes Bild: Baumholz mit Heidelbeere (beide 0 bis max. 10 % Oberflächenabfluss).	21
Abbildung 7: Tanaser Sonnberg – linkes, oberes mittleres und rechtes Bild: Schwarzkiefer-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). Mittleres Bild unten: Istalanzbach – mit reiner Fichtenstreu bedeckter Boden (Piceetum nudum: nudum = ohne Bodenvegetation) ist bei großflächiger Ausbildung aufgrund von benetzungshemmender Wirkung nach Austrocknung stark Abfluss fördernd.	22
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.	26
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.	30

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 einem 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.	31
Abbildung 11: Ausschnitt aus der Abflussbeiwertkarte für Osttirol (Bereich Lienz-Tristach - Rauchkofel).	39
Abbildung 12: Istalanzbach – Schutzwirksamkeit des Waldes aus geologisch-morphologischer Sicht (nach Bunza 2018)	43
Abbildung 13: Mittellauf Istalanzbach – orographisch rechtsufrig – lokal vegetationsoffene Grabeneinhänge und sehr große Schlagflächen mit teils verzögerter Wiederbewaldung.	44
Abbildung 14: Istalanzbach – Beispiel einer gut gesetzten Räumungsmaßnahme auf einem Rutschhang (orographisch rechtsufrig im Mittellauf).	45
Abbildung 15: Schallerbach/Istalanzbach: Hydrologisch nicht optimal – große Schlagfläche mit verzögerter Verjüngungsentwicklung führt zu sehr hohem Sickerwasseranfall und hohem Zwischenabfluss.	46
Abbildung 16: Istalanzbach: 1 – Planierte Schipiste im Vordergrund, Abflussbeiwert = 0, 83 bei Starkregen; 2 – Aufgelockertes Baum-Altholz, Verjüngungsfläche mit dichter Zwergstrauchheide, Abflussbeiwert = 0 (kein Abfluss) bei Starkregen	47
Abbildung 17: Tanaser Bach – Schutzwirksamkeit des Waldes aus geologischer Sicht (nach Bunza 2019)	51
Abbildung 18: Tanaser Berg - linkes Bild: Lärchenreiche Bestände (geringer Höhe und Durchmesserstärke) unterhalb der Stieralm. Rechtes Bild: Lärchenreiche Bestände im Mittellauf. Hier erscheint die Entnahme einzelner stärkerer Bach-naher Individuen sinnvoll.	54
Abbildung 19: Skizze einer vorbildlichen Anlage von Laubholzaufforstungen bei der Umwandlung der Schwarzkiefer-Bestände am Tanaser Sonnberg.	55
Abbildung 20: Lärchenreiche Bestände am Sonnberg von Kapron.	57