

## **HINWEIS**

Bei der vorliegenden Fassung von PROTECTpraxis handelt es sich um den Entwurf mit Stand Juli 2024 vor. Änderungen vorbehalten.

# PROTECTpraxis

Berücksichtigung der Wirkung von Schutzmassnahmen in der Gefahren- und Risikobeurteilung

## TEIL II - Beurteilungshilfen

(Stand: 18.07.2024)

# Inhaltsverzeichnis

<b><u>Lesehilfe Spider-Diagramme</u></b>	<b><u>2</u></b>
<b><u>1 — Bauliche Massnahmen</u></b>	<b><u>3</u></b>
<b><u>2 — Biologische Massnahmen</u></b>	<b><u>38</u></b>
<b><u>3 — Organisatorische Massnahmen</u></b>	<b><u>74</u></b>
<b><u>4 — Grundlagen und Referenzen</u></b>	<b><u>79</u></b>

## Lesehilfe Spider-Diagramme

- Die Spider-Diagramme dienen der Nachvollziehbarkeit der Zuverlässigkeitsbeurteilung von Schutzmassnahmen.
- Die Beurteilung erfolgt pro Wiederkehrperiode. Entsprechend ist pro betrachtete Wiederkehrperiode eine Beurteilung der Schutzmassnahme(n) durchzuführen und ein dazugehöriges Spider-Diagramm zu erstellen.
- Die Bewertung der Parameter erfolgt gutachtlich, basierend auf jeweiligen Anleitungen.
- Die Einwertungen der Parameter auf den Achsen werden zu einem Polygon aufgespannt. Dessen Ausdehnung/Fläche dient der Festlegung der Zuverlässigkeit. Je grösser die Fläche, desto höher die Zuverlässigkeit.

# 1 — Bauliche Massnahmen

## Übersicht Beurteilungshilfen

Schutzmassnahme	Wasser	Rutsch	Sturz	Lawin
<b>Schutz vor Überflutung</b>				
- Hochwasserschutzdamm	A1			
<b>Gewährung der Sohlenstabilität</b>				
- Querwerk	A2			
- Sohlensicherung mit Rampen/Blockschwellen	A3			
<b>Schutz vor Seitenerosion</b>				
- Uferdeckwerk (Blocksatz/Blockwurf)	A4			
<b>Rückhalt</b>				
- Geschiebe-/Murgangsammler	A5			
- Murgangnetz	A6			
<b>Entlastung</b>				
-				
<b>Schutz vor Anriss</b>				
- Entwässerung		B3		
<b>Ablenkung und Auffangen</b>				
- Ablenk-/Auffangdamm Rutschung		B1		
- Auffangnetz Rutschung		B2		
<b>Schutz vor Ausbruch</b>				
- Netzabdeckung			C3	
<b>Schutz vor Aufprall</b>				
- Steinschlagschutznetz			C1	
- Steinschlagschutzdamm			C2	
<b>Schutz vor Anriss</b>				
- Stützwerk				D1
- Schneenetz				D2
<b>Ablenkung und Auffangen</b>				
- Leitwerk				D3
- Auffangdamm				D4
<b>Schutz vor Aufprall</b>				
-				

### Begleitdokumente:

- 1.2 Bemessung und Überprüfung von Bauwerken
- 1.3 Allgemeines zum Erhaltungsmanagement

## 1.1 – Beurteilungshilfen

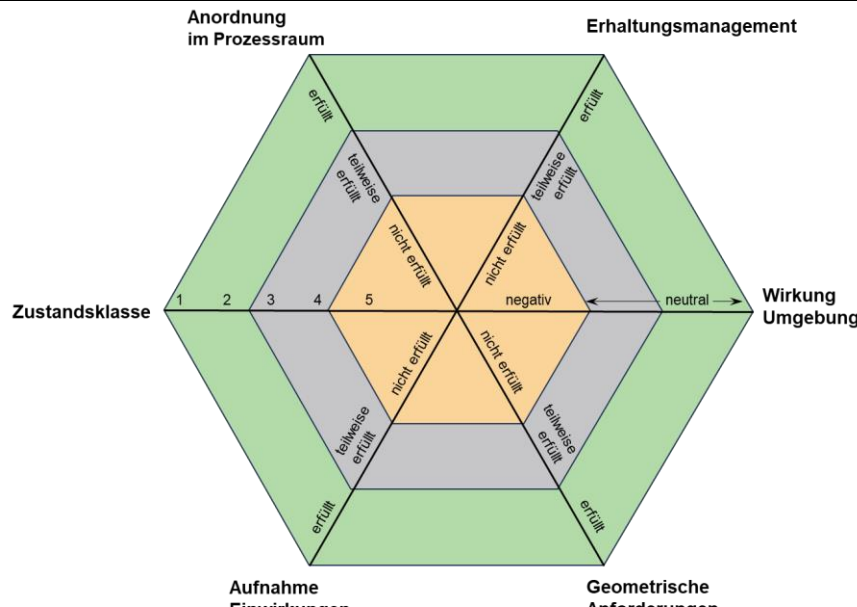
### PROZESS WASSER

#### A1 - Hochwasserschutzdamm (Fließgewässer oder See)

Beurteilungshilfe		HWS Damm (Fließgewässer oder See)
Prozess- parameter	Für die Beurteilung der oben aufgeführten Werkart müssen folgende Prozessparameter bekannt sein:	– Fliesstiefen
Spider-Diagramm	<p>Das Spider-Diagramm ist ein Sechseck, das die Beurteilung eines Hochwasserschutzdamms darstellt. Die sechs Hauptkriterien sind: Anordnung im Prozessraum, Erhaltungsmanagement, Wirkung Umgebung, Geometrische Anforderungen, Aufnahme Einwirkungen und Zustandsklasse. Innerhalb des Sechsecks sind verschiedene Erfüllungszustände (erfüllt, teilweise erfüllt, nicht erfüllt) und eine Zustandsklasse (1-5) eingezeichnet.</p>	
Detailbeurteilung Zuverlässigkeit	Anordnung im Prozessraum <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Ausreichender Ausbau auf ganzer Strecke, einschliesslich allfälliger Rückstautrecken
	Erhaltungsmanagement <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Inventar der Werke vorhanden <input type="checkbox"/> Situationsplan mit Übersicht der ausgeführten Werke <input type="checkbox"/> Verantwortliche Institution definiert <input type="checkbox"/> Zustandsbeurteilung liegt vor
	Wirkung Umgebung <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Kein Bewuchs des Damms mit Bäumen (Stufe Stangenholz / Baumholz) <input type="checkbox"/> Keine Rutschungen oder Eintrag von Seitenbächen, welche den Querschnitt einengen
	Geometrische Anforderungen <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Höhe ausreichend (Fliesstiefe plus Freibord je nach kantonaler Anforderung), unter Berücksichtigung von Auflandungen Wenn die Höhe für ein Szenario <b>nicht erfüllt</b> ist, ist zu prüfen, ob der Damm überströmsicher ist oder ob es zu einer Breschenbildung kommen kann. <input type="checkbox"/> Böschungsneigungen (Wasser- und Luftseite) nicht grösser als 2:3: erfüllt. Grösser als 2:3: nur erfüllt, wenn verbaut (z.B. Blocksatz, Ufermauer), bei kleinen und / oder sehr flachen Fließgewässern genügt auch ein stabiler Bewuchs. Siehe auch separate Beurteilungshilfe (Deckwerk).
	Aufnahme Einwirkungen	<i>Geprüft wird, ob das Bauwerk den Anforderungen aus der aktuellen Prozessbeurteilung entspricht.</i> <i>Zulässige Annahmen sind:</i> <input type="checkbox"/> Werk wurde nachweislich bereits entsprechend belastet (Ereignisdokumentation oder Abflussmessungen)

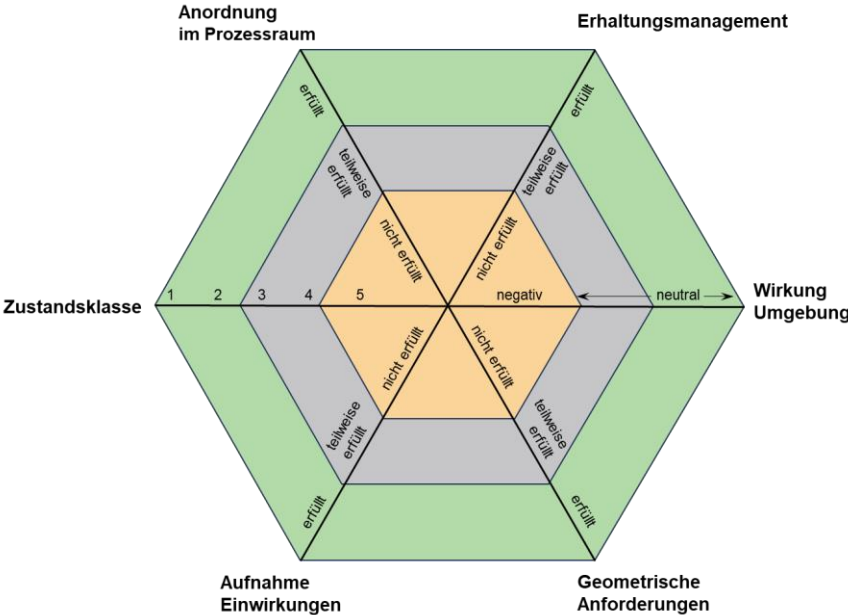
Beurteilungshilfe		HWS Damm (Fließgewässer oder See)
		<input type="checkbox"/> Ein Damm darf bis zu seiner Oberkante abzüglich Freibord mit Wasserdruck belastet werden <input type="checkbox"/> Angaben liegen aus Nutzungsvereinbarungen / Projektbasis / Technischer Bericht / Angaben auf Plänen, etc. vor <i>erfüllt: Auslegung bekannt, entspricht heutiger Prozessbeurteilung</i> <i>teilweise erfüllt: Auslegung erfüllt Anforderungen teilweise; ein plötzliches Versagen bei Überschreiten der Auslegung kann ausgeschlossen werden</i> <i>unbekannt: Auslegung nicht feststellbar oder nicht auf aktuelle Prozesseinwirkung ausgelegt</i>
	Zustandsklasse	<i>Bewertung Zustandsklasse nach SIA D0240 kann aus Werkinspektionsblatt entnommen werden (vgl. Kriterien Erhaltungsmanagement)</i> <input type="checkbox"/> Schadenstufe 1 – 2 (gut – annehmbar) oder Vergabe Instandstellungsarbeiten erfolgt <input type="checkbox"/> Schadenstufe 3 (schadhaft) <input type="checkbox"/> Schadenstufe 4 – 5 (schlecht – alarmierend)

## A2 – Querwerk (Sperre, Sohlschwelle, Riegel)

Beurteilungshilfe		Querwerk (Sperren, Sohlschwelle, Riegel)
Prozess- parameter	Für die Beurteilung der oben aufgeführten Werkart müssen folgende Prozessparameter bekannt sein:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Spitzenabfluss</li> <li>– Abschätzung Kolkiefen und – längen</li> <li>– Abschätzung stabiles Nettogefülle</li> </ul>
Spider-Diagramm		
Detailbeurteilung Zuverlässigkeit	Anordnung im Prozessraum <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Korrekte und wirksame Anordnung des Werkes im Gelände
	Erhaltungsmanagement <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Inventar der Werke vorhanden <input type="checkbox"/> Situationsplan mit Übersicht der ausgeführten Werke <input type="checkbox"/> Verantwortliche Institution definiert <input type="checkbox"/> Zustandsbeurteilung liegt vor
	Wirkung Umgebung <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen aus Hangdruck, erosiven Prozessen oder dgl. auf Bauwerk und dessen Fundation <input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen durch andere Prozesse (Rutschungen, Lawinen, etc.) <input type="checkbox"/> Keine Hochstämme auf dem Bauwerk oder auf der Hinterfüllung der Sperre
	Geometrische Anforderungen <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Grösse der Überfallsektion einschliesslich Freibord bis zum Spitzenabfluss ausreichend; Freibord je nach kantonalen Anforderungen (kein Überströmen der Flügel) <input type="checkbox"/> Zwischengefälle so klein, dass nächstobere Sperre immer eingebunden ist (bei Vollverbau) oder Fundation tief genug, um Eintiefung des Baches auf stabiles Gefälle mittelfristig abdecken zu können (wenn jede Sperre für sich steht). Ist bei modernen Kastensperren in der Regel erfüllt, da diese nicht kippen können. <input type="checkbox"/> Abstand bis zur nächstunteren Sperre so gross, dass diese nicht durch Kolk von oben freigelegt werden kann. <input type="checkbox"/> Fundation genügend tief, um Kolk aufnehmen zu können. Achtung: Sperrenkolk ist während Hochwasserspitze deutlich tiefer als dies bei Niedrigwasser sichtbar ist
	Aufnahme Einwirkungen	Bei Querwerken ist diese Bedingung immer erfüllt, da sie ab dem Moment der Hinterfüllung praktisch voll belastet sind. Es kann davon ausgegangen werden, dass ein leicht erhöhter Wasserdruck als Folge des höheren Abflusses die Einwirkungen unwesentlich erhöht.
	Zustandsklasse	<i>Bewertung Zustandsklasse nach SIA D0240 kann aus Werkinspektionsblatt entnommen werden (vgl. Kriterien Erhaltungsmanagement)</i>

Beurteilungshilfe		Querwerk (Sperren, Sohlschwelle, Riegel)
		<input type="checkbox"/> Schadenstufe 1 – 2 (gut – annehmbar) oder Vergabe Instandstellungsarbeiten erfolgt <input type="checkbox"/> Schadenstufe 3 (schadhaft) <input type="checkbox"/> Schadenstufe 4 – 5 (schlecht – alarmierend)

### A3 – Sohlensicherung mit Rampen / Blockschwellen

Beurteilungshilfe		Sohlensicherung mit Rampen/Blockschwellen	
Prozess- parameter	Für die Beurteilung der oben aufgeführten Werkart müssen folgende Prozessparameter bekannt sein:		<ul style="list-style-type: none"><li>- Fliesstiefen</li><li>- Abschätzung Kolkstiefen</li></ul>
Spider-Diagramm			
Detailbeurteilung Zuverlässigkeit	Anordnung im Prozessraum <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Korrekte und wirksame Anordnung des Fixpunktes im Längensprofil	
	Erhaltungsmanagement <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Inventar der Werke vorhanden <input type="checkbox"/> Situationsplan mit Übersicht der ausgeführten Werke <input type="checkbox"/> Verantwortliche Institution definiert <input type="checkbox"/> Zustandsbeurteilung liegt vor	
	Wirkung Umgebung <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Ufer stabil <input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen durch andere Prozesse (Lawinen, Sturz, Rutsch, etc.)	
	Geometrische Anforderungen <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Rampenfuss wird bei Hochwasser nicht unterkolt <input type="checkbox"/> keine Freilegung der oberstromseitigen Berandung (Rampenkopf) bei Hochwasser  Diese Bedingungen können ohne Pläne oder Fotos aus der Bauphase nur teilweise beurteilt werden, da Unterkante Foundation meist nicht sichtbar.	
	Aufnahme Einwirkungen	<p><i>Geprüft wird, ob das Bauwerk den Anforderungen aus der aktuellen Prozessbeurteilung entspricht.</i></p> <p><i>Die Auslegung des Bauwerks kann wie folgt festgestellt werden:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li><input type="checkbox"/> Werk wurde nachweislich bereits entsprechend belastet (Ereignisdokumentation oder Abflussmessungen)</li><li><input type="checkbox"/> Angaben liegen aus Nutzungsvereinbarungen / Projektbasis / Technischer Bericht / Angaben auf Plänen, etc. vor</li><li><input type="checkbox"/> Vergleich Blockgrößen und Gefälle mit Manual zur Sanierung von Abstürzen (Hunziker, Zarn und Partner AG, 2008, Tab. 6/7)</li></ul> <p><i>erfüllt:</i> Auslegung bekannt, entspricht heutiger Prozessbeurteilung</p> <p><i>teilweise erfüllt:</i> Auslegung erfüllt Anforderungen teilweise; Quantifizierung Wirkung ist prozessspezifisch und erfolgt gutachtlich</p> <p><i>unbekannt:</i> Auslegung nicht feststellbar oder nicht auf aktuelle Prozesseinwirkungen ausgelegt</p>	



Beurteilungshilfe		Sohlensicherung mit Rampen/Blockschwellen
	Zustandsklasse	<p><i>Bewertung Zustandsklasse nach SIA D0240 kann aus Werkinspektionsblatt entnommen werden (vgl. Kriterien Erhaltungsmanagement)</i></p> <p><input type="checkbox"/> Schadenstufe 1 – 2 (gut – annehmbar) oder Vergabe Instandstellungsarbeiten erfolgt</p> <p><input type="checkbox"/> Schadenstufe 3 (schadhaft)</p> <p><input type="checkbox"/> Schadenstufe 4 – 5 (schlecht – alarmierend)</p>

## A4 – Uferdeckwerk (Blocksatz/Blockwurf)

Beurteilungshilfe		Uferdeckwerk (Blocksatz/Blockwurf)
Prozess- parameter	Für die Beurteilung der oben aufgeführten Werkart müssen folgende Prozessparameter bekannt sein:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fliesstiefen</li> <li>– Abschätzung Sohlenerosion während Hochwasser</li> <li>– evtl. Bestimmung Kurvenkolk</li> </ul>
Spider-Diagramm	<div style="text-align: center;"> </div>	
Detailbeurteilung Zuverlässigkeit	Anordnung im Prozessraum <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Ausreichende Abdeckung des Bereiches mit potenzieller Ufererosion
	Erhaltungsmanagement <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Inventar der Werke vorhanden <input type="checkbox"/> Situationsplan mit Übersicht der ausgeführten Werke <input type="checkbox"/> Verantwortliche Institution definiert <input type="checkbox"/> Zustandsbeurteilung liegt vor
	Wirkung Umgebung <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Kein Bewuchs des Verbaus mit Bäumen (Stangenholz / Baumholz) <input type="checkbox"/> Keine selbständigen Hangprozesse in der Böschung <input type="checkbox"/> Keine Vernässungen oder Wasseraustritte in der Böschung
	Geometrische Anforderungen <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Foundation genügend tief (keine Unterspülung während Ereignis zu erwarten)
	Aufnahme Einwirkungen	<p><i>Gepprüft wird, ob das Bauwerk den Anforderungen aus der aktuellen Prozessbeurteilung entspricht.</i></p> <p><i>Zulässige Annahmen sind:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Werk wurde nachweislich bereits entsprechend belastet (Ereignisdokumentation oder Abflussmessungen)</li> <li><input type="checkbox"/> Für Deckwerke aus Steinen/Blöcken kann i.d.R. angenommen werden, dass sie Strömungseinwirkungen standhalten. Sie sollten bei stabilem Staudenbewuchs oberhalb davon eine Mindesthöhe <math>h_{min}</math> von:  <math display="block">h_{min} [m] = h_{Wsp} [m] - 0.015/J_E</math>                     aufweisen (<math>J_E</math> = Gefälle als absolute Zahl). Das heisst bei Bächen im Steilbereich praktisch bis OK Ufer, bei Talflüssen deutlich tiefer.</li> <li><input type="checkbox"/> Angaben liegen aus Nutzungsvereinbarungen / Projektbasis / Technischer Bericht / Angaben auf Plänen, etc. vor</li> <li><input type="checkbox"/> Vergleich Schleppspannungen mit Art der Vegetation/Blockgrössen aus Literatur</li> <li><input type="checkbox"/> Abschätzung Stabilität nach Stevens et al. 1976 oder anderen Ansätzen</li> </ul>

Beurteilungshilfe		Uferdeckwerk (Blocksatz/Blockwurf)
		<p><i>erfüllt: Auslegung bekannt, entspricht heutiger Prozessbeurteilung</i></p> <p><i>teilweise erfüllt: Auslegung erfüllt Anforderungen teilweise; Quantifizierung Wirkung ist prozessspezifisch und erfolgt gutachtlich</i></p> <p><i>unbekannt: Auslegung nicht feststellbar oder nicht auf aktuelle Prozesseinwirkungen ausgelegt</i></p>
	Zustandsklasse	<p><i>Bewertung Zustandsklasse nach SIA D0240 kann aus Werkinspektionsblatt entnommen werden (vgl. Kriterien Erhaltungsmanagement)</i></p> <p><input type="checkbox"/> Schadenstufe 1 – 2 (gut – annehmbar) oder Vergabe Instandstellungsarbeiten erfolgt</p> <p><input type="checkbox"/> Schadenstufe 3 (schadhaft)</p> <p><input type="checkbox"/> Schadenstufe 4 – 5 (schlecht – alarmierend)</p>

## A5 – Geschiebe-/Murgangssammler

Beurteilungshilfe		Geschiebe-/Murgangssammler	
Prozess- paramete	Für die Beurteilung der oben aufgeführten Werkart müssen folgende Prozessparameter bekannt sein:		<ul style="list-style-type: none"><li>- Geschiebefrachten</li><li>- Spitzenabfluss</li><li>- Definition massgebender Prozess (z.B. fluvial, Murgang)</li></ul>
Spider-Diagramm	<div><div><div>Anordnung im Prozessraum</div><div>Erhaltungsmanagement</div><div>Wirkung Umgebung</div><div>Geometrische Anforderungen</div><div>Aufnahme Einwirkungen</div><div>Zustandsklasse</div></div><div></div></div>		
Detailbeurteilung Zuverlässigkeit	Anordnung im Prozessraum <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<div><input type="checkbox"/> Korrekte und wirksame Anordnung des Werkes im Gelände (Sohlengefälle, Abstand zur Siedlung / zum geschützten Objekt) Hinweis: sehr häufig treten in Gerinneabschnitten unterstrom von Sammlern verstärkte Erosionen auf, wenn Sohle und Ufer nicht verbaut sind.</div>	
	Erhaltungsmanagement <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<div><input type="checkbox"/> Inventar der Werke vorhanden</div> <div><input type="checkbox"/> Situationsplan mit Übersicht der ausgeführten Werke</div> <div><input type="checkbox"/> Verantwortliche Institution definiert</div> <div><input type="checkbox"/> Zustandsbeurteilung liegt vor</div>	
	Wirkung Umgebung <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<div><input type="checkbox"/> Bachsohle unmittelbar unterstrom des Rückhaltebauwerks stabil</div> <div><input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen im Fundationsbereich durch Rutschungen, Setzungen und anderweitige erosive Prozesse</div> <div><input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen durch andere Prozesse (Hangdruck, Lawinen/Sturz/Rutsch, Hangwasser etc.)</div>	
	Geometrische Anforderungen <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<div><input type="checkbox"/> Ausreichendes Rückhaltevolumen. Ein dem Material angemessenes Verlandungsgefälle darf berücksichtigt werden.</div> <div><input type="checkbox"/> Grösse der Überfallsektion einschliesslich Freibord genügend bis zum Spitzenabfluss, Freibord nach kantonalen Anforderungen</div>	
	Aufnahme Einwirkungen	<div>Geprüft wird, ob das Bauwerk den Anforderungen aus der aktuellen Prozessbeurteilung entspricht.</div> <div>Zulässige Annahmen sind:</div> <div><input type="checkbox"/> Für Rückhaltebauwerke kann angenommen werden, dass sie Strömungseinwirkungen von fliessendem Wasser, sowie Erd- und Wasserdruck bis OK Ufer, resp. bis zur Höhe der Überfallsektion standhalten. Wird ein Murgangprozess erwartet, muss sichergestellt sein, dass das Bauwerk darauf bemessen wurde, ggf. Überprüfung verlangen.</div> <div><input type="checkbox"/> Ein Damm darf bis zu seiner Oberkante abzüglich Freibord mit Wasserdruck belastet werden</div> <div><input type="checkbox"/> Angaben liegen aus Nutzungsvereinbarungen / Projektbasis / Technischer Bericht / Angaben auf Plänen, etc. vor</div>	

Beurteilungshilfe		Geschiebe-/Murgangsammler
		<p><i>erfüllt: Auslegung bekannt, entspricht heutiger Prozessbeurteilung</i></p> <p><i>teilweise erfüllt: Auslegung erfüllt Anforderungen teilweise; Quantifizierung Wirkung ist prozessspezifisch und erfolgt gutachtlich</i></p> <p><i>unbekannt: Auslegung nicht feststellbar oder nicht auf aktuelle Prozesseinwirkungen ausgelegt</i></p>
	Zustandsklasse	<p><i>Bewertung Zustandsklasse nach SIA D0240 kann aus Werkinspektionsblatt entnommen werden (vgl. Kriterien Erhaltungsmanagement)</i></p> <p><input type="checkbox"/> Schadenstufe 1 – 2 (gut – annehmbar) oder Vergabe Instandstellungsarbeiten erfolgt</p> <p><input type="checkbox"/> Schadenstufe 3 (schadhaft)</p> <p><input type="checkbox"/> Schadenstufe 4 – 5 (schlecht – alarmierend)</p>

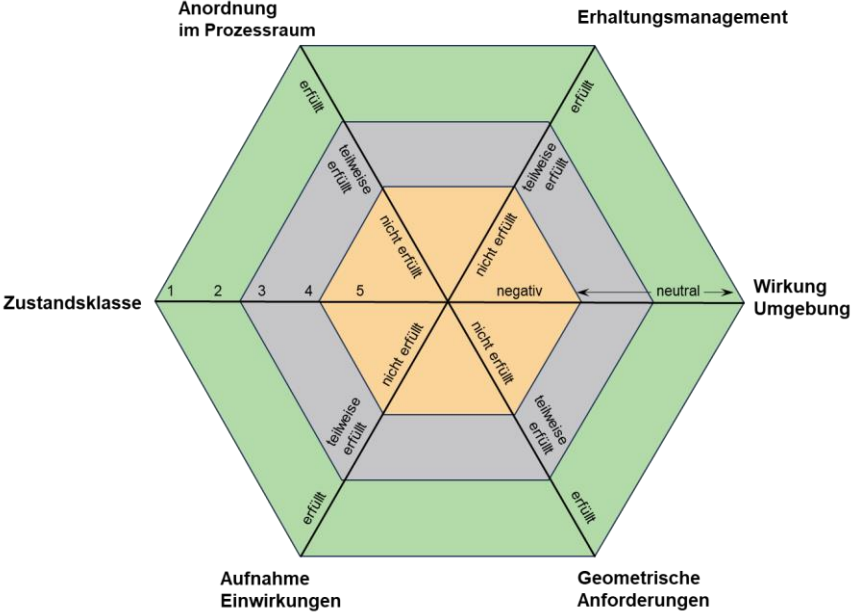
A6 – Murgangnetz

Beurteilungshilfe		Murgangnetz
Prozess- parameter	Für die Beurteilung der oben aufgeführten Werkart müssen folgende Prozessparameter bekannt sein:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Geschiebefrachten</li> <li>– Quantifizierung des Murstosses</li> </ul>
Spider-Diagramm	<div style="text-align: center;"> <p>Das Spider-Diagramm zeigt die Beurteilung des Murgangnetzes basierend auf sechs Kriterien. Die Zustandsklasse ist in fünf Stufen unterteilt: 1 (erfüllt), 2 (teilweise erfüllt), 3 (nicht erfüllt), 4 (teilweise erfüllt), 5 (nicht erfüllt). Die Wirkung Umgebung ist in neutral und negativ unterteilt.</p> </div>	
Detailbeurteilung Zuverlässigkeit	Anordnung im Prozessraum <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Korrekte und wirksame Anordnung des Werkes im Gelände (Fliessweg im Hochwasserereignis, Abstand zur Siedlung oder dem zu schützenden Objekt). Hinweis: sehr häufig treten in Gerinneabschnitten unterstrom von Sammlern verstärkte Erosionen auf, wenn Sohle und Ufer nicht verbaut sind.
	Erhaltungsmanagement <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Inventar der Werke vorhanden <input type="checkbox"/> Situationsplan mit Übersicht der ausgeführten Werke <input type="checkbox"/> Verantwortliche Institution definiert <input type="checkbox"/> Zustandsbeurteilung liegt vor
	Wirkung Umgebung <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen im Bereich der Anker durch Rutschungen, Setzungen und anderweitige erosive Prozesse <input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen durch andere Prozesse (Hangdruck, Lawinen/Sturz/Rutsch, Hangwasser etc.)
	Geometrische Anforderungen <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Ausreichendes Rückhaltevolumen. Ein dem Material angemessenes Verlandungsgefälle darf berücksichtigt werden <input type="checkbox"/> Grösse der Überfallsektion einschliesslich Freibord genügend bis zum Spitzenabfluss, Freibord nach kantonalen Anforderungen
	Aufnahme Einwirkungen	<p><i>Geprüft wird, ob das Bauwerk den Anforderungen aus der aktuellen Prozessbeurteilung entspricht.</i></p> <p><i>Zulässige Annahmen sind:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Werk wurde nachweislich bereits entsprechend belastet (Ereignisdokumentation)</li> <li><input type="checkbox"/> Aufnehmbare Energie entspricht Netztyp</li> <li><input type="checkbox"/> Angaben liegen aus Nutzungsvereinbarungen / Projektbasis / Technischer Bericht / Angaben auf Plänen, etc. vor</li> </ul> <p><i>erfüllt:</i> Auslegung bekannt, entspricht heutiger Prozessbeurteilung</p> <p><i>teilweise erfüllt:</i> Auslegung erfüllt Anforderungen teilweise; Quantifizierung Wirkung ist prozessspezifisch und erfolgt gutachtlich</p> <p><i>unbekannt:</i> Auslegung nicht feststellbar oder nicht auf aktuelle Prozesseinwirkungen ausgelegt</p>

Beurteilungshilfe		Murgangnetz
	Zustandsklasse	<p><i>Bewertung Zustandsklasse nach SIA D0240 kann aus Werkinspektionsblatt entnommen werden (vgl. Kriterien Erhaltungsmanagement)</i></p> <p><input type="checkbox"/> Schadenstufe 1 – 2 (gut – annehmbar) oder Vergabe Instandstellungsarbeiten erfolgt</p> <p><input type="checkbox"/> Schadenstufe 3 (schadhaft)</p> <p><input type="checkbox"/> Schadenstufe 4 – 5 (schlecht – alarmierend)</p>

## B - PROZESS RUTSCH

### B1 – Ablenk-/Auffangdamm spontane Rutschung

Beurteilungshilfe		Ablenk- / Auffangdamm spontane Rutschungen	
Prozessparameter	Für die Beurteilung der oben aufgeführten Werkart müssen folgende Prozessparameter bekannt sein:		<ul style="list-style-type: none"><li>– Prozessfläche</li><li>– Wirkungshöhe (Fließ- inkl. Stauhöhe)</li><li>– Hydrodynamischer Druck</li><li>– Anprallwinkel</li><li>– Auflast Feststoffablagerung</li></ul>
Spider-Diagramm			
Detailbeurteilung Zuverlässigkeit	Anordnung im Prozessraum <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<ul style="list-style-type: none"><li><input type="checkbox"/> Korrekte und wirksame Anordnung des Werkes im Gelände (Prozessfläche, Relief)</li><li><input type="checkbox"/> Ausreichende Überlappung / Abdeckung der Prozessräume resp. mit dem zu schützenden Objekt</li><li><input type="checkbox"/> Keine ungünstige Topographie bergseitig (Geländerücken)</li></ul>	
	Erhaltungsmanagement <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<ul style="list-style-type: none"><li><input type="checkbox"/> Inventar der Werke vorhanden</li><li><input type="checkbox"/> Situationsplan mit Übersicht der ausgeführten Werke</li><li><input type="checkbox"/> Verantwortliche Institution definiert</li><li><input type="checkbox"/> Zustandsbeurteilung liegt vor</li></ul>	
	Wirkung Umgebung <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<ul style="list-style-type: none"><li><input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen im Fundationsbereich durch Rutschungen, Setzungen und anderweitige erosive Prozesse</li><li><input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen durch andere Prozesse (Hangdruck, Lawinen/Sturz/Wasser, Hangwasser, etc.)</li></ul>	
	Geometrische Anforderungen <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<ul style="list-style-type: none"><li><input type="checkbox"/> Dammlänge ausreichend (inkl. seitliche Überlappung zu Schutzobjekt)</li><li><input type="checkbox"/> Werkhöhe &gt; zu erwartende Wirkungshöhe</li><li><input type="checkbox"/> Bergseitige Böschung &gt; 60°</li><li><input type="checkbox"/> Ausreichendes Auffang-/Retentionsvolumen. Einem dem Material angemessenes Verlandungsgefälle darf berücksichtigt werden.</li><li><input type="checkbox"/> Ausreichendes Gefälle Retentionsraum (Gewährleistung Entwässerung)</li></ul>	
	Aufnahme Einwirkungen	<p><i>Geprüft wird, ob das Bauwerk den Anforderungen aus der aktuellen Prozessbeurteilung entspricht.</i></p> <p><i>Zulässige Annahmen sind:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li><input type="checkbox"/> Werk wurde nachweislich bereits entsprechend belastet (Ereignisdokumentation)</li><li><input type="checkbox"/> Aufnahme Erd- und hydrodynamischer Druck bis OK Damm gem. Angabe Systemlieferant (z.B. bei armierten Dämmen) gegeben</li></ul>	



Beurteilungshilfe		Ablenk- / Auffangdamm spontane Rutschungen
		<input type="checkbox"/> Angaben liegen aus Nutzungsvereinbarungen / Projektbasis / Technischer Bericht / Angaben auf Plänen, etc. vor. <i>erfüllt: Auslegung bekannt, entspricht heutiger Prozessbeurteilung</i> <i>teilweise erfüllt: Auslegung erfüllt Anforderungen teilweise; Quantifizierung Wirkung ist prozessspezifisch und erfolgt gutachtlich</i> <i>unbekannt: Auslegung nicht feststellbar oder nicht auf aktuelle Prozesseinwirkungen ausgelegt</i>
	Zustandsklasse	<i>Bewertung Zustandsklasse nach SIA D0240 kann aus Werkinspektionsblatt entnommen werden (vgl. Kriterien Erhaltungsmanagement)</i> <input type="checkbox"/> Schadenstufe 1 – 2 (gut – annehmbar) oder Vergabe Instandstellungsarbeiten erfolgt <input type="checkbox"/> Schadenstufe 3 (schadhaft) <input type="checkbox"/> Schadenstufe 4 – 5 (schlecht – alarmierend)

B2 – Auffangnetz spontane Rutschung

Beurteilungshilfe		Auffangnetz spontane Rutschungen
Prozessparameter	Für die Beurteilung der oben aufgeführten Werkart müssen folgende Prozessparameter bekannt sein:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Prozessfläche</li> <li>– Wirkungshöhe (Fließ- inkl. Stauhöhe)</li> <li>– Hydrodynamischer Druck</li> <li>– Anprallwinkel</li> <li>– Auflast Feststoffablagerungen</li> <li>– Anprall von Einzelkomponenten</li> </ul>
Spider-Diagramm	<div style="text-align: center;"> </div>	
Detailbeurteilung Zuverlässigkeit	Anordnung im Prozessraum <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Korrekte und wirksame Anordnung des Werkes im Gelände (Prozessfläche, Relief) <input type="checkbox"/> Ausreichende Überlappung / Abdeckung der Prozessräume resp. mit dem zu schützenden Objekt <input type="checkbox"/> Keine ungünstige Topographie bergseitig (Geländerücken)
	Erhaltungsmanagement <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Inventar der Werke vorhanden <input type="checkbox"/> Situationsplan mit Übersicht der ausgeführten Werke <input type="checkbox"/> Verantwortliche Institution definiert <input type="checkbox"/> Zustandsbeurteilung liegt vor
	Wirkung Umgebung <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen im Fundationsbereich durch Rutschungen, Setzungen und anderweitige erosive Prozesse <input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen durch andere Prozesse (Hangdruck, Lawinen/Sturz/Wasser, Hangwasser, etc.)
	Geometrische Anforderungen <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Werkhöhe > Wirkungshöhe <input type="checkbox"/> Netzebene optimal zu Anprallwinkel <input type="checkbox"/> Ausreichendes Auffang-/Retentionsvolumen. Einem dem Material angemessenes Verlandungsgefälle darf berücksichtigt werden <input type="checkbox"/> Auslenkung ausreichend, so dass Lichtraumprofil nicht tangiert <input type="checkbox"/> Ausreichende seitliche Überlappung (zwischen mehreren Netzreihen und/oder zu Schutzobjekt) <input type="checkbox"/> Ausreichende Abdeckung zwischen Terrain und Schutznetz-Unterkante (z.B. in Runsen)
	Aufnahme Einwirkungen	<p><i>Geprüft wird, ob das Bauwerk den Anforderungen aus der aktuellen Prozessbeurteilung entspricht.</i></p> <p><i>Zulässige Annahmen sind:</i></p> <input type="checkbox"/> Werk wurde nachweislich bereits entsprechend belastet (Ereignisdokumentation)

Beurteilungshilfe		Auffangnetz spontane Rutschungen
		<input type="checkbox"/> zertifiziertes/anerkanntes Werk oder Auslegung aufgrund Werkstyp eindeutig erkennbar <input type="checkbox"/> Angaben liegen aus Nutzungsvereinbarungen / Projektbasis / Technischer Bericht / Angaben auf Plänen, etc. vor. <i>erfüllt: Auslegung bekannt, entspricht heutiger Prozessbeurteilung</i> <i>teilweise erfüllt: Auslegung erfüllt Anforderungen teilweise; Quantifizierung Wirkung ist prozessspezifisch und erfolgt gutachtlich</i> <i>unbekannt: Auslegung nicht feststellbar oder nicht auf aktuelle Prozesseinwirkungen ausgelegt</i>
	Zustandsklasse	<i>Bewertung Zustandsklasse nach SIA D0240 kann aus Werkinspektionsblatt entnommen werden (vgl. Kriterien Erhaltungsmanagement)</i> <input type="checkbox"/> Schadenstufe 1 – 2 (gut – annehmbar) oder Vergabe Instandstellungsarbeiten erfolgt <input type="checkbox"/> Schadenstufe 3 (schadhaft) <input type="checkbox"/> Schadenstufe 4 – 5 (schlecht – alarmierend)

## B3 – Entwässerung (inkl. Drainagestollen / -brunnen)

Beurteilungshilfe		Entwässerung (inkl. Drainagestollen / -brunnen)	
Prozessparameter	<p>Für die Beurteilung der oben aufgeführten Werkart müssen folgende Prozessparameter bekannt sein:</p> <p>(vgl. auch BAFU (2010): Rutschungen: Hydrogeologie und Sanierungsmethoden durch Drainage. Leitfaden. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1023: 128 S.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Menge Wasserzufluss (Schicht-/Kluft-/Hangwasser)</li> <li>– Tiefenlage Wasserzufluss (Schicht-/Kluft-/Hangwasser)</li> </ul>	
Spider-Diagramm			
Detailbeurteilung Zuverlässigkeit	Anordnung im Prozessraum <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Korrekte und wirksame Anordnung der Entwässerungsmassnahme im Untergrund (lateral und vertikal) <input type="checkbox"/> Ausreichende Überlappung / Abdeckung der Prozessräume	
	Erhaltungsmanagement <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Inventar der Werke vorhanden <input type="checkbox"/> Situationsplan mit Übersicht der ausgeführten Werke <input type="checkbox"/> Verantwortliche Institution definiert <input type="checkbox"/> Zustandsbeurteilung liegt vor	
	Wirkung Umgebung <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen im Bereich der Entwässerungsmassnahme <input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen durch andere Prozesse (Hangdruck, anthropogene Einwirkungen, etc.)	
	Geometrische Anforderungen	<input type="checkbox"/> Ausreichende hydraulische Kapazität der Drainagen, ausreichende Vorflut vorhanden	
	Aufnahme Einwirkungen	<p><i>Geprüft wird, ob das Bauwerk den Anforderungen aus der aktuellen Prozessbeurteilung entspricht.</i></p> <p><i>Zulässige Annahmen sind:</i></p> <input type="checkbox"/> Werk hat quantifizierbaren Einfluss auf die Rutschprozesse (Ereignisdokumentation, Vermessungsdaten, Hangwasserspiegelmessungen, Porenwasserdruckmessungen, etc.) <i>erfüllt:</i> Auslegung bekannt, entspricht heutiger Prozessbeurteilung <i>teilweise erfüllt:</i> Auslegung erfüllt Anforderungen teilweise; Quantifizierung Wirkung ist prozessspezifisch und erfolgt gutachtlich <i>unbekannt:</i> Auslegung nicht feststellbar oder nicht auf aktuelle Prozesseinwirkungen ausgelegt	
	Zustandsklasse	<p><i>Bewertung Zustandsklasse nach SIA D0240 kann aus Werkinspektionsblatt entnommen werden (vgl. Kriterien Erhaltungsmanagement)</i></p> <input type="checkbox"/> Schadenstufe 1 – 2 (gut – annehmbar) oder Vergabe Instandstellungsarbeiten erfolgt <input type="checkbox"/> Schadenstufe 3 (schadhaft) <input type="checkbox"/> Schadenstufe 4 – 5 (schlecht – alarmierend)	

## C – PROZESS STURZ

### C1 – Steinschlagschutznetz

Beurteilungshilfe		Steinschlagschutznetz
Prozess- parameter	Für die Beurteilung der oben aufgeführten Werkart müssen folgende Prozessparameter bekannt sein:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verlauf Sturztrajektorien (Prozessfläche)</li> <li>– Sprunghöhen</li> <li>– Sturzenergien</li> <li>– massgebender Einschlagwinkel am Massenschwerpunkt</li> </ul>
Spider-Diagramm	<div style="text-align: center;"> <p>Das Spider-Diagramm ist ein hexagonales Diagramm, das die Beurteilung des Steinschlagschutznetzes darstellt. Es besteht aus sechs Hauptachsen, die von einem zentralen Punkt ausgehen. Jede Achse ist in drei Segmente unterteilt: 'erfüllt' (grün), 'teilweise erfüllt' (grau) und 'nicht erfüllt' (orange). Die Zustandsklasse ist in der Mitte des Diagramms angegeben: 'negativ' (orange), 'neutral' (grau) und 'positiv' (grün). Die Achsen sind wie folgt beschriftet: 'Anordnung im Prozessraum', 'Erhaltungsmanagement', 'Wirkung Umgebung', 'Geometrische Anforderungen', 'Aufnahme Einwirkungen' und 'Zustandsklasse'.</p> </div>	
Detailbeurteilung Zuverlässigkeit	Anordnung im Prozessraum <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Korrekte und wirksame Anordnung des Werkes im Gelände (Sturzbahnen, Relief) <input type="checkbox"/> Ausreichende Überlappung / Abdeckung der Prozessräume <input type="checkbox"/> Keine ungünstige Topographie bergseitig (Sprungschanze, Geländerücken)
	Erhaltungsmanagement <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Inventar der Werke vorhanden <input type="checkbox"/> Situationsplan mit Übersicht der ausgeführten Werke <input type="checkbox"/> Verantwortliche Institution definiert <input type="checkbox"/> Zustandsbeurteilung liegt vor
	Wirkung Umgebung <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen durch Rutschungen und anderweitige erosive Prozesse <input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen durch andere Prozesse (Hangdruck, Lawinen/Rutsch/Wasser, etc.)
	Geometrische Anforderungen <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Werkhöhe > zu erwartende Sprunghöhe am Massenschwerpunkt <input type="checkbox"/> Netzebene in optimalem Winkel zu Sturzbahn <input type="checkbox"/> Ausreichendes Freibord / kein Überrollen <input type="checkbox"/> ausreichende Abdeckung zwischen Terrain und Schutznetz-Unterkante (z.B. in Runsen) <input type="checkbox"/> Auslenkung ausreichend, so dass Lichtraumprofil nicht tangiert <input type="checkbox"/> ausreichende seitliche Überlappung (zwischen mehreren Netzreihen und/oder zu Schutzobjekt)
	Aufnahme Einwirkungen	<p><i>Geprüft wird, ob das Bauwerk den Anforderungen aus der aktuellen Prozessbeurteilung entspricht.</i></p> <p><i>Zulässige Annahmen sind:</i></p> <input type="checkbox"/> Werk wurde nachweislich bereits entsprechend belastet (Ereignisdokumentation)

Beurteilungshilfe		Steinschlagschutznetz
		<input type="checkbox"/> zertifiziertes/anerkanntes Werk oder Auslegung aufgrund Werkstyp eindeutig erkennbar <input type="checkbox"/> Angaben liegen aus Nutzungsvereinbarungen / Projektbasis / Technischer Bericht / Angaben auf Plänen, etc. vor <i>erfüllt: Auslegung bekannt, entspricht heutiger Prozessbeurteilung</i> <i>teilweise erfüllt: Auslegung erfüllt Anforderungen teilweise; Quantifizierung Wirkung ist prozessspezifisch und erfolgt gutachtlich</i> <i>unbekannt: Auslegung nicht feststellbar oder nicht auf aktuelle Prozesseinwirkungen ausgelegt</i>
	Zustandsklasse	<i>Bewertung Zustandsklasse nach SIA D0240 kann aus Werkinspektionsblatt entnommen werden (vgl. Kriterien Erhaltungsmanagement)</i> <input type="checkbox"/> Schadenstufe 1 – 2 (gut – annehmbar) oder Vergabe Instandstellungsarbeiten erfolgt <input type="checkbox"/> Schadenstufe 3 (schadhaft) <input type="checkbox"/> Schadenstufe 4 – 5 (schlecht – alarmierend)

## C2 – Steinschlagschutzdamm

Beurteilungshilfe		Steinschlagschutzdamm
Prozessparameter	Für die Beurteilung der oben aufgeführten Werkart müssen folgende Prozessparameter bekannt sein:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verlauf Sturztrajektorien (Prozessfläche)</li> <li>– Sprunghöhen</li> <li>– Sturzenergien</li> <li>– massgebender Einschlagwinkel am Massenschwerpunkt</li> </ul>
Spider-Diagramm	<p>Das Spider-Diagramm zeigt die Beurteilung des Steinschlagschutzdamms basierend auf sechs Kriterien. Die Zustandsklasse ist in fünf Stufen unterteilt: 1 (grün, erfüllt), 2 (grün, erfüllt), 3 (grün, teilweise erfüllt), 4 (grün, teilweise erfüllt), 5 (gelb, nicht erfüllt). Die Wirkung Umgebung ist in neutral und negativ unterteilt.</p>	
Detailbeurteilung Zuverlässigkeit	Anordnung im Prozessraum <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Korrekte und wirksame Anordnung des Werkes im Gelände (Sturzbahnen, Relief) <input type="checkbox"/> Ausreichende Überlappung / Abdeckung der Prozessräume <input type="checkbox"/> Keine ungünstige Topographie bergseitig (Sprungschanze, Geländerücken)
	Erhaltungsmanagement <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Inventar der Werke vorhanden <input type="checkbox"/> Situationsplan mit Übersicht der ausgeführten Werke <input type="checkbox"/> Verantwortliche Institution definiert <input type="checkbox"/> Zustandsbeurteilung liegt vor
	Wirkung Umgebung <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen im Fundationsbereich durch Rutschungen, Setzungen und anderweitige erosive Prozesse <input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen durch andere Prozesse (Hangdruck, Lawinen/Rutsch/Wasser, Hangwasser etc.)
	Geometrische Anforderungen <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Dammlänge ausreichend (inkl. seitliche Überlappung zu Schutzobjekt) <input type="checkbox"/> Werkhöhe > zu erwartende Sprunghöhe am Massenschwerpunkt <input type="checkbox"/> Bergseitige Böschung > 60° <input type="checkbox"/> Ausreichendes Freibord (z.B. mind. 1 m oder ½ Länge der grössten Blockachse) <input type="checkbox"/> ausreichender Fallboden <input type="checkbox"/> ausreichendes Auffangvolumen
	Aufnahme Einwirkungen	<p><i>Geprüft wird, ob das Bauwerk den Anforderungen aus der aktuellen Prozessbeurteilung entspricht.</i></p> <p><i>Zulässige Annahmen sind:</i></p> <input type="checkbox"/> Werk wurde nachweislich bereits entsprechend belastet (Ereignisdokumentation) <input type="checkbox"/> Energieaufnahme (bezgl. Dammstärke) gem. Angabe Systemlieferant (z.B. bei armierten Dämmen) gegeben

Beurteilungshilfe		Steinschlagschutzdamm
		<input type="checkbox"/> Angaben liegen aus Nutzungsvereinbarungen / Projektbasis / Technischer Bericht / Angaben auf Plänen, etc. vor. <i>erfüllt: Auslegung bekannt, entspricht heutiger Prozessbeurteilung</i> <i>teilweise erfüllt: Auslegung erfüllt Anforderungen teilweise; Quantifizierung Wirkung ist prozessspezifisch und erfolgt gutachtlich</i> <i>unbekannt: Auslegung nicht feststellbar oder nicht auf aktuelle Prozesseinwirkungen ausgelegt</i>
	Zustandsklasse	<i>Bewertung Zustandsklasse nach SIA D0240 kann aus Werkinspektionsblatt entnommen werden (vgl. Kriterien Erhaltungsmanagement)</i> <input type="checkbox"/> Schadenstufe 1 – 2 (gut – annehmbar) oder Vergabe Instandstellungsarbeiten erfolgt <input type="checkbox"/> Schadenstufe 3 (schadhaft) <input type="checkbox"/> Schadenstufe 4 – 5 (schlecht – alarmierend)



## C3 – Netzabdeckung

Beurteilungshilfe		Netzabdeckung
Prozess- parameter	Für die Beurteilung der oben aufgeführten Werkart müssen folgende Prozessparameter bekannt sein:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Volumen massgebende(r) Kluftkörper</li> <li>– Lage/Verlauf massgebender Kluftflächen</li> </ul>
Spider-Diagramm	<div style="text-align: center;"> </div>	
Detailbeurteilung Zuverlässigkeit	Anordnung im Prozessraum <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Korrekte und wirksame Anordnung des Werkes im Gelände resp. in der Felswand <input type="checkbox"/> Ausreichende Überlappung mit stabilen Bereichen
	Erhaltungsmanagement <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Inventar der Werke vorhanden <input type="checkbox"/> Situationsplan mit Übersicht der ausgeführten Werke <input type="checkbox"/> Verantwortliche Institution definiert <input type="checkbox"/> Zustandsbeurteilung liegt vor
	Wirkung Umgebung <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen im Verankerungsbereich durch Rutschungen, Setzungen und anderweitige erosive Prozesse <input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen durch andere Prozesse im Verankerungsbereich und/oder der Netzabdeckung (Hangdruck, Hangwasser, ggf. Eis etc.)
	Geometrische Anforderungen	<input type="checkbox"/> Ausreichende Überlappung der Netzabdeckung mit Kluftkörper resp. abzudeckenden Bereichen
	Aufnahme Einwirkungen	<p><i>Geprüft wird, ob das Bauwerk den Anforderungen aus der aktuellen Prozessbeurteilung entspricht.</i></p> <p><i>Zulässige Annahmen sind:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Werk wurde nachweislich bereits belastet (Ereignisdokumentation)</li> <li><input type="checkbox"/> Angaben liegen aus Nutzungsvereinbarungen / Projektbasis / Technischer Bericht / Angaben auf Plänen, etc. vor.</li> </ul> <p><i>erfüllt:</i> Auslegung bekannt, entspricht heutiger Prozessbeurteilung</p> <p><i>teilweise erfüllt:</i> Auslegung erfüllt Anforderungen teilweise; Quantifizierung Wirkung ist prozessspezifisch und erfolgt gutachtlich</p> <p><i>unbekannt:</i> Auslegung nicht feststellbar oder nicht auf aktuelle Prozesseinwirkungen ausgelegt</p>
	Zustandsklasse	<p><i>Bewertung Zustandsklasse nach SIA D0240 kann aus Werkinspektionsblatt entnommen werden (vgl. Kriterien Erhaltungsmanagement)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Schadenstufe 1 – 2 (gut – annehmbar) oder Vergabe Instandstellungsarbeiten erfolgt</li> <li><input type="checkbox"/> Schadenstufe 3 (schadhaft)</li> <li><input type="checkbox"/> Schadenstufe 4 – 5 (schlecht – alarmierend)</li> </ul>

## D – PROZESS LAWINE

## D1 – Stützwerk Lawine

Beurteilungshilfe		Stützwerk Lawinen
Prozess- paramete	Für die Beurteilung der oben aufgeführten Werkart müssen folgende Prozessparameter bekannt sein:	– Schneehöhen, zu akzeptierende Schneehöhe Oberlawine
Spider-Diagramm	<p style="text-align: center;"> <b>Anordnung im Prozessraum</b>                      <b>Erhaltungsmanagement</b> </p> <p style="text-align: center;"> <b>Zustandsklasse</b>      1   2   3   4   5      <b>Wirkung Umgebung</b> </p> <p style="text-align: center;"> <b>Aufnahme Einwirkungen</b>                      <b>Geometrische Anforderungen</b> </p>	
Detailbeurteilung Zuverlässigkeit	Anordnung im Prozessraum <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Korrekte und wirksame Anordnung der Werksgruppe und der Einzelwerke im Gelände gem. Richtlinie Anrissverbau BAFU 2007 (Geländekammern, Relief). <input type="checkbox"/> Ausreichende Überlappung / Abdeckung der Prozessräume
	Erhaltungsmanagement <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Inventar der Werke vorhanden <input type="checkbox"/> Situationsplan mit Übersicht der ausgeführten Werke <input type="checkbox"/> Verantwortliche Institution definiert <input type="checkbox"/> Zustandsbeurteilung liegt vor
	Wirkung Umgebung <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen im Fundationsbereich (z.B. keine Rutschungen, erosive Prozesse, Mureltierlöcher etc.) <input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen durch andere Prozesse (Hangdruck, Sturz/Rutsch/Wasser, Schneegleiten etc.) und Ereignisse (Wurzelstrünke, Totholz etc.)
	Geometrische Anforderungen	<input type="checkbox"/> Werkhöhe gem. technische Richtlinie BAFU 2007 und Geometrie gem. Werknormalie
	Aufnahme Einwirkungen	<p><i>Geprüft wird, ob das Bauwerk den Anforderungen aus der aktuellen Prozessbeurteilung entspricht.</i></p> <p><i>Zulässige Annahmen sind:</i></p> <input type="checkbox"/> Werk wurde nachweislich bereits entsprechend belastet (Ereignisdokumentation oder Schneehöhenmessung) <input type="checkbox"/> Aufnahme der Einwirkungen bis Schneehöhe = OK Werk ist zulässig (Überschneien nicht massgebend) <input type="checkbox"/> Angaben liegen aus Nutzungsvereinbarungen / Projektbasis / Technischer Bericht / Angaben auf Plänen, etc. vor.
		<p><i>erfüllt: Auslegung bekannt, entspricht heutiger Prozessbeurteilung</i></p> <p><i>teilweise erfüllt: Auslegung erfüllt Anforderungen teilweise; Quantifizierung Wirkung ist prozessspezifisch und erfolgt gutachtlich</i></p>

Beurteilungshilfe		Stützwerk Lawinen
		<i>unbekannt: Auslegung nicht feststellbar oder nicht auf aktuelle Prozesseinwirkungen ausgelegt</i>
	Zustandsklasse	<i>Bewertung Zustandsklasse nach SIA D0240 kann aus Werkinspektionsblatt entnommen werden (vgl. Kriterien Erhaltungsmanagement)</i> <input type="checkbox"/> Schadenstufe 1 – 2 (gut – annehmbar) oder Vergabe Instandstellungsarbeiten erfolgt <input type="checkbox"/> Schadenstufe 3 (schadhaft) <input type="checkbox"/> Schadenstufe 4 – 5 (schlecht – alarmierend)

## D2 – Schneenetzt

Beurteilungshilfe		Schneenetzt
Prozess- parameter	Für die Beurteilung der oben aufgeführten Werkart müssen folgende Prozessparameter bekannt sein:	– extreme Schneehöhe am Werkstandort ( $H_{ext}$ ) (gem. BAFU-Richtlinie Anrissverbau 04/07), max. Schneehöhe der Oberlawine
Spider-Diagramm	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Anordnung im Prozessraum</p> <p>Zustandsklasse</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Erhaltungsmanagement</p> <p>Wirkung Umgebung</p> <p>Geometrische Anforderungen</p> <p>Aufnahme Einwirkungen</p> </div> </div>	
Detailbeurteilung Zuverlässigkeit	Anordnung im Prozessraum <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Korrekte Ausdehnung und Anordnung der Stützverbauung (Gem. BAFU- Richtlinie 04/07) unter Berücksichtigung des Geländes (Geländekammern, Relief) <input type="checkbox"/> Korrekte hangparallele Werkabstände in der Falllinie (Gem. BAFU- Richtlinie 04/07)
	Erhaltungsmanagement <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Inventar der Werke vorhanden <input type="checkbox"/> Situationsplan mit Übersicht der ausgeführten Werke <input type="checkbox"/> Verantwortliche Institution definiert <input type="checkbox"/> Zustandsbeurteilung liegt vor
	Wirkung Umgebung <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen im Fundationsbereich (z.B. keine Rutschungen, erosive Prozesse, Murmeltierlöcher etc.) <input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen durch andere Prozesse (Hangdruck, Sturz/Rutsch/Wasser, Schneegleiten etc.) und Ereignisse (Wurzelstrünke, Totholz etc.)
	Geometrische Anforderungen <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Werkhöhe $D_k$ gemäss BAFU- Richtlinie für Anrissverbau 04/07 <input type="checkbox"/> Werkgeometrie gemäss Normalie des Werklieferanten
	Aufnahme Einwirkungen	<p><i>Geprüft wird, ob das Bauwerk den Anforderungen aus der aktuellen Prozessbeurteilung entspricht.</i></p> <p><i>Zulässige Annahmen sind:</i></p> <input type="checkbox"/> Werk wurde nachweislich bereits entsprechend belastet (Ereignisdokumentation oder Schneehöhenmessung) <input type="checkbox"/> Aufnahme der Einwirkungen bis Schneehöhe = OK Werk ist zulässig (Überschneien nicht massgebend) <input type="checkbox"/> Beurteilung nach Netztyp / -klasse <input type="checkbox"/> Angaben liegen aus Nutzungsvereinbarungen / Projektbasis / Technischer Bericht / Angaben auf Plänen, etc. vor.
		<p><i>erfüllt: Auslegung bekannt, entspricht heutiger Prozessbeurteilung</i></p> <p><i>teilweise erfüllt: Auslegung erfüllt Anforderungen teilweise; Quantifizierung Wirkung ist prozessspezifisch und erfolgt gutachtlich</i></p>

Beurteilungshilfe		Schneenetz
		<i>unbekannt: Auslegung nicht feststellbar oder nicht auf aktuelle Prozesseinwirkungen ausgelegt</i>
	Zustandsklasse	<i>Bewertung Zustandsklasse nach SIA D0240 kann aus Werkinspektionsblatt entnommen werden (vgl. Kriterien Erhaltungsmanagement)</i> <input type="checkbox"/> Schadenstufe 1 – 2 (gut – annehmbar) oder Vergabe Instandstellungsarbeiten erfolgt <input type="checkbox"/> Schadenstufe 3 (schadhaft) <input type="checkbox"/> Schadenstufe 4 – 5 (schlecht – alarmierend)

## D3 – Leitwerk

Beurteilungshilfe		Schneenetz
Prozess- paramete	Für die Beurteilung der oben aufgeführten Werkart müssen folgende Prozessparameter bekannt sein:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Prozessfläche</li> <li>– Wirkungshöhe (Fließ- inkl. Stauhöhe)</li> </ul>
Spider-Diagramm	<div style="text-align: center;"> </div>	
Detailbeurteilung Zuverlässigkeit	Anordnung im Prozessraum <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Korrekte und wirksame Anordnung des Leitwerkes in der Sturzbahn (Prozessfläche, Relief)
	Erhaltungsmanagement <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Inventar der Werke vorhanden <input type="checkbox"/> Situationsplan mit Übersicht der ausgeführten Werke <input type="checkbox"/> Verantwortliche Institution definiert <input type="checkbox"/> Zustandsbeurteilung liegt vor
	Wirkung Umgebung <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen im Fundationsbereich des Leitwerkes durch Rutschungen, Setzungen und anderweitige erosive Prozesse <input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen durch andere Prozesse (Hangdruck, Sturz/Rutsch/Wasser, Hangwasser etc.)
	Geometrische Anforderungen <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Dammlänge ausreichend (inkl. seitliche Überlappung zu Schutzobjekt) <input type="checkbox"/> Werkhöhe > zu erwartende Wirkungshöhe <input type="checkbox"/> Sturzbahnseitige Böschung > 60° <input type="checkbox"/> Ausreichendes Freibord (auch mit abgelagertem Lawinenschnee)
	Aufnahme Einwirkungen	<p><i>Geprüft wird, ob das Bauwerk den Anforderungen aus der aktuellen Prozessbeurteilung entspricht.</i></p> <p><i>Zulässige Annahmen sind:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Werk wurde nachweislich bereits entsprechend belastet (Ereignisdokumentation)</li> <li><input type="checkbox"/> Aufnahme der Einwirkungen (Fließanteil Lawine) = OK Werk ist zulässig</li> <li><input type="checkbox"/> Angaben liegen aus Nutzungsvereinbarungen / Projektbasis / Technischer Bericht / Angaben auf Plänen, etc. vor.</li> </ul> <p><i>erfüllt:</i> Auslegung bekannt, entspricht heutiger Prozessbeurteilung</p> <p><i>teilweise erfüllt:</i> Auslegung erfüllt Anforderungen teilweise; Quantifizierung Wirkung ist prozessspezifisch und erfolgt gutachtlich</p> <p><i>unbekannt:</i> Auslegung nicht feststellbar oder nicht auf aktuelle Prozesseinwirkungen ausgelegt</p>

Beurteilungshilfe		Schneenetz
	Zustandsklasse	<p><i>Bewertung Zustandsklasse nach SIA D0240 kann aus Werkinspektionsblatt entnommen werden (vgl. Kriterien Erhaltungsmanagement)</i></p> <p><input type="checkbox"/> Schadenstufe 1 – 2 (gut – annehmbar) oder Vergabe Instandstellungsarbeiten erfolgt</p> <p><input type="checkbox"/> Schadenstufe 3 (schadhaft)</p> <p><input type="checkbox"/> Schadenstufe 4 – 5 (schlecht – alarmierend)</p>

## D4 – Auffangdamm

Beurteilungshilfe		Auffangdamm
Prozessparameter	Für die Beurteilung der oben aufgeführten Werkart müssen folgende Prozessparameter bekannt sein:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Prozessfläche</li> <li>– Wirkungshöhe (Stauhöhe)</li> <li>– Lawinendruck (Fließanteil)</li> <li>– Anprall von Einzelkomponenten (Holz, Steine)</li> </ul>
Spider-Diagramm		
Detailbeurteilung Zuverlässigkeit	Anordnung im Prozessraum <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Korrekte und wirksame Anordnung des Auffangwerks in der Sturzbahn resp. im Auslaufbereich der Lawine (Prozessfläche, Relief)
	Erhaltungsmanagement <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Inventar der Werke vorhanden <input type="checkbox"/> Situationsplan mit Übersicht der ausgeführten Werke <input type="checkbox"/> Verantwortliche Institution definiert <input type="checkbox"/> Zustandsbeurteilung liegt vor
	Wirkung Umgebung <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen im Fundationsbereich des Leitwerks durch Rutschungen, Setzungen und anderweitige erosive Prozesse <input type="checkbox"/> Keine Einwirkungen durch andere Prozesse (Hangdruck, Rutsch/Sturz/Wasser, Hangwasser, etc.)
	Geometrische Anforderungen <i>Bestnote nur bei kumulativer Erfüllung</i>	<input type="checkbox"/> Dammlänge ausreichend (inkl. seitliche Überlappung zu Schutzobjekt) <input type="checkbox"/> Werkhöhe > zu erwartende Wirkungshöhe <input type="checkbox"/> Sturzbahnseitige Böschung > 60° <input type="checkbox"/> Ausreichendes Freibord (auch mit abgelagertem Lawinenschnee) <input type="checkbox"/> Ausreichendes Auffang-/Retentionsvolumen <input type="checkbox"/> leichtes Gefälle Retentionsraum (Gewährleistung Entwässerung)
	Aufnahme Einwirkungen	<p><i>Geprüft wird, ob das Bauwerk den Anforderungen aus der aktuellen Prozessbeurteilung entspricht.</i></p> <p><i>Zulässige Annahmen sind:</i></p> <input type="checkbox"/> Werk wurde nachweislich bereits entsprechend belastet (Ereignisdokumentation) <input type="checkbox"/> Aufnahme der Einwirkungen (Fließanteil Lawine) = OK Werk ist zulässig <input type="checkbox"/> Angaben liegen aus Nutzungsvereinbarungen / Projektbasis / Technischer Bericht / Angaben auf Plänen, etc. vor.
		<p><i>erfüllt: Auslegung bekannt, entspricht heutiger Prozessbeurteilung</i></p> <p><i>teilweise erfüllt: Auslegung erfüllt Anforderungen teilweise; Quantifizierung Wirkung ist prozessspezifisch und erfolgt gutachtlich</i></p>



Beurteilungshilfe		Auffangdamm
		<i>unbekannt: Auslegung nicht feststellbar oder nicht auf aktuelle Prozesseinwirkungen ausgelegt</i>
	Zustandsklasse	<i>Bewertung Zustandsklasse nach SIA D0240 kann aus Werkinspektionsblatt entnommen werden (vgl. Kriterien Erhaltungsmanagement)</i> <input type="checkbox"/> Schadenstufe 1 – 2 (gut – annehmbar) oder Vergabe Instandstellungsarbeiten erfolgt <input type="checkbox"/> Schadenstufe 3 (schadhaft) <input type="checkbox"/> Schadenstufe 4 – 5 (schlecht – alarmierend)

## 1.2 – Bemessung und Überprüfung von Bauwerken

### Nutzungsanforderungen und Bemessung von Bauwerken

Die Anforderungen an ein Bauwerk ergeben sich aus der Funktion, die es erfüllen muss. Die Bestimmung der *Nutzungsanforderungen* und deren Umsetzung durch Bemessung und konstruktive Durchbildung eines Bauwerkes sind in den SIA-Normen Nr. 260 bis Nr. 267 [12] geregelt. Diese gelten für neue Bauwerke.

Die Nutzungsanforderungen werden gemäss SIA 260 [12] in einer Nutzungsvereinbarung (NV) geregelt. Sie wird vom Bauherrn und vom Planer unterzeichnet und beschreibt, auf was das Bauwerk ausgelegt wird, also was es 'können' muss. Diese konkreten Anforderungen umfassen sowohl **geometrische Grössen** (Lage und Abmessungen, z.B. Fahrbahnbreite, lichte Höhe) wie auch die geplanten Nutzungszustände. Letztere beschreiben die Lastfälle, welche vom Tragwerksingenieur in konkrete **Einwirkungen** auf das Bauwerk wie Kräfte, Momente oder Energien umgesetzt werden. Ebenfalls definiert werden auf dieser Stufe die **chemischen und physikalischen Begleitumstände** während der Nutzung (Frost, Nässe, Säuren, etc.).

Dazu kommen Anforderungen an die **Dauerhaftigkeit** und die **Gebrauchstauglichkeit**. Die Dauerhaftigkeit ist abhängig vom gewählten Material, der konstruktiven Durchbildung und der Ermüdungsfestigkeit. Sie wirkt sich auf die mögliche Nutzungsdauer, resp. den zeitlichen Abstand von Instandsetzungsmassnahmen aus, die der Werkeigentümer ergreifen muss. Der Begriff der **Dauerhaftigkeit** bezieht sich also auf das Design von Neubauten und ist kein Merkmal dafür, wie lange das Bauwerk (noch) in Betrieb gehalten wird. Der Begriff kommt daher in PROTECTpraxis nicht vor.

Die **Gebrauchstauglichkeit** umfasst die Punkte **Funktionstüchtigkeit** (meist von beweglichen Teilen), **Komfort** (z.B. Durchbiegung bei Brücken) und **Aussehen**. Die Gebrauchstauglichkeit bezieht sich immer auf das **Bauwerksverhalten** (z.B. zulässige Verformungen oder Risse unter der Gebrauchslast) und sollte nicht mit Fragen des betrieblichen Unterhaltes (z.B. voller Geschiebesammler) verwechselt werden. Sie hat im Schutzbau eine stark untergeordnete Bedeutung; eine Ausnahme ist z.B. der Nachweis der maximalen Auslenkung von Schutznetzen unter Gebrauchslast neben einer Strasse. Im Rahmen von PROTECTpraxis spielt sie daher keine Rolle.

### Umgang mit bestehenden Bauwerken

Ein bestehendes Bauwerk ist in der Norm SIA 269 [22] definiert als 'das Tragwerk eines ausgeführten und abgenommenen Bauwerkes'. Dies ist daher von Bedeutung, als davon ausgegangen werden darf, dass es bei der **Abnahme** mängelfrei war. Die Abnahme kann dabei durch Inbetriebnahme auch stillschweigend erfolgt sein. Während der ordentlichen Nutzungsdauer eines Bauwerkes wird daher grundsätzlich davon ausgegangen, dass die **Tragsicherheit** gegeben ist. Weder Hoch- noch Tiefbauten werden ohne konkreten Anlass oder einfach periodisch 'nachgerechnet'.

Bereits die erste schweizerische Tragwerksnorm, die SIA Nr. 112 von 1935 [11], sagte:

*“Auf bestehende Bauten finden die vorliegenden Vorschriften nur Anwendung, wenn aus irgendwelchem Gründen Änderungen an ihnen vorgenommen werden müssen. Hierbei sind neben Art und Zustand der Bauten auch die Güte der Baustoffe und die im Betrieb gemachten Erfahrungen oder aus Belastungsversuchen gewonnenen Ergebnisse zu berücksichtigen.” (Art. 187 Ziff. 3).*

Seit der Normengeneration von 1989 werden bestehende Bauwerke in eigenen Normen geregelt, welche diesen Gedanken konsequent weiterführen.

Für bestehende Bauwerke gelten daher weder die aktuellen Tragwerksnormen Nr. 260 bis 267 [12] - noch diejenigen welche zur Zeit der Erstellung des Werkes galten - sondern eine **eigene Norm**, welche den Besonderheiten der Situation 'bestehendes Bauwerk' Rechnung trägt. Aktuell ist dies die SIA-Norm Nr. 269. Sie hat die 'alte' Nr. 469 nur teilweise abgelöst, womit letztere parallel dazu immer noch gültig ist. In diesen speziellen Normen ist auch geregelt, wie Bauwerke überwacht werden, sowie wann und wie sie überprüft werden müssen (vgl. Kap. 1.3).

Bei der **Überprüfung** bestehender Bauwerke müssen sämtliche statischen und geotechnischen Nachweise erbracht werden, gleich wie für neue Bauwerke. Dabei werden für das bestehende Werk nun Lastfälle definiert, welche den **aktuellen Nutzungsanforderungen** (Einwirkungen) entsprechen.

Ebenfalls werden die Parameter auf der Widerstandsseite aktualisiert, meist auf Basis von Messungen oder Rückrechnung von Verformungen. Die Grössen werden daher auf Bemessungsniveau nun mit dem Index 'act' für 'aktualisiert' bezeichnet. Für die ständigen Lasten gelten reduzierte Sicherheitsbeiwerte. Einwirkungen aus dem Baugrund dürfen ebenfalls mit reduzierten Faktoren angesetzt werden, sofern eine Rückrechnung erfolgt. Die **Sicherheitsreserven** können also gegenüber der Planung von neuen Werken **verkleinert** werden, da sowohl der effektive Tragwiderstand wie auch die Einwirkungen zu diesem Zeitpunkt besser bekannt sind als während der Projektierung des Werkes.

Die **Überprüfung** bestehender Bauwerke bedarf eines konkreten **Auslösers** (s.u.). In den meisten Fällen ist dies eine Änderung der Anforderungen, in der Sprache der Norm also eine 'Nutzungsänderung', z.B. durch schwerere Fahrzeuge oder höhere Sturzenergien. Eine Überprüfung beinhaltet immer einen neuen rechnerischen (deterministischen) Tragsicherheitsnachweis. Sie kann auch in Fällen angeordnet werden, wenn der Tragwiderstand schlicht unbekannt ist.

Als konkrete Auslöser einer Überprüfung nennt die Norm:

(...) *besteht Grund für eine Überprüfung, wenn:*

1. *Bedeutende Schädigungen oder Mängel am Tragwerk festgestellt werden*
2. *Bedeutende Baugrund- oder Tragwerksbewegungen oder – Verformungen aufgetreten sind*
3. *Aussergewöhnliche oder unvorhergesehene Einwirkungen eingetreten sind*
4. *ein Tragwerk nicht oder ungenügend überwacht wurde oder nicht überwacht werden kann*
5. *Aufgrund der Überwachung Zweifel an der Bewertung des Zustandes bestehen*
6. *Eine Untersuchung der Zuverlässigkeit des Tragwerkes angebracht erscheint*
7. *Neue Erkenntnisse über Einwirkungen oder Tragwerkeigenschaften vorliegen.*

(SIA-Norm Nr. 269 [12], Ziff. 6.1.2).

Das Konzept der Normen für den Umgang mit bestehenden Bauten beinhaltet also, dass in aller Regel von einer **ausreichenden Tragsicherheit** ausgegangen werden kann, sofern die Einwirkungen noch der ursprünglichen Auslegung des Werkes entsprechen und kein anderer konkreter Grund für eine Überprüfung vorliegt. Dies gilt uneingeschränkt auch für Schutzbauten. Der Gesetzgeber hat ergänzend dazu die **Werkeigentümerhaftung** geschaffen, welche – ausser der erfolgten Bauabnahme – überhaupt ermöglicht, dass diese Annahme getroffen werden darf. Die Zuweisung der Kausalhaftung an den Eigentümer soll sicherstellen, dass Werke auch tatsächlich baulich und betrieblich unterhalten werden und somit stets **funktionstüchtig und betriebsbereit** sind, bis sie ersetzt werden (Teil I, Kapitel 3.3). Dies geschieht im Rahmen des **Erhaltungsmanagements** (siehe Kap. 1.3).

Der Gutachter darf daher nach den **gesetzlichen Grundlagen** und den **anerkannten Regeln der Baukunde** davon ausgehen, dass bestehende Schutzbauten die Einwirkungen entsprechend ihrer ursprünglichen Auslegung schadlos aufnehmen können, sofern sie überwacht und unterhalten werden<sup>1</sup> und kein anderer Grund für eine Überprüfung vorliegt. **Daher darf er sie für die Gefahrenbeurteilung auch berücksichtigen.**

Dass Bauwerke unterhalten und wenn nötig ersetzt werden, bedeutet auch, dass die Frage der **Restnutzungsdauer** den Gefahrengutachter nicht beschäftigen muss, da der Gesetzgeber diese Verantwortung eindeutig und abschliessend dem Werkeigentümer zuweist.

## 1.3 – Allgemeines zum Erhaltungsmanagement

### Erhaltungsmanagement

Die Notwendigkeit eines Erhaltungsmanagements basiert in erster Linie auf der Haftpflicht des Werkeigentümers. Aber auch die Tragwerksnormen implizieren mit der langfristig ausgelegten Nutzungsdauer der Bauwerke, dass während der Betriebsphase der Schutzbauten Aufwand betrieben werden muss, um Wert und Betriebsbereitschaft der Werke aufrecht zu erhalten. Dass bestehende Bauwerke regelmässig kontrolliert, sowie baulich und betrieblich unterhalten werden, ist wiederum eine Voraussetzung dafür, dass Bauwerke in unserem Alltag als sicher gelten dürfen.

<sup>1</sup> Da in der Praxis einige Schutzbauten aufgrund ihrer Lage und seltenen Belastung in der Vergangenheit faktisch manchmal schlecht unterhalten wurden, ist in PROTECTpraxis der Nachweis eines minimalen Erhaltungsmanagements vorgesehen, damit alle oben genannten Voraussetzungen für die Berücksichtigung des Werkes erfüllt sind.

Der Begriff des Erhaltungsmanagements ist konkret in der Norm SN 640 900a [17] geregelt (Abb. 1). Angewandt auf Schutzbauten gegen Naturgefahrenprozesse beinhaltet das Erhaltungsmanagement alle Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Überwachung, dem betrieblichen („projektfreien“) Unterhalt und dem baulichen Unterhalt an Schutzbauten. Weiter gehören auch Veränderungen von bestehenden Schutzbauten dazu. Es dient der Betriebsbereitschaft und stellt sicher, dass Ereignisse bis hin zum Bemessungsereignis schadlos aufgenommen, zurückgehalten oder abgelenkt werden können.

Die regelmässige Beobachtung beinhaltet z.B. jährliche Kontrollgänge - auch vom Gegenhang- oder gezielte Kontrollen nach Ereignissen. Periodisch werden Inspektionen angeordnet. Bei diesen werden die Bauwerke einzeln und vertieft angeschaut. Inspektionen beschränken sich dabei meist auf visuelle Beurteilung der zugänglichen (oberirdischen und luftseitigen) Bauteile. Je nach Bauwerk werden ausserdem bei Bedarf Kontrollmessungen angeordnet, wenn nicht sichtbare Bauteile für die Tragsicherheit entscheidend sind (z.B. elektrische Widerstands-Messung von Ankern).

**Abb. 1: Elemente des Erhaltungsmanagements gemäss SN 640 900A [17]**

Überwachung <i>Surveillance</i>	Betrieblicher Unterhalt <i>Entretien d'exploitation</i>	Baulicher Unterhalt <i>Entretien constructif</i>	Veränderung <i>Modification</i>
Kontrolle <i>Contrôle</i>	Reinigung, Pflege <i>Nettoyage, entretien ordinaire</i>	Reparaturen <i>Réparations</i>	Erneuerung, Verstärkung <i>Renouvellement, renforcement</i>
Inspektion <i>Inspection</i>	Wartung <i>Maintenance</i>	Instandsetzung <i>Remise en état</i>	Erweiterung <i>Extension</i>
Beobachtung <i>Observation</i>	Instandhaltung <i>Entretien préventif</i>	Erneuerung <i>Renouvellement</i>	Ausbau <i>Aménagement</i>
	Kleinreparaturen <i>Petites réparations</i>		Rückbau <i>Démolition</i>
Kontrolle <i>Contrôle</i>		Wertvermehrend <i>Accroissant la valeur</i>	
Laufende Rechnung <i>Compte courant</i>		Investitionsrechnung <i>Compte d'investissement</i>	

Die Überprüfung der Tragsicherheit erfolgt – ausser bei Nutzungsänderungen - dann, wenn im Rahmen der Überwachung festgestellt wird, dass aus einem schadhafte Zustand oder Ereignissen in der Umgebung heraus, Zweifel an der Tragsicherheit bestehen, weil sich der Tragwiderstand verändert haben könnte. Siehe Kap. 1.2.

Die Zustandsbeurteilung von Bauwerken im Rahmen der Überwachung ist Sache des Werkeigentümers und nicht des Gutachters Naturgefahren. Da letzterer häufig weder das bauliche Fachwissen hat, die Relevanz der Schäden zu beurteilen, noch die nicht-sichtbaren Bauteile untersucht werden können, sollen Bauwerke im Rahmen eines Gefahren- oder Risikogutachtens nicht baulich beurteilt werden. Die Pflicht des Gutachters in Bezug auf den Bauwerkszustand beschränkt sich auf eine Meldepflicht, bei offensichtlichen Mängeln an den sichtbaren Bauwerksteilen.

### Infrastrukturmanagement

Das Infrastrukturmanagement, so wie der Begriff im Handbuch Infrastrukturmanagement definiert ist (OKI, Organisation Kommunale Infrastruktur & Wasser-Agenda 21) [9], beinhaltet zusätzlich zum Erhaltungsmanagement auch die Bereitstellung der notwendigen Grundlagen, strategische Grundsätze zur Infrastrukturerhaltung (Zustandsorientiert oder präventiver Ansatz) sowie die finanzielle und betriebliche Steuerung der verschiedenen Tätigkeiten der Bauwerkserhaltung (ausführlichere Erläuterungen zu diesem konzeptionellen Ansatz der OKI sind im Anhang 3 enthalten).

Vereinfacht gesagt umfasst das Infrastrukturmanagement die Summe aller systematischer und koordinierter Aktivitäten um:

- Infrastrukturen zu identifizieren,
- deren Zustand zu bestimmen,
- sowie um die notwendigen Sanierungs- und Erneuerungsmassnahmen umzusetzen,

um damit die Wirkung (der Infrastrukturanlagen) über den Lebenszyklus (technische Nutzungsdauer) zu erreichen

### **Inventar und Kataster**

Die beiden Begriffe Inventar und Kataster werden oft sinngleich verwendet. Sie sind jedoch nicht gleichbedeutend. Das Inventar bezeichnet umgangssprachlich alle zum Betrieb eines Unternehmens gehörende Einrichtungsgegenstände. Im Rechnungswesen wird es als das im Anschluss an eine Inventur (physische Bestandsaufnahme auf einen bestimmten Zeitpunkt) über Vermögensgegenstände und Schulden aufgestellte Verzeichnis bezeichnet. Unter Kataster wird im Allgemeinen ein Register, eine Liste oder Sammlung von Dingen oder Sachverhalten mit Raumbezug verstanden. Am bekanntesten ist der Liegenschaftskataster. Daneben gibt es noch verschiedene andere Kataster, z.B. Baumkataster, Altlastenkataster etc.

Bezogen auf Schutzbauten sind die beiden Begriffe ebenfalls differenziert zu benutzen:

- Schutzbauteninventar: Bezeichnet ein tabellarisches Verzeichnis aller Schutzbauten. Das Inventar wird bis zu einem bestimmten Stichtag erhoben und i.d.R. periodisch nachgeführt.
- Schutzbautenkataster: Sobald das Inventar der Schutzbauten in einen direkten räumlichen Bezug gesetzt wird (z.B. Grundlagenplan), spricht man von einem Schutzbautenkataster.

Die **Überwachung** stellt ein grundlegendes Element im Erhaltungsmanagement eines Bauwerks dar. Sie beinhaltet periodische Tätigkeiten zum Erkennen von vorhandenen Mängeln und zum Festhalten von Zustandsveränderungen an den verschiedenen Infrastrukturen aufgrund von Umwelteinflüssen (Witterung) und infolge des Gebrauchs (Benutzung durch Fahrzeuge, Einwirkung aus Naturgefahrenprozessen). Damit die Überwachung als operativ umgesetzt betrachtet werden kann, sind folgende Punkte umgesetzt:

- Beim Werkeigentümer oder der mit dem Unterhalt betrauten Stelle ist eine Organisationseinheit bestimmt, welche für die Überwachung von Schutzbauten zuständig ist.
- Alle Werke werden 1x-jährlich (und/oder nach Ereignissen) einer Beobachtung unterzogen. Die Feststellungen bezüglich der Werke (auch Negativ-Rapportierungen) sind dokumentiert.
- Der bautechnische Zustand der Werke wird gemäss Turnus aus dem Kataster, mindestens aber alle 4-5 Jahre, visuell inspiziert (= Festhalten des baulichen IST-Zustandes der einzelnen sichtbaren Bauteile gemäss vorgegebenen Kriterien). Zusätzlich wird bei jedem Werk die Umgebung beurteilt -> im Hinblick auf betrieblichem Unterhalt (z.B. Wegräumen von Ästen und Geröll). Alle Inspektionsberichte der Werke werden in einem Bericht zusammengestellt (auch Negativ-Befunde)

Aufgrund der im Rahmen der Überwachung von Infrastrukturen gewonnenen Erkenntnisse lassen sich Rückschlüsse auf den Bauwerkzustand ziehen sowie notwendige Unterhaltsmassnahmen (baulicher und betrieblicher Unterhalt) in die Wege leiten. Damit der Unterhalt als operativ umgesetzt betrachtet werden kann, sind folgende Punkte umgesetzt:

#### **Betrieblicher Unterhalt**

- Beim Werkeigentümer ist eine Organisationseinheit bestimmt
- Es ist eine interne Gruppe oder eine externe Unternehmung für Ausführung des Unterhalts namentlich festgelegt
- Es liegt ein Unterhaltsbudget vor

#### **Baulicher Unterhalt**

- Es stehen auf Stufe Werkeigentümer die notwendigen Ressourcen (Personal, Finanzen) wie auch zweckmässige Projektierungsgefässe zur Verfügung, um festgestellte Mängel zeitnah (innert zwei Jahren) zu beheben.

## 2 — Biologische Massnahmen

### Übersicht Checklisten

Checklisten	Lawine	Sturz	Rutsch	Wasser
Zulässigkeit der Waldwirkung	A1	B1	C1	D1
Grundlagendaten	A2	B2	C2	D2
Szenarien Massnahmenbeurteilung	A3	B3	C3	D3
Bestimmungsdiagramm (Spider) und Trends der Entwicklung	A4	B4	C4	D4
Szenarien Massnahmenwirkung	A5	B5	C5	D5

### Relevanzkriterien der Waldwirkung pro Prozess

(gemäss Ziffer 5 des Ablaufschemas)

Lawine	Vegetationshöhe	>2*HS
	Kronendeckungsgrad innerhalb Waldfläche	DG > 30% (immergrüne Bäume) DG > 50% (sommergrüne Bäume)
Sturz	Vegetationshöhe	> 3m
	Bewaldete Hanglänge	> 30m in Schrägdistanz
Rutsch und Gerinne	Vegetationshöhe	> 3m

Tabelle 1

Checkliste zu Schritt 1, Ziffer 5 des Ablaufschemas: Abschätzung der Relevanz der Waldwirkung

## Entscheidungsschema zur Bestimmung der Zuverlässigkeit

(gemäss Ziffer 9 des allgemeinen Ablaufschemas, für alle Gefahrenprozesse)

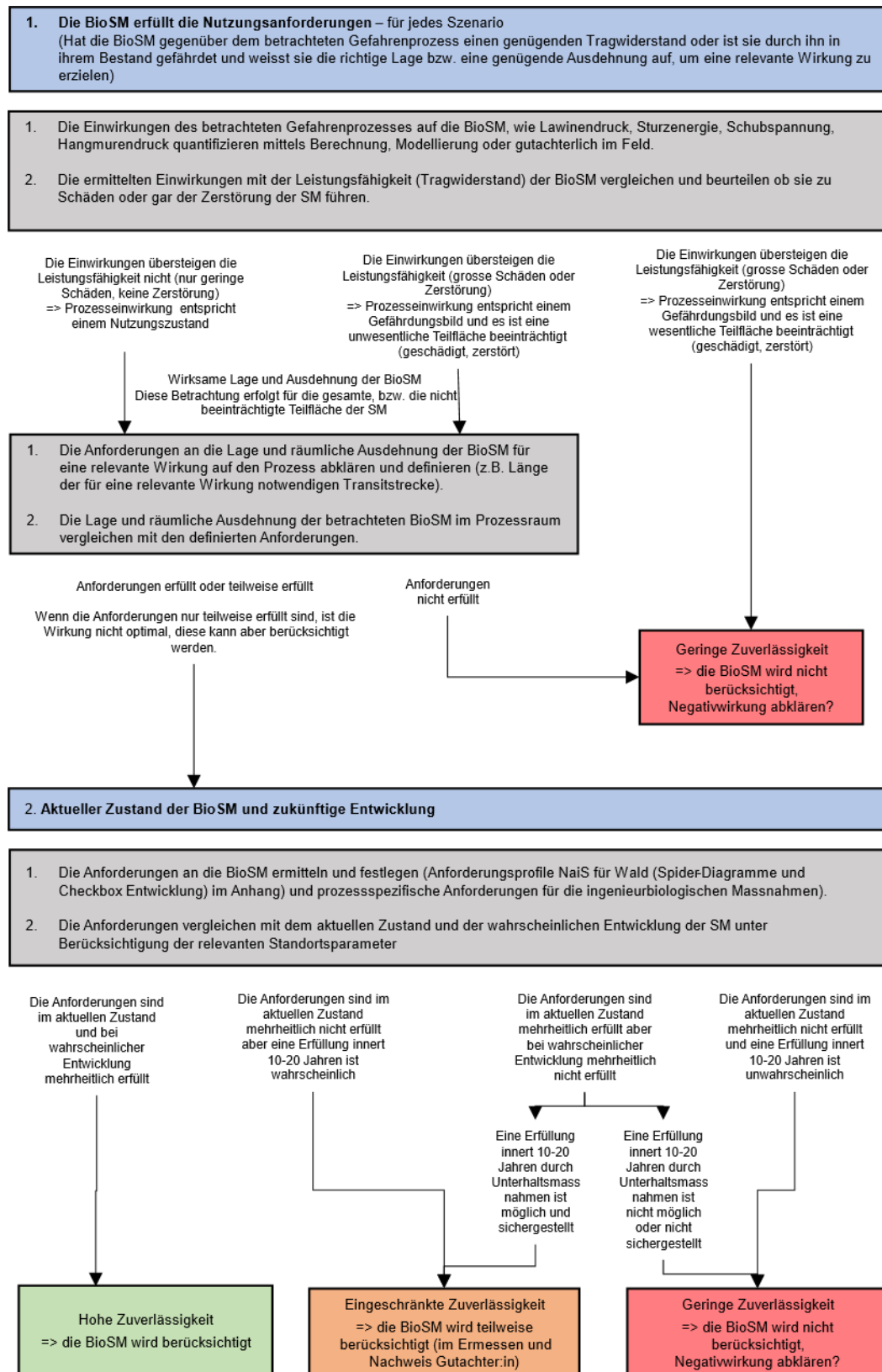


Abb. 2: Entscheidungsschema zur Bestimmung der Zuverlässigkeit von biologischen Massnahmen

## Erläuterung Spider-Diagramm und Entwicklungsbox

Allgemein	<p>Die Massnahmenbeurteilung mit Hilfe des Spider-Diagramms kann gesamthaft für den im Prozessbereich situierten Wald durchgeführt werden (ganzheitliche Betrachtung) oder mehrfach für ausgeschiedene Bestände erfolgen. Letzteres erlaubt eine differenziertere Berücksichtigung der Waldwirkung.</p> <p>Die Parameter werden entlang deren Achse beurteilt. Je besser der tatsächliche/aktuelle Zustand bzw. die Ausprägung des Parameters, desto weiter ist die Beurteilung vom Zentrum des Spider-Diagramms entfernt.</p> <p>→ Die offene Skalierung erlaubt eine gutachtliche Beurteilung der Parameter.</p> <p>→ <b>Eine Absprache mit lokalen Forstfachpersonen (Forsting. / FörsterIn sollte, wenn möglich immer erfolgen!</b></p>
Spider-Diagramm	<p>Die Beurteilung der Kriterien gemäss den prozessspezifischen Spider-Diagrammen ermöglicht eine Abschätzung der Zuverlässigkeit der Schutzmassnahme Wald im IST-Zustand.</p>
Entwicklung	<p>Die Berücksichtigung der Tendenz (Dauerhaftigkeit) der Entwicklung je prozessrelevanten Parameter und der Verjüngung mit der Berücksichtigung des Klimawandels und dem Wildeinfluss ist zwingend (gemäss Formular 2 nach NaiS mit Klimawandel)! Diese werden in der in der Entwicklungsbox dargestellt.</p> <p>Zudem sollen die Faktoren <b>Resilienz</b>, vorgesehene oder durchgeführte <b>Massnahmen</b> in die Beurteilung einfließen, falls eine Kompensation der fehlenden Schutzwirkung durch diese vermutet wird.</p> <p>Zusammenfassend erhält man eine Entwicklungstendenz über den betrachteten Zeithorizont (je nach Auftrag 10 – 50 Jahre). Ist diese eindeutig negativ ( - - ), wird die Zuverlässigkeit gemäss dem Entscheidungsschema (Abb. 2) herabgestuft.</p>
Synthese Anforderungen	<p>Die einzelnen Beurteilungen der Parameter werden auf den Achsen des Spiders eingetragen. Diese zeigen den Erfüllungsgrad der Anforderungen.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Im äussersten Bereich besteht ein hoher Erfüllungsgrad und somit eine hohe Schutzleistung (Wirkung) des Waldes.</li> <li>• Im mittleren Bereich werden die Anforderungen teilweise erfüllt.</li> <li>• Befinden sich die Punkte mehrheitlich zentrumsnah, werden die Anforderungen durch den Wald ungenügend erfüllt (fehlende Schutzleistung).</li> </ul> <p>Die Bestimmung der Zuverlässigkeit erfolgt nach dem Entscheidungsschema (Abb. 2). Dabei wird die Beurteilung des Erfüllungsgrades der Anforderungen durch den Wald gutachtlich mit Hilfe der Bewertung der einzelnen Parameter durchgeführt. Die Beurteilung erfolgt unter Berücksichtigung der Besonderheiten des Waldstandorts. Wird einem/mehreren Parametern eine grössere Bedeutung zugeschrieben, so können diese gutachtlich stärker gewichtet werden. Eine Abweichung von einer gleichmässigen Bewertung ist schriftlich festzuhalten.</p>

Tabelle 2

Erläuterungen zur Anwendung der Spider-Diagramme und der Entwicklung.



## A – Prozess LAWINE

### 1.1 Beurteilung Schutzleistung – Prozess Lawine (Wald)

Die grösste Schutzleistung in Lawinenzügen erreicht ein Wald im Anrissgebiet von Lawinen. Der Wald beeinflusst den Schneedeckenaufbau und wirkt der Lawinenbildung entgegen (Interzeption, Strahlungshaushalt, Windgeschwindigkeit, Stützwirkung etc.). Innerhalb der Sturzbahn ist die Schutzleistung des Waldes geringer. In Abhängigkeit der Einwirkungen sowie der Angriffsfläche kann Wald entweder eine Bremsfunktion gegenüber dem flächig auftretenden Prozess ausüben oder abgeräumt werden. Eine Übersicht der Zulässigkeit einer Berücksichtigung des Waldes je Teilprozess (Fließ-, Staubleine bzw. Gleitschnee) findet sich in der Checkliste A1 (Teil II).

#### 1.1.1 Grundlagendaten – Analyse und Interpretation

##### Desktopanalyse

In einem ersten Schritt sind prozessspezifische Waldkennndaten zu analysieren und zu interpretieren. Der Fokus liegt auf dem Kronendeckungsgrad in Abhängigkeit der Baumartenzusammensetzung, der Vegetationshöhe sowie der Lückenausdehnung in Abhängigkeit der Hangneigung (von Kronenrand zu Kronenrand, tatsächliche Länge gemessen in der Falllinie). Eine Ansprache dieser Parameter ist in allen Massstabsebenen unabdingbar. Für eine detailliertere Beurteilung (Massstabsebene M2 und M3) können zusätzliche Parameter gemäss Checkliste A4 sowie die in A2 aufgeführten Quellen herangezogen werden.

##### Geländeaufnahme

Die zentralen Parameter (gemäss Spider-Diagramm, Checkliste A1) sind im Gelände zu verifizieren. Für detailliertere Beurteilungen (z.B. lokale Bestimmung der Gefährdung durch Schneegleiten) kann zusätzlich die Abschätzung des Einflusses von Querbäumen und hohen Stöcken, die Beurteilung der vertikalen Struktur und relativen Kronenlänge sowie des Zustands und Umfangs der Verjüngung erfolgen. Für die Dokumentation und Beurteilung der zentralen Parameter kann das Spider-Diagramm in Checkliste A4 verwendet werden.

##### Stumme Zeugen

Die Vegetation liefert wichtige Erkenntnisse zum Prozess. Stumme Zeugen geben Aufschluss zu Prozessart, Einwirkung und sind für eine Plausibilisierung späterer Simulationen (Kombination Fließgeschwindigkeit und -höhe) zu dokumentieren. Zahlreiche dieser Phänomene der Waldvegetation (sog. Indikatoren) erlauben Rückschlüsse zu einzelnen bzw. mehreren Prozessgrössen sowie eine Abschätzung der Waldwirkung:

- Waldvegetation: Räumliche Verteilung der Vegetationsschäden, Alter der Vegetation bzw. Vegetationsschäden (Verjüngung, Überwallung von Verletzungen, Kronenbruch, Austrieb neuer Triebe etc.), Ausprägung/Form der Schäden (Wuchsformen, Bruch, Entwurzelung, Wurfrichtung, Mittransport der geworfenen Bäume etc.), Baumartenzusammensetzung.
- Wirkung auf Prozess: Ereignishäufigkeit, Prozessreichweite/-ausdehnung, Prozesswirkung (räumliche Variabilität der Druckwirkung), Prozessart (Fließ-, Staubleine, Gleitschnee), Höhe der Einwirkung.

#### 1.1.2 Beurteilung der Massnahme

Im weiteren Bearbeitungsprozess erfolgt die Bildung möglicher Lawinenszenarien, welche unterschiedlich auf den Wald einwirken können. Aufgrund der Komplexität (Interaktion der flächig auftretenden Lawine und der räumlichen Variabilität der Waldwirkung) sind Prozesswirkung und Widerstandsfähigkeit des Waldes in Kombination zu setzen. Es wird zwischen den Hauptszenarien 'Lawinenanriss oberhalb Wald' und 'Lawinenanriss im Wald' unterschieden. Checkliste A3 beschreibt wesentliche Aspekte der beiden Hauptszenarien und gibt eine Übersicht

zu weiteren den Hauptszenarien zugeordneten Unterszenarien. In Abhängigkeit der Definition der Szenarien erfolgt die Beurteilung der Zuverlässigkeit der Massnahme in Funktion der Wiederkehrperiode.

- Szenario 'Lawinenanriss oberhalb Wald': Bei einer Gefährdung des Waldkomplexes durch oberhalb anbrechende Lawinen sind Simulationen zwingend durchzuführen. Die Resultate der Fliessgeschwindigkeiten und -höhen dienen der Abschätzung einer potenziellen Waldzerstörung sowie deren räumlicher Ausdehnung.
- Szenario 'Lawinenanriss im Wald': Die Beurteilung der relevanten Parameter, Resultat der Desktopanalyse und Geländebegehung, kann mit Hilfe des Spider-Diagramms erfolgen. Hierdurch wird die Zuverlässigkeit (Mass der Schutzleistung) des Waldkomplexes bestimmt.

Die Festlegung der Zuverlässigkeit ist in der lawinentechnischen Beurteilung zwingend zu begründen (Spider-Diagramm respektive Lawinensimulationen inkl. dazugehöriger textlicher Erläuterung der Beurteilung) und zu dokumentieren. Dies ist für das weitere Vorgehen in der Wirkungsbeurteilung und der damit verbundenen Definition der Wirkungsszenarien entscheidend.

### 1.1.3 Beurteilung der Wirkung auf den Lawinenprozess (ausserhalb PROTECTpraxis)

In Abhängigkeit der Zuverlässigkeit erfolgt eine vollständige, teilweise oder keine Berücksichtigung des Waldes. Von zentraler Bedeutung ist, dass aus der Beurteilung ersichtlich wird, aus welchen Gründen dem Wald eine bestimmte Zuverlässigkeit zugewiesen wurde. Daraus lassen sich Einschränkungen der Wirkung ableiten. Festzuhalten ist, dass auch eine hohe Zuverlässigkeit einen Lawinenanriss innerhalb des Waldkomplexes nicht gänzlich ausschliesst. Kritisch zu betrachten sind insbesondere Wälder mit einem geringen Anteil an immergrünen Bäumen oder nasse Lawinen aus sehr steilen Anrissgebieten.

Grundsätzlich ist zwischen einer Waldwirkung im Anrissgebiet, in der Sturzbahn und dem Auslaufgebiet zu unterscheiden. Die Zuverlässigkeit resp. Wirkung von Wald im Anrissgebiet wirkt sich sowohl auf die Lawinengrösse (Anrissvolumen, Schneeaufnahme, Schneerückhalt) als auch die Eintretenswahrscheinlichkeit oder Wiederkehrperiode aus. Zur Berücksichtigung der Schutzwirkung in der lawinentechnischen Beurteilung können die Ansätze in Tab. 8 bzw. Checkliste A5 herangezogen werden. Für die Beurteilung der Wirkung des Waldes in der Sturzbahn resp. im Auslaufgebiet ist der Vergleich von Simulationen mit und ohne Wald hilfreich. Die Berücksichtigung des Waldes als Bremsselement wirkt sich auf die Reichweite, laterale Ausdehnung sowie Lawinenkräfte aus. Je höher die Zuverlässigkeit, desto stärker kann die Wirkung des Waldes in Simulationen berücksichtigt werden. Eine Plausibilisierung und Interpretation der Lawinensimulationen anhand der in der Desktopanalyse und der im Rahmen der Geländeaufnahme gewonnenen Erkenntnisse ist unerlässlich.

**Tab. 8: Ansatz zur Waldberücksichtigung bei Lawinenprozessen**

*Qualitativer Ansatz zur Berücksichtigung der Zuverlässigkeit (Ergebnis der Massnahmenbeurteilung) in der Wirkungsbeurteilung (ausserhalb PROTECTpraxis). Die Anwendung eines oder mehrere der Ansätze ist zulässig und erlaubt eine Berücksichtigung der Tendenz der Zuverlässigkeitsbeurteilung.*

Berücksichtigung Wald im:	Zuverlässigkeit		
	++ (≙ hoch)	+ (≙ eingeschränkt)	0 (≙ gering)
Anrissgebiet	Ausscheidung Anrissgebiete inkl. Wald (≈ Lückenausdehnung)		Ausscheidung ohne Wald
	Reduktion Eintretenswahrscheinlichkeit (z.B. bei positiver Waldentwicklung)		
	Reduktion Anrissmächtigkeit		
Transitgebiet	Berücksichtigung der Bremswirkung in Abhängigkeit der Lawineneigenschaft sowie Eigenschaften des Waldbestandes		Standardreibung/ keine Bremswirkung
Ablagerungsgebiet	Berücksichtigung der Bremswirkung in Abhängigkeit der Lawineneigenschaften sowie den Eigenschaften des Waldbestandes		Standardreibung/ keine Bremswirkung

**A1 Zulässigkeit der Waldwirkung**

Gefahrenprozess	Relevante Wirkung der Schutzmassnahme auf risikorelevante Faktoren zu erwarten	Wirkung bestimmbar (quantitativ / qualitativ)
Fliesslawine	ja	ja
Staublawine	ja	ja
Gleitschnee	ja	ja
Eislawine (Gletscher)	nein Gletscherabbrüche, die ein Schadenpotenzial betreffen können, haben ein Ausmass, bei dem die Wirkung von Schutzwald nur noch sehr klein ist und nicht mehr beurteilt werden kann.	-
Relevante Wirkung ist möglich und beurteilbar.	Relevante Wirkung ist möglich oder eingeschränkt möglich und beurteilbar oder eingeschränkt beurteilbar.	Keine Relevante Wirkung oder Relevante Wirkung ist möglich, aber nicht beurteilbar.

Tabelle 3

*Zulässigkeit der Wirkung des Waldes für den Hauptprozess Lawine. Die generelle Zulässigkeit gilt jeweils für alle Massstabsebenen M1-M3. Die Tabelle entspricht dem aktuellen Stand des Wissens und muss nach Vorliegen neuer Erkenntnisse und Methoden angepasst werden*

## A2 Grundlegendaten

Wald	Analyse und Interpretation
<b>Vegetationshöhenmodell (VHM)</b>	Die Vegetationshöhe erlaubt Rückschlüsse zur Entwicklungsstufe und Baumhöhe.
<b>Orthofotos und terrestrische Aufnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Orthofotos</i> (Sommer und Winter) geben Aufschluss zur Baumartenzusammensetzung und ermöglichen die Abschätzung des horizontalen Gefüges (räumliche Verteilung) respektive der Lückengrösse (Lückenlänge und -breite von Kronenrand zu Kronenrand, tatsächliche Länge in der Falllinie gemessen). Ebenso lässt sich mit deren Hilfe der Deckungsgrad (Mass für die gegenseitige Bedrängung der Baumkronen eines Bestandes) bestimmen.</li> <li>• <i>Zeitreihenanalysen</i> von Orthofotos und <i>terrestrischen Aufnahmen</i> ermöglichen neben einer Analyse der Waldentwicklung zudem die Detektion und Bestimmung des Ausmasses historischer Naturereignisse (Lawinen, Sturz, Rutschungen etc.), anderer Gefährdungen (Kalamitäten, Sturm, Waldbrand etc.) sowie des menschlichen Einflusses (Waldweide, Waldbewirtschaftung, Wegebau etc.).</li> </ul>
<b>Kartenmaterial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Topografische Karte</i>: Eine Analyse der topografischen Karten (Zeitreihenanalyse) ermöglicht eine ungefähre Abschätzung der Waldentwicklung sowie Abgrenzung der räumlichen Ausdehnung des Waldes.</li> <li>• <i>Hangneigungskarte</i>: Die Hangneigungskarte dient zur Ermittlung potenzieller Anrissgebiete. Ein Verschnitt mit der Waldausdehnung erlaubt Rückschlüsse zur Lage (Anrissgebiet, Sturzbahn, Auslaufbereich) und Funktionsweise (Verhinderung Lawinenanriss, Bremseffekt) des Waldes.</li> </ul>
<b>Kataster</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Schutzbautenkataster</i>: Dieser ist mit Erkenntnissen aus Bildanalysen zu vergleichen und dient als Ergänzung zur Waldbeurteilung.</li> <li>• <i>Ereigniskataster</i>: In Kombination mit historischen Bildern lassen sich Ereignisse im Detail analysieren und erlauben Rückschlüsse auf aufgetretene Lawinenkräfte entlang der Sturzbahn.</li> </ul>
<b>LIDAR (Light Detection And Ranging)</b>	<i>LIDAR-Daten</i> liefern zahlreiche Informationen, wie BHD (Brusthöhendurchmesser), Grundfläche, Stammzahl, exakte Baumposition (Lückengrösse), mittlere Baumhöhe etc. und erlauben eine detaillierte Beurteilung der für den Prozess Lawine relevanten Parameter. Die automatisiert ausgewerteten Daten können Fehler enthalten und müssen je nach Beurteilungstiefe der Gefahrenbeurteilung durch Felderhebungen plausibilisiert werden.
<b>Bestandeskarten</b>	Bestandeskarten geben einen Überblick zur Waldentwicklung, fassen Waldflächen homogener Charakteristik zu Beständen zusammen und enthalten Informationen zur Baumartenmischung, Entwicklungsstufe, Alter, Deckungsgrad und Zustand. <i>Liegen keine Angaben vor, lassen sich diese mit verschiedenen existierenden Tools automatisiert auf Grundlagen von LIDAR-Daten ableiten.</i>
<b>Wald-Wild Gutachten der Kantone</b>	Diese dienen zur Abschätzung des Wildeinflusses. Die einzelnen Methoden in den Kantonen unterscheiden sich stark.
<b>Vegetationshöhenstufen heute und in Zukunft</b>	Ermöglichen eine Abschätzung der Höhenstufenverschiebung der Waldstandorte im Klimawandel und der klimafitten Baumarten. Dies kann mit der Tree App durchgeführt werden.
<b>Allgemein</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gefahrenkarten und Gefahrenhinweiskarten (inkl. technischen Berichten)</li> <li>• Historisches Bildmaterial</li> <li>• Chroniken (Gemeinde, Kirche etc.)</li> <li>• Infos lokaler Kenner z.B. Waldbesitzer/in, Förster/in, Historiker/in etc.</li> <li>• Forstliche Planung (WEP, WP, Bestandeskarte, Inventur)</li> <li>• Alte Gefahrenbeurteilungen</li> </ul>

Tabelle 4

Überblick möglicher Quellen zur Beurteilung eines Waldes hinsichtlich dessen Einflusses auf den Prozess Lawine im Rahmen der Desktopanalyse.

### A3 Szenarien Massnahmenbeurteilung

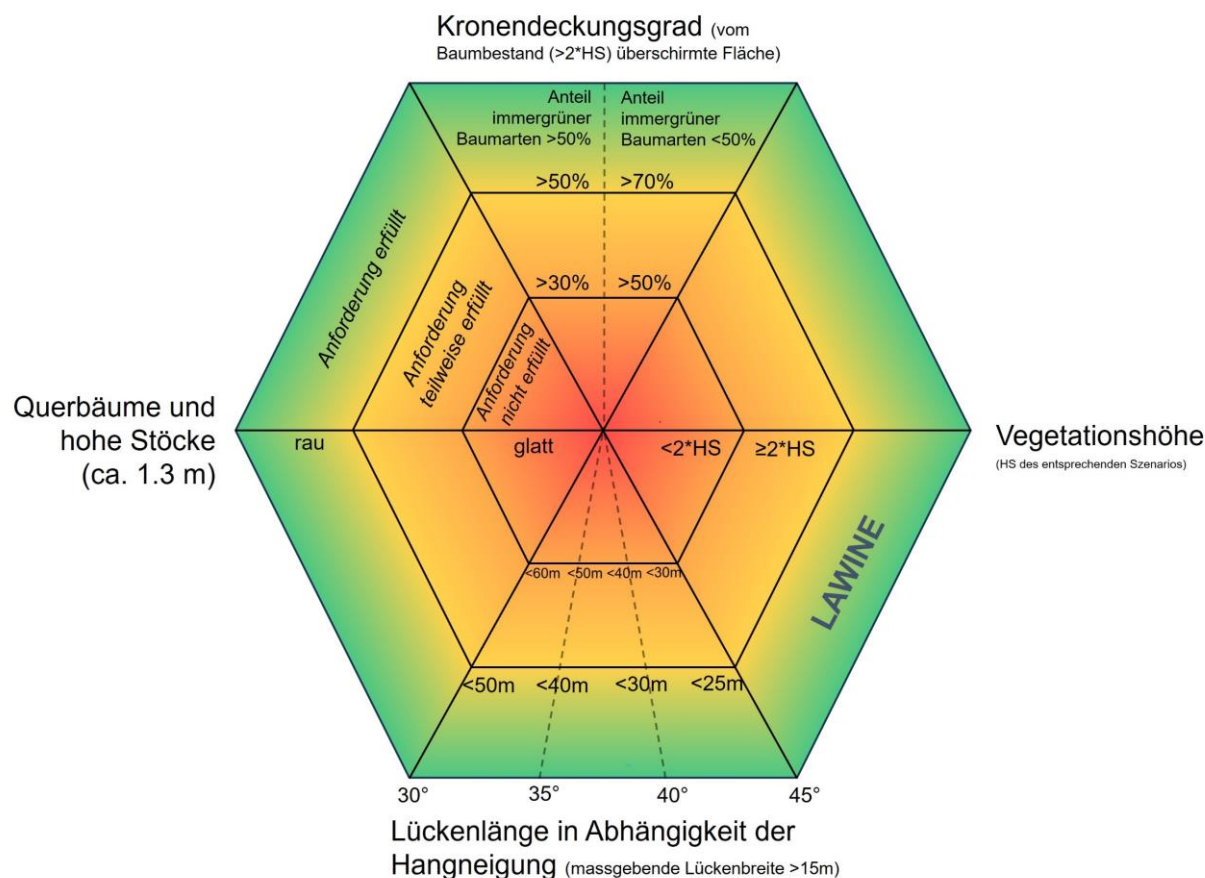
Hauptszenarien	Beschreibung
<b>Lawinenanriss oberhalb Wald</b>	<p>Eine Gefährdung durch oberhalb des Waldes anbrechende Lawinen hängt von deren Zerstörungspotenzial ab, d.h. ob die Lawine aufgrund der Topographie, Schneemenge, ausreichend langen Sturzbahn etc. Schäden am Bestand hervorrufen kann. Befindet sich Wald z.B. unmittelbar unterhalb des Anrissgebiets, in welchem die Lawine beschleunigt und noch nicht voll entwickelt ist, hat der Wald eine wichtige Funktion als bremsendes Element. Es gilt insbesondere folgende Fragen zu berücksichtigen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dringt die Lawine bis zum Wald vor (Überwindung von Flachstücken, ggf. Abhängigkeit von Wiederkehrperiode)?</li> <li>• Wie viel Lawinenschnee dringt in den Wald ein (Lawinengrösse)?</li> <li>• Welches Zerstörungspotenzial/welchen Druck weist die Lawine beim Waldeintritt auf (Überlastfall)?             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fliesslawinendruck 60-100 kN/m<sup>2</sup>: Bei derartigen Drücken und einer Fliesshöhe von ca. 2-3 m ohne Einbezug von Ästen ist der Bruch von Baumstämmen zu erwarten (SLF und [42]).</li> <li>○ Staublawinendruck 1-5 kN/m<sup>2</sup>: Unter Einbezug der Krone (Angriffsfläche) können diese Lawinendrucke zur Entwurzelung bzw. Stammbruch führen (SLF und [42]).</li> <li>○ Hohe Fliessgeschwindigkeiten (20-30 m/s) sowie grosse Fliesshöhen können eine Waldzerstörung bewirken [37][46].</li> <li>○ Der genannte Geschwindigkeitsbereich von 20-30 m/s lässt eine gutachtliche Abschätzung zu und erlaubt den Waldaufbau und dessen Widerstandskraft bzw. die der Einzelbäume zu gewichten. Hauptaugenmerk liegt hierbei auf der Angriffsfläche, Baumart sowie der Standfestigkeit.</li> <li>○ Die Grösse des Einflusses der Fliesshöhe lässt sich nicht exakt beziffern, da diese massgeblich von der Angriffsfläche (Stammquerschnitt, Kronenansatz/Kronenbreite) innerhalb der Wirkungshöhe der Lawine abhängt.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Lawinenanriss im Wald</b>  (Lage Anrissgebiet im Wald bzw. max. innerhalb einer unbestockten Pufferzone ≤30 m in Falllinie oberhalb der Waldgrenze)	<p>Befindet sich die Anrisszone (Freifläche, Schneise etc.) innerhalb des Waldes, wird von Waldlawinen gesprochen. Massgebend für das Ausmass eines Lawinenanrisses ist die Lückengrösse von Kronenrand zu Kronenrand, tatsächliche Länge in der Falllinie gemessen. Nachfolgende Fragen sind von Bedeutung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wie setzt sich der Waldbestand unterhalb der Freifläche zusammen (Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Prozess)?</li> <li>• Welche Einwirkungen (Fliessgeschwindigkeit und -höhe) können aufgrund des Schneevolumens, der Sturzbahnlänge, der Hangneigung etc. beim Eintritt in Wald unterhalb der Lücke erreicht werden (Zerstörungspotenzial)?</li> </ul>
Unterszenarien	Beschreibung
<b>Oberlawine Wald</b>	Lawinen können in überschneiten Waldgebieten anbrechen. Es sind die gleichen Aspekte wie bei einem Lawinenanriss in überschneiten Verbauungen (Oberlawine) zu berücksichtigen.
<b>Wildschneelawine</b>	Wildschneelawinen bestehen aus sehr trockenem leichtem und äusserst kohäsionslosem Schnee (Dichte typischerweise 30 kg/m <sup>3</sup> [35]). Während des Schneefalls wird dieser aufgrund fehlender Einstrahlung und kalten Temperaturen kaum durch die Interzeption in den Baumkronen beeinflusst. Wildschneelawinen besitzen eine hohe Fliessbarkeit und „rieseln“ förmlich durch den Wald, ohne diesen zu zerstören. Dabei werden sie kaum gebremst [40].
<b>Nassschneelawinen</b>	Aufgrund der Charakteristik von Nassschneelawinen kann die Wirkung des Schutzwaldes eingeschränkt sein. Falls Nassschneelawinen im Projektgebiet zu erwarten sind, ist auf diese ein spezifisches Augenmerk zu richten.

<b>Lawinenanriss auf Schadfläche bzw. im Bereich geringer Vegetationshöhen</b>	Auch auf Schadflächen (z.B. Windwurfflächen, Käfernestern etc.) bzw. im Bereich geringer Vegetationshöhe können Lawinen anbrechen. Entscheidend für einen Lawinenanriss ist die Oberflächenrauigkeit (hohe Stöcke, Querbäume, Vegetationsausprägung etc.) bzw. deren Höhe. Entsprechend bedarf es einer grösseren Schneemächtigkeit, sodass eine Lawine auf einer durchgehenden Gleitfläche talwärts fliessen kann (Wirkhöhe der Rauigkeitselemente).
--	---

Tabelle 5

Haupt- und Unterszenarien (farblich codierte Zusammengehörigkeit) für den Prozess Lawine.

# A4 Spider-Diagramm als Beurteilungshilfe der biologischen Massnahmen bei Lawinenprozessen



Entwicklungsbox	
Kriterium	erwartete Entwicklung*
Verjüngung**	
Schutzwirkung***	
Gesamtbeurteilung	

Grundlage Abschätzung der Nachhaltigkeitskriterien gemäss NaiS (Formular 2), betrachteter Zeitraum: je nach Zielsetzung der Beurteilung (10 – 50 Jahre)

\* Entwicklungsskala: ++ / + / 0 / - / --

\*\* Verjüngung: Entwicklung einer zielkonformen Verjüngung mit Einbezug des Klimawandels und Wildeinflusses gemäss NaiS Formular 2 mit Unterhaltsmassnahmen (geplante oder durchgeführte Holzschläge)

\*\*\* Entwicklung der für die Schutzwirkung relevanten Kriterien je nach Prozess (vgl. Spider)\*\*Verjüngung: Entwicklung einer zielkonformen Verjüngung mit Einbezug des Klimawandels und Wildeinflusses gemäss NaiS Formular 2 mit Unterhaltsmassnahmen (geplante oder durchgeführte Holzschläge)

\*\*\* Entwicklung der für die Schutzwirkung relevanten Kriterien je nach Prozess (vgl. Spider)

## Definition Waldparameter/Beurteilungskriterien

- > *Kronendeckungsgrad*: Beschreibt die vom Baumbestand ( $>2 \times HS$ ) überschirmte Fläche in Prozent. Dabei werden nur Bäume mit einer Höhe grösser als die doppelte massgebende Schneehöhe ( $>2 \times HS$ ) berücksichtigt. Um der Baumartenzusammensetzung respektive dem Anteil immergrüner Baumarten Rechnung zu tragen, wird zwischen zwei Achsen unterschieden (Grenzwert 50%). Der Kronendeckungsgrad ist für Bereiche homogener Waldausprägung abzuschätzen.
- > *Lückenlänge*: Die max. zulässige Lückenlänge in Falllinie (von Kronenrand zu Kronenrand) hängt von der Hangneigung ab. Je steiler das Gelände, desto geringer sollte die Lücke sein, um einem Lawinenanriss entgegenzuwirken. Übersteigt die Lückenlänge (von Kronenrand zu Kronenrand gemessen unter Berücksichtigung der Bäume mit einer Höhe  $>2 \times HS$ ) den maximalen Grenzwert, so sollte die Breite der Lücke 15 m nicht überschreiten. Andernfalls ist mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit eines Lawinenanrisses zu rechnen. Die beiden je Hangneigungs-Achse aufgeführten Werte entsprechen dem NaiS Anforderungsprofil minimal bzw. ideal des Waldes bezüglich Lawinen [38].
- > *Vegetationshöhe*: Die Höhe der Vegetation muss mind. das 2fache der Schneehöhe (HS) am entsprechenden Standort betragen, sodass diese einen Beitrag gegen das Anreissen von Lawinen übernehmen kann [38].
- > *Querbäume/hohe Stöcke*: Im Rahmen der Begehung ist der Durchmesser, die Anzahl sowie Ausrichtung von liegenden Stämmen bzw. Stöcken zu beurteilen. Je höher die Rauigkeit des Untergrundes, desto grösser ist die Wirkung gegenüber dem Anriss von Lawinen. Ein glatter Untergrund aufgrund fehlender Querbäume bzw. Stöcke begünstigt das Anreissen von Lawinen.
- > *Verjüngung*: Die Verjüngung stellt den massgebendsten Aspekt für die Dauerhaftigkeit dar. Eine ausreichende Verjüngung (standorts- und klimaangepasst) gewährleistet eine zukünftige Aufrechterhaltung der Schutzfunktion des Waldes. Die Beurteilung der Verjüngung erfolgt gemäss der NaiS-Anforderungsprofile (minimal/ideal) für die unterschiedlichen Waldstandorte und Gefahrenprozesse [38]. Neben Lawinen erschweren Schneekriechen und Schneegleiten die Entwicklung der Verjüngung. Schneedruckschäden können Aufforstungen, die ggf. bei häufigen Szenarien schutzwirksam sind, gänzlich zerstören. Die Faktoren Wilddruck und Klimawandel (klimaangepasste Baumarten) sind im Hinblick auf nachhaltige dauerhafte Schutzwälder somit zwingend zu berücksichtigen.



## A5 Szenarien Massnahmenwirkung

Szenario	Beschreibung
<b>Lawinenanriss oberhalb Wald</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Bremswirkung (Flächenausdehnung und Höhe):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Wie hoch ist der Bremseffekt des Waldes? Können Lawinen aufgehalten werden? → Voraussetzung: Wald wird durch Lawine nicht zerstört bzw. es verbleibt eine ausreichende Schutzwirkung.</li> <li>○ Folgt die Lawinen offenen waldfreien bzw. lediglich mit Gebüschvegetation bestockten Schneisen (geringere Reibung, seitlicher Einfluss durch Bestandesrand) oder durchströmt sie dichten Wald?</li> </ul> </li> </ul>
<b>Lawinenanriss im Wald</b>  (Lage Anrissgebiet im Wald bzw. max. innerhalb einer unbestockten Pufferzone ≤30 m in Falllinie oberhalb der Waldgrenze)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ausscheidung Anrissgebiete:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Beschränkt sich der Lawinenanriss auf eine Lücke oder besteht die Möglichkeit einer Bruchausbreitung in bestockte Bereiche?</li> <li>○ Wie beeinflussen die Oberflächenrauigkeit (Stöcke, Querbäume, Verjüngung etc.) und die Stammzahl einen Lawinenanriss? (Schneerückhalt, Anrisswahrscheinlichkeit, Wirkhöhe etc.)</li> <li>○ Wie gross sind die zu erwartenden Schneeablagerungen in Waldlichtungen (Einfluss der Flächengrösse und Lage der Waldöffnung von Bedeutung)?</li> <li>○ Wie hoch ist der Effekt der Randbäume in Lichtungen auf die Schneedecke (Tiefe des Kronenansatzes)?</li> </ul> </li> <li>• <b>Bremswirkung (Flächenausdehnung und Höhe):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Wie hoch ist der Bremseffekt des unterhalb der Lücke situierten Waldes (laterale und vertikale Ausdehnung, Waldzustand)? Können Kleinlawinen aufgehalten werden bzw. wie weit dringt die Lawine in den Bestand vor? → Voraussetzung: Wald wird durch Lawine nicht zerstört bzw. es verbleibt eine ausreichende verbleibende Schutzwirkung.</li> <li>○ Folgt die Lawinen offenen waldfreien bzw. lediglich mit Gebüschvegetation bestockten Schneisen (geringere Reibung, seitlicher Einfluss durch Bestandesrand) oder durchströmt sie dichten Wald?</li> </ul> </li> <li>• <b>Eintretenswahrscheinlichkeit:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ist die Wahrscheinlichkeit für Lawinenanrisse innerhalb von Waldlichtungen aufgrund der Bildung von Oberflächenreif erhöht?</li> <li>○ Wie beeinflussen die Oberflächenrauigkeit (Stöcke, Querbäume, Verjüngung etc.) und die Stammzahl einen Lawinenanriss? (Schneerückhalt, Anrisswahrscheinlichkeit, Wirkhöhe etc.)</li> </ul> </li> </ul>
Negative Auswirkung	Beschreibung
<b>Mittransport von Baumstämmen</b>	Der Mittransport von Baumstämmen und anderem Fremdmaterial ist zu prüfen. Insbesondere bei der Einwirkungsbestimmung auf Objekte sind auftretende Spitzendrücke durch Einzelkomponenten von besonderem Interesse für die Bemessung (statische Ersatzkraft).
<b>Verklausungen Hindernisse</b>	Zerstören Lawinen einzelne Bestandselemente besteht die Gefahr einer Verklauung von Rinnen durch geworfene Bäume und anderem Fremdmaterial.

Tabelle 6

Zusammenstellung der Wirkungen des Waldes auf den Prozess Lawine sowie ggf. zu berücksichtigende negative Auswirkungen

## B – Prozess STURZ

### 1.2 Beurteilung Schutzleistung – Prozess Sturz (Wald)

Im Unterschied zum Prozess Lawine verhindert Wald nicht das Ablösen von Steinen oder Blöcken, sondern beeinflusst respektive bremst die Sturzkörper entlang der Sturzbahn. Eine Übersicht der Zulässigkeit der Berücksichtigung des Waldes in Abhängigkeit des Teilprozesses findet sich in Checkliste B1.

#### 1.2.1 Grundlagendaten – Analyse und Interpretation

##### Desktopanalyse

Der Fokus der Waldansprache liegt auf den Parametern Grundfläche, Stammzahlverteilung und Lückenlänge (Länge in Falllinie von Stamm zu Stamm gemessen). Mittels des NaiS Steinschlag-Tools [32] lässt sich die Schutzleistung des Waldes grob bestimmen und zusammen mit der Beurteilung des Einflusses von Bestandeslücken eine Abschätzung vornehmen. Checkliste B2 liefert eine Übersicht möglicher Informationsquellen für notwendige Prozess- und Walddaten. Je nach Verfügbarkeit und Detaillierungsgrad der Daten reichen diese ggf. bereits aus, um eine Abschätzung der Schutzleistung vorzunehmen.

##### Geländeaufnahme

Schwerpunkt der Feldbegehung ist die Verifikation von Grundlagendaten. Zusätzlich können fehlende Daten erhoben und Informationen (z.B. Querbäume, hohe Stöcke, Widerstandsfähigkeit/Energieabsorption der Bäume) ergänzt werden. Die Dokumentation und Beurteilung der massgebenden Parameter erfolgt mittels des Spider-Diagramms in der Checkliste B4, welches die zentralen Parameter zusammenfasst.

##### Stumme Zeugen

Die Vegetation liefert wichtige Erkenntnisse zum Prozess. Diese sind für eine Plausibilisierung späterer Simulationen festzuhalten. Zahlreiche dieser Phänomene der Waldvegetation erlauben Rückschlüsse zu einzelnen bzw. mehreren Prozessgrössen sowie eine Abschätzung der Waldwirkung:

- Waldvegetation: Trefferlage Steinschlagmarken (horizontal und vertikal entlang der Stammachse), Anzahl/räumliche Verteilung der Vegetationsschäden, Alter der Vegetationsschäden (Überwallung), Ablagerungsmenge bei Querbäumen und hohen Stöcken bzw. Individuen oder Gruppen, Ausprägung/Form der Verletzungen, Ausprägung Vegetationsdecke/eingeschränkte Bodenbildung.
- Wirkung auf Prozess: Sprunghöhe und -weite, Sturzkörpergrösse, Ereignishäufigkeit, Prozessreichweite, räumliche Verteilung respektive Ausbreitung der Sturzkörper (Konzentration/Kanalisation von Steinschlag-Trajektorien), Aufprallenergie, Energieumwandlung.

#### 1.2.2 Beurteilung der Massnahme

Die im Rahmen der Desktopanalyse sowie Geländebegehung analysierten Daten werden für die Beurteilung der Zuverlässigkeit der Massnahme herangezogen. Checkliste B3 beschreibt Aspekte der Sturzkörper-Wald-Interaktion. Die Parameter Grundfläche, Stammzahlverteilung, Lückenlänge und Querbäume/hohe Stöcke werden mittels des Spider-Diagramms (Checkliste B4) bewertet. Als Resultat der Massnahmenbeurteilung wird die Zuverlässigkeit des Waldes auf den Prozess Sturz abgeschätzt. Die der Wahl der Zuverlässigkeit zu Grunde liegenden Überlegungen sind zur Gewährleistung der Nachvollziehbarkeit festzuhalten.

### 1.2.3 Beurteilung der Wirkung auf den Sturzprozess (ausserhalb PROTECTpraxis)

Zu beachten ist, dass bei der Schutzmassnahme Wald, im Gegensatz zu einer baulichen Schutzmassnahme (z.B. Steinschlagnetz), anstelle eines 2-dimensionalen Schutzes ein 3-dimensionaler Schutz vorliegt. Erfolgt die Beurteilung entlang einer Trajektorie (Runse/Rücken etc.), so beschränkt sich der relevante Waldzustand auf den Nahbereich der Profillinie (z.B. Objektgutachten – Massstabsebene M3). Wird die Beurteilung jedoch im 3-dimensionalen Raum durchgeführt, ist der heterogenen räumlichen Ausprägung des Waldes zwingend Rechnung zu tragen (z.B. Verwendung 3D-Modell). Grundsätzlich empfiehlt es sich, bei hoher Komplexität eine 3D-Modellierung durchzuführen.

Es erfolgt eine Implementierung der im Rahmen der Massnahmenbeurteilung durchgeführten Überlegungen (z.B. hinsichtlich Form und Anzahl von Lücken bzw. BHD-Ausprägung) und deren Gewichtung im Modell (Checkliste B5). Der Schritt von der Massnahmenbeurteilung zur Wirkungsbeurteilung erfolgt ausserhalb von PROTECTpraxis. Dabei ist aufzuzeigen und zu dokumentieren, wie die entsprechenden Aspekte in der Modellierung berücksichtigt wurden. Hilfreich zur Abschätzung der Schutzleistung ist ein Vergleich von Simulationen mit und ohne Waldberücksichtigung. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass auch nach einer Störung des Waldes oft eine hohe Restschutzwirkung der verbleibenden Oberflächenrauigkeit vorhanden ist. Die aus Simulationen gewonnenen Informationen zur kinetischen Energie, Sprunghöhe und Trefferwahrscheinlichkeit liefern Rückschlüsse zur Höhe des Waldeinflusses auf den Prozess. Eine Plausibilisierung und Interpretation von Sturzsimulationen anhand der Analyse der Grundlagendaten bzw. im Rahmen der Geländeaufnahme gewonnenen Erkenntnisse ist unerlässlich.

Prozessbedingt sind die in **Tab. 2** aufgeführten zwei Fälle zu unterscheiden:

**Tab. 2: Ansatz zur Waldberücksichtigung bei Sturzprozessen**

*Qualitativer Ansatz zur Berücksichtigung der Zuverlässigkeit (Ergebnis der Massnahmenbeurteilung) in der Wirkungsbeurteilung (ausserhalb PROTECTpraxis). Die Anwendung eines oder mehrere der Ansätze ist zulässig und erlaubt eine Berücksichtigung der Tendenz der Zuverlässigkeitsbeurteilung.*

Berücksichtigung Wald	Zuverlässigkeit		
	++ (≙ hoch)	+ (≙ eingeschränkt)	0 (≙ gering)
	Dem Wald wird eine hohe (++) oder eingeschränkte (+) Zuverlässigkeit bescheinigt. Eine Berücksichtigung des aktuellen Waldzustands (≈ IST-Zustand) in der Gefahrenbeurteilung respektive dessen Implementierung in Simulationsmodellen ist in Abhängigkeit der Zuverlässigkeit zwingend in Betracht zu ziehen.		Grossflächige Zerstörung des Waldes (z.B. durch Felssturz mit grossem Volumen) bzw. ungünstige Waldausprägung (mehrerheitlich unwirksame/ morsche/instabile Einzelbäume, dem Bemessungsblock nicht entsprechende Baumdimension) weisen auf eine unzureichende Schutzleistung und somit fehlende Zuverlässigkeit des Waldes hin. Der Wald ist im weiteren Verlauf der Gefahrenbeurteilung nicht oder nur sehr zurückhaltend zu berücksichtigen.

**B1 Zulässigkeit der Waldwirkung**

Gefahrenprozess	Relevante Wirkung der Schutzmassnahme auf risikorelevante Faktoren zu erwarten	Wirkung bestimmbar (quantitativ / qualitativ)
Steinschlag	Ja	ja
Blockschlag	Ja	ja
Felssturz	ja  (eingeschränkt auf kleinere Ereignisse) Bei grösseren Felsstürzen ist die Wirkung des Schutzwaldes kaum von Bedeutung und kann auch nicht beurteilt werden.	ja
Bergsturz	nein  Bei Bergstürzen ist die Wirkung des Schutzwaldes kaum von Bedeutung und kann auch nicht beurteilt werden.	-
Eisschlag	Ja	ja
Relevante Wirkung ist möglich und beurteilbar.	Relevante Wirkung ist möglich oder eingeschränkt möglich und beurteilbar oder eingeschränkt beurteilbar.	Keine Relevante Wirkung oder Relevante Wirkung ist möglich, aber nicht beurteilbar.

Tabelle 7

Zulässigkeit der Wirkung des Waldes für den Hauptprozess Sturz. Die generelle Zulässigkeit gilt jeweils für alle Massstabsebenen M1-M3. Die Tabelle entspricht dem aktuellen Stand des Wissens und muss nach Vorliegen neuer Erkenntnisse und Methoden angepasst werden.

## B2 Grundlegendaten

Wald	Analyse und Interpretation
<b>Orthofotos und terrestrische Aufnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Orthofotos</i>: Ermöglichen die Bestimmung der bewaldeten und unbewaldeten Hanglänge, der Baumartenzusammensetzung sowie einer Abschätzung der Stammzahl pro Fläche (z.B. Raster Sampling 20x20m). Ebenso bieten sie bei guter Auflösung die Möglichkeit Ereignisspuren (Ablagerung von Blöcken, Steinschlagschneisen, Waldschäden etc.) zu erfassen.</li> <li>• <i>Zeitreihenanalysen</i> von Orthofotos und <i>terrestrischen Aufnahmen</i>: Hilfreich zur Detektion aktiver Gebiete sowie bei der Beurteilung der Aktivität von Felswänden. Durch Analyse der zeitlichen und räumlichen Waldveränderung können die Prozessausmasse grösserer Ereignisse nachvollzogen werden.</li> </ul>
<b>Kartenmaterial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Topografische Karte</i>: Detektion von Felswänden/Abstürzen, kanalisierten Sturzbahnen sowie Hindernissen welche als Brems-, Beschleunigungs- oder Ablenkelement zum Tragen kommen können (Dämmen, Fallboden etc.). → Sprungschanzeneffekt beachten! Erlauben eine ungefähre Abschätzung der Waldentwicklung sowie Abgrenzung der räumlichen Ausdehnung des Waldes.</li> <li>• <i>Hangneigungskarte</i>: Trajektorie Steinschlag → Richtungsentwicklung, Reichweite (Bremsung, Beschleunigung).</li> </ul>
<b>Kataster</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Schutzbautenkataster</i>: Dieser ist mit Erkenntnissen aus Bildanalysen zu vergleichen und dient als Ergänzung zur Waldbeurteilung.</li> <li>• <i>Ereigniskataster</i>: In Kombination mit historischen Bildern lassen sich Ereignisse im Detail analysieren und erlauben Rückschlüsse auf aufgetretene Kräfte, Reichweiten sowie die Richtung des Prozesses.</li> <li>• <i>Karte der Phänomene</i></li> </ul>
<b>DHM/Hillshade</b>	Erkennung massgebender Ablösegebiete (Felswände sind im Kartenmaterial nicht immer korrekt dargestellt. Im DHM sind gestufte Felswände besser erkennbar.)
<b>LIDAR (Light Detection And Ranging)</b>	<i>LIDAR-Daten</i> liefern zahlreiche Informationen, wie BHD (Brusthöhendurchmesser), Grundfläche, Stammzahl, exakte Baumposition, mittlere Baumhöhe etc. und erlauben eine detaillierte Beurteilung der für den Prozess Sturz relevanten Parameter. Die automatisiert ausgewerteten Daten können Fehler enthalten und müssen je nach Beurteilungstiefe der Gefahrenbeurteilung durch Felderhebungen plausibilisiert werden.
<b>Bestandeskarten</b>	Bestandeskarten geben einen Überblick zur Waldentwicklung, fassen Waldflächen homogener Charakteristik zu Beständen zusammen und enthalten Informationen zur Baumartenmischung, Entwicklungsstufe, Alter, Deckungsgrad und Zustand. <i>Liegen keine Angaben vor, lassen sich diese mit verschiedenen existierenden Tools automatisiert auf Grundlagen von LIDAR-Daten ableiten.</i>
<b>Wald-Wild Gutachten der Kantone</b>	Diese dienen zur Abschätzung des Wildeinflusses. Die einzelnen Methoden in den Kantonen unterscheiden sich stark.
<b>Vegetationshöhenstufen heute und in Zukunft</b>	Ermöglichen eine Abschätzung der Höhenstufenverschiebung der Waldstandorte im Klimawandel und der klimafitten Baumarten. Dies kann mit der TreeApp durchgeführt werden.
<b>Bodenbedeckung</b>	<i>Swisstopo-Karten</i> : Informationen zu lokalen Besonderheiten z.B. Böschungen, Einschnitte, Dämme, Fels, Geröll, Felsblöcken, Waldzustand (geschlossener oder offener Wald, Einzelbaum, Gebüsch etc.) erlauben Rückschlüsse zur Dämpfung.
<b>Geologische Daten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>GeoCover</i>: Rückschlüsse bezüglich Lithologie. Grobe Abschätzung der zu erwartenden Blockgrössen. Informationen zur Schichtung sowie zum potenziellen Versagensmechanismus.</li> <li>• <i>Geologischer Atlas der Schweiz</i>: Detaillierte Auskunft hinsichtlich des obersten Bereichs des Untergrunds.</li> <li>• <i>Geologische und tektonische Karten</i>: Informationen zu regionalgeologischen Verhältnissen.</li> </ul>
<b>Allgemein</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gefahrenkarten und Gefahrenhinweiskarten</li> </ul>

Wald	Analyse und Interpretation
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Historisches Bildmaterial</li> <li>• Chroniken (Gemeinde, Kirche etc.)</li> <li>• Infos lokaler Kenner z.B. Waldbesitzer/in, Förster/in, Historiker/in etc.</li> <li>• Forstliche Planung (WEP, WP, Bestandskarte, Inventur)</li> <li>• Alte Gefahrenbeurteilungen</li> </ul>

Tabelle 8

Überblick möglicher Quellen zur Beurteilung eines Waldes hinsichtlich dessen Einflusses auf den Prozess Sturz im Rahmen der Desktopanalyse.

### B3 Szenarien Massnahmenbeurteilung

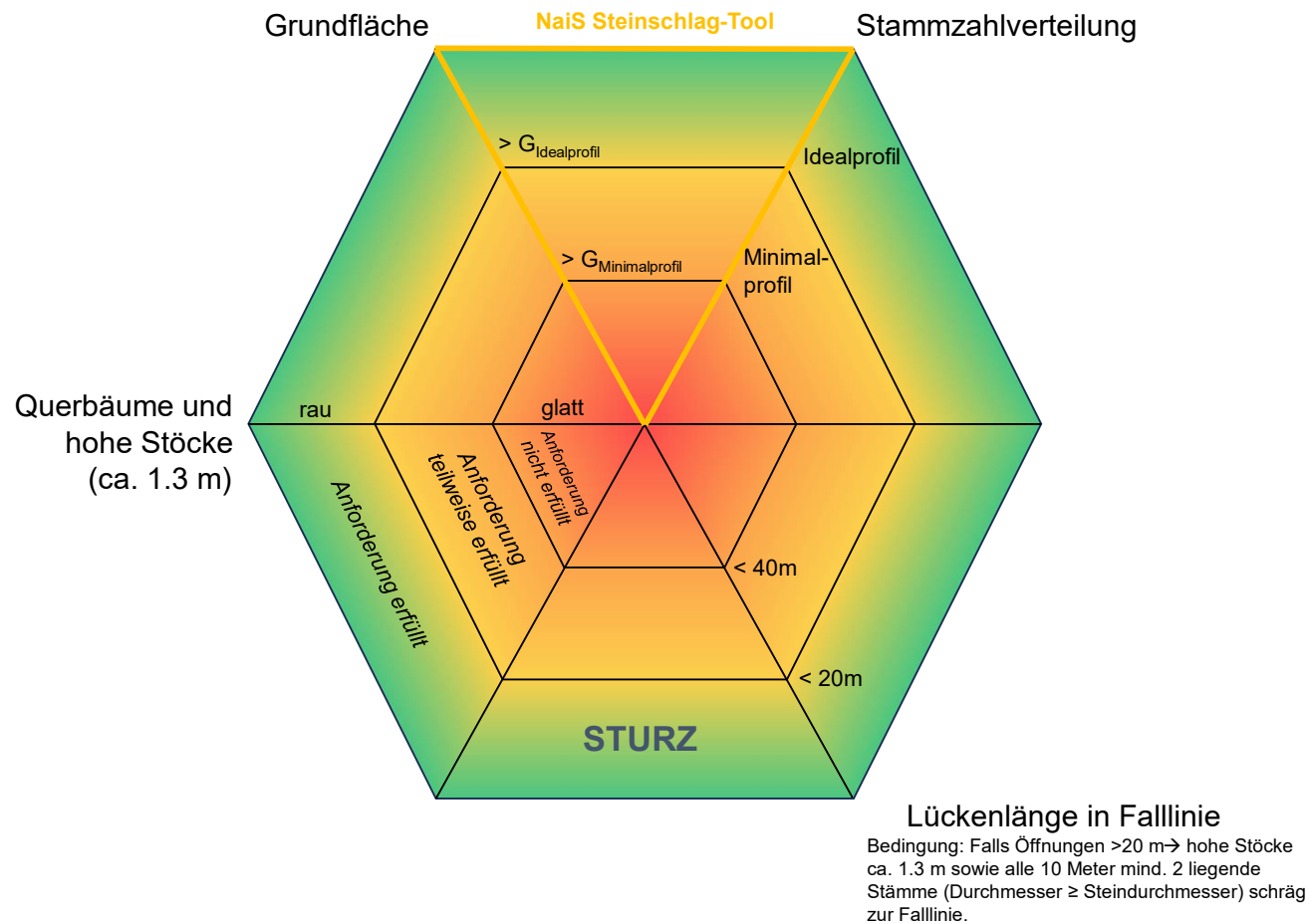
Sturz	Beschreibung
<b>Prozessklassifikation und Dimension Bemessungsblock</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prozessklassifikation – Sturz [32]: <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ <i>Steinschlag</i> (D &lt;50 cm) und <i>Blockschlag</i> (D ≥50 cm, V &lt;100 m<sup>3</sup>) (Einzelkomponenten) → Stoppen langsam stürzender Körper bis 5 m<sup>3</sup> durch Bäume möglich, bei grösseren Volumina bis 20 m<sup>3</sup> bzw. hohen Bewegungsenergien vornehmlich Beeinflussung der Ausbreitung und Intensität (Energievernichtung) [45].</li> <li>◦ <i>Felssturz</i> (Felssturzmasse, 100 - 1 Mio. m<sup>3</sup>): Waldwirkung (insbesondere hinsichtlich räumlicher Ausbreitung) nur bei kleineren Volumina anzunehmen. Grössere Felsstürze können grossräumige Zerstörungen bewirken. Relevanter Waldeinfluss einzig bei ausreichend bewaldeter Hanglänge und Anzahl Bäume im Bereich grosser Durchmesserklassen gegeben.</li> <li>◦ <i>Bergsturz</i> (Bergsturzmasse &gt;1 Mio. m<sup>3</sup>): → Keine Waldberücksichtigung!</li> </ul> </li> <li>• Definition der verschiedenen Szenarien erfolgt unter anderem aufgrund gefügeanalytischer und geomechanischer Eigenschaften der Trennflächen sowie der Analyse abgelagerter Sturzkörper im Untersuchungsperimeter → Sturzkörpergrösse und -form (Unterscheidung Ablösevolumen und massgebender Einzelblock) je Wiederkehrperiode.</li> </ul>

Wald	Beschreibung
<b>Interaktion Sturzkörper und Wald/Einzelbaum</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grosser Bedeutung kommt der unbewaldeten Transitstrecke (z.B. Lücken, Bewegungsbeginn oberhalb Waldgrenze) zu. Die Geschwindigkeit/Energiehöhe der Einzelkomponenten bestimmt den Grad des Schadensausmasses beim Eintritt in den Wald (→ räumliche Ausdehnung der Schäden beachten!): <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Wie hoch ist das Zerstörungspotenzial von Stein-/Blockschlag bzw. Felssturz?</li> <li>◦ Wie hoch ist die verbleibende Schutzwirkung?</li> </ul> </li> <li>• Gibt es Bereiche hoher Steinschlagaktivität (z.B. Steinschlagschneisen/-rinnen)?</li> </ul>

Tabelle 9

Beschreibung wichtiger Aspekte der Sturzkörper-Wald-Interaktion.

# B4 Spider-Diagramm als Beurteilungshilfe der biologische Massnahmen bei Sturzprozessen



Entwicklungsbox	
Kriterium	erwartete Entwicklung*
Verjüngung**	
Schutzwirkung***	
Gesamtbeurteilung	

Grundlage Abschätzung der Nachhaltigkeitskriterien gemäss NaiS (Formular 2), betrachteter Zeitraum: je nach Zielsetzung der Beurteilung (10 – 50 Jahre)

\* Entwicklungsskala: ++ / + / 0 / - / --

\*\*Verjüngung: Entwicklung einer zielkonformen Verjüngung mit Einbezug des Klimawandels und Wildeinflusses gemäss NaiS Formular 2 mit Unterhaltsmassnahmen (geplante oder durchgeführte Holzschläge)

\*\*\*Entwicklung der für die Schutzwirkung relevanten Kriterien je nach Prozess (vgl. Spider)

## Definition Waldparameter/Beurteilungskriterien

- > **Grundfläche:** Primär entscheidend ist die Grundfläche, welcher ein Sturzkörper auf seiner Sturzbahn begegnet. Die Grundfläche stellt die Summe der Grundflächen aller Bäume eines Bestandes (bezogen auf den Durchmesser in Brusthöhe BHD) dar und wird in m<sup>2</sup> pro Hektare angegeben. Sie bestimmt sich über die Stammzahl, die Durchmesser- und die bewaldete Hanglänge. Diese kann im Gelände beispielsweise mittels Smartphone-App, Spiegelrelaskop, Göttinger Flaschenöffner, Klappung oder Bitterlichplättchen erfolgen. Liegen LIDAR-Daten vor (Aktualität der Daten beachten!), kann die Informationen zur Grundfläche bereits am Desktop-Arbeitsplatz ein gewertet werden.
- > **Stammzahlverteilung (Stammzahl je Durchmesserklasse):** Neben der Erhebung der Stammzahl je Hektare erfolgt zudem die Erfassung für verschiedene Durchmesserstufen. Diese Information kann ebenso aus vorhandenen LIDAR-Daten hervorgehen. Mit zunehmender Stammzahl steigt die Trefferwahrscheinlichkeit von Einzelbäumen. Je kleiner die Sturzkörpergrösse, desto höher die Bedeutung der Stammzahl (höhere Trefferwahrscheinlichkeit). Der benötigte Stammdurchmesser hängt von der zu erwartenden Sturzkörpergrösse ab (Widerstandsfähigkeit) und ist für die potenzielle Energieumwandlung relevant. Die ideale Kombination von Stammzahl und Durchmesser hängt von der Sturzkörpergrösse und dessen Energie ab.
- > Für das NaiS Steinschlag-Tool [31] kann entweder ein Vergleich der Grundfläche oder der Stammzahlverteilung zwischen Ist- und Soll-Zustand erfolgen (je nach zur Verfügung stehender Daten). Die für das Tool erforderlichen Prozessparameter sind direkt im Tool [www.gebirgswald.ch/de/anforderungen-steinschlag.html](http://www.gebirgswald.ch/de/anforderungen-steinschlag.html) dargestellt. Die geführte Eingabe der Daten im Online-Werkzeug schätzt die Schutzleistung des Waldes ab und berechnet das dazugehörige NaiS Anforderungsprofil (minimal und ideal). Hierdurch wird ein Vergleich des aktuellen Zustands mit dem Ideal- bzw. Minimalzustand und eine anschliessende Beurteilung im Spider-Diagramm ermöglicht. Ebenfalls ist eine gutachtliche Beurteilung bei ausreichender Datengrundlage sowie Erfahrung ohne Verwendung des Steinschlag-Tools möglich.
- > **Öffnungen:** Die max. zulässige tatsächliche Öffnungslänge in Falllinie (von Stamm zu Stamm im Gelände gemessen) sollte 40 m nicht überschreiten (Geschwindigkeitszunahme). Im Zwischenbereich von 20-40 m sind hohe Stöcke (ca. 1.3 m) sowie alle 10 m mind. zwei liegende Stämme schräg zur Falllinie erforderlich. Die Höhe der Hindernisse muss  $\geq$  Steindurchmesser sein [38]. Öffnungen <20 m werden der bewaldeten Transitstrecke zugeordnet, wenn diese ausreichend Querbäume bzw. hohe Stöcke etc. aufweisen. Die Bestimmung der Lückenausdehnung kann sowohl im Feld als auch durch die Beurteilung des Vegetationshöhenmodells/Orthofotos am Büro-Arbeitsplatz erfolgen.
- > **Querbäume/hohe Stöcke:** Im Rahmen der Begehung ist der Durchmesser, die Anzahl sowie Ausrichtung von liegenden Stämmen bzw. Stöcken zu beurteilen. Querbäume schräg zur Falllinie mit ca. 70° sind am wirkungsvollsten. Je höher die Rauigkeit des Untergrunds, desto grösser ist die Wirkung hinsichtlich der Bremsung von Sturzkörpern. Ein glatter Untergrund aufgrund fehlender Querbäume bzw. Stöcke begünstigt die Beschleunigung von Sturzkörpern bzw. einen ungehinderten Transit.
- > **Verjüngung:** Die Verjüngung stellt den massgebendsten Aspekt für die Dauerhaftigkeit dar. Eine ausreichende Verjüngung (standorts- und klimaangepasst) gewährleistet eine zukünftige Aufrechterhaltung der Schutzfunktion des Waldes. Die Beurteilung der Verjüngung erfolgt gemäss der NaiS-Anforderungsprofile (minimal/ideal) für die unterschiedlichen Waldstandorte und Gefahrenprozesse [38]. Die Faktoren Wilddruck und Klimawandel (klimaangepasste Baumarten) sind im Hinblick auf nachhaltige dauerhafte Schutzwälder somit zwingend zu berücksichtigen.



## B5 Szenarien Massnahmenwirkung

Szenarien	Beschreibung
<b>Interaktion Sturzkörper und Wald/Einzelbaum</b>	<p>Wald kann die Mobilisierung von Sturzkörpern begünstigen (Hebelwirkung bei Wind-/Schneebelastung, Wurzelsprengung etc.) und in Ausnahmefällen auch hemmen (mechanische Stabilisierung). Entlang der Sturzbahn kann der Wald als Bremsselement wirken. Entscheidend ist die Wirkung des Systems, d.h. wie häufig ein Sturzkörper auf einen Baum trifft (begegnete Grundfläche) und welchen Einfluss dies auf dessen Sprunghöhe, Richtung bzw. Reichweite hat.</p> <p>Im Detail sind folgende Fragen abzuhandeln:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Welche Stammzahl und Durchmesser-Verteilung wird zur Bremsung von Sturzkörpern benötigt? Grössere Sturzkörper können am effizientesten durch dicke Bäume gestoppt werden. Bei kleineren Steinen ist hingegen eine hohe Stammzahl günstig (höhere Trefferwahrscheinlichkeit). <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ NaiS Steinschlag-Tool: Dateninput und Ermittlung prozessspezifischer Kennzahlen, z.B. erforderlicher Stammzahl, nachhaltiger Grundfläche.</li> </ul> </li> <li>• Wie hoch ist die Energieabsorption (Abhängigkeit von Baumart und Trefferbereich entlang horizontaler Stammachse z.B. frontal, lateral, touchieren) sowie Wundausheilung (baumartenspezifisch) eines Baumes? <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Energieabsorption resultiert in geringerer Geschwindigkeit und Sprunghöhe. Energieumwandlung von kinetischer Energie in Verformungsenergie.</li> </ul> </li> <li>• Gibt es Bereiche hoher Steinschlagaktivität (z.B. Steinschlagschneisen/-rinnen)? <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Räumliche Verteilung der Bestandeselemente entscheidend!</li> </ul> </li> <li>• Ist eine Remobilisierung entlang der Sturzbahn möglich (z.B. Hangschutt, Moränenblöcke, Lösung aus Wurzeltellern etc.)?</li> <li>• Können Bestandes- bzw. Querbäume oder Stöcke (&gt;1.3 m) eine Richtungsänderung/Kanalisation/Bremsung der Sturzkörper bewirken?</li> <li>• Grosser Bedeutung kommt der unbewaldeten Transitstrecke zu. Die Geschwindigkeit/Energiehöhe der Einzelkomponenten bestimmt den Grad des Schadensausmasses beim Eintritt in den Wald <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Wie hoch ist das Zerstörungspotenzial von Stein-/Blockschlag bzw. Felssturz?</li> </ul> </li> </ul> <p>Treten Schäden auf, so ist zu klären, ob das mögliche Schadensausmass weitreichende Konsequenzen für die Schutzleistung des Waldes im Falle weiterer Prozessaktivitäten hat (z.B. teilweiser bzw. vollständiger Funktionsverlust der Schutzleistung, erhöhte Rauigkeit durch geworfene Bäume (positiv), geringere Wahrscheinlichkeit von Baumtreffern bei weiten Sprüngen mit hoher Sprunghöhe (negativ)).</p>
Negative Auswirkung	Beschreibung
<b>Punktuell</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hebelwirkung, Wurzelsprengung, Freilegung mobilisierbaren Materials (Windwurf - Wurzelteller) (=Sekundärer Steinschlag aus Wurzelwerk).</li> <li>• Verklausung: Eintrag von Schwemmholz und/oder Geschiebe durch Sturzprozess aus Gerinneeinhang.</li> </ul>

Tabelle 10

Zusammenstellung der Wirkungen des Waldes auf den Prozess Sturz sowie ggf. zu berücksichtigende negative Auswirkungen.

## C – Prozess RUTSCH

### 1.3 Beurteilung Schutzleistung – Prozess Rutsch (Wald und ingenieurbioologische Massnahmen)

#### 1.3.1 Grundlagendaten – Analyse und Interpretation

Die Wirkung von biologischen Massnahmen als Schutzmassnahmen beschränkt sich beim Prozess Rutschung weitgehend auf flachgründige Rutschungen (<2 m) sowie Hangmuren (Checkliste C1). Auf mittel- bis tiefgründige Rutschungen (>2 m) haben die Massnahmen höchstens einen hydrologischen Einfluss, welcher jedoch schwer quantifizierbar ist. Die Wurzelverstärkung auf Bestandesebene ist der Haupteinflussfaktor der Massnahmen. In Abhängigkeit der Wurzelverstärkung der Pflanzen, der Ausprägung des Reliefs, des Bodentyps sowie des Niederschlagsereignisses kann die Massnahme die Häufigkeit und das Ausmass flachgründiger Rutschungen respektive Hangmuren reduzieren. Dabei spielt auch die mechanische unterschiedliche Wurzelwirkung der verschiedenen Baumarten eine Rolle. Generell können Baumarten mit einem Herzwurzelsystem (Buche) den Boden besser bewurzeln als Baumarten mit einer Senkerwurzel (Tanne) oder flachwurzeln Baumarten (Fichte). Da das Anforderungsprofil NaiS für Rutschung zurzeit in Überarbeitung ist, wird für die Beurteilung das Anforderungsprofil "Gerinne" (NaiS) verwendet. Das Spiderdiagramm (D4) wird angepasst, sobald das neue Anforderungsprofil Rutschungen vorliegt.

#### Desktopanalyse

Der Fokus der Waldansprache liegt auf den Parametern Lückenlänge in Falllinie (von Stamm zu Stamm gemessen), Lückengrösse und Kronendeckungsgrad. Diese können mit Hilfe der bestehenden forstlichen Grundlagen und Fernerkundungsmittel wie Luftbildern und Vegetationshöhenmodellen angesprochen werden. Die Beurteilung dieser Parameter ist in allen Massstabsebenen notwendig. Ab Massstabsebene M2 wird empfohlen Grundlagen punktuell im Gelände zu überprüfen und im Bedarfsfall durch Erhebungen vor Ort zu ergänzen.

#### Geländeaufnahme

Schwerpunkt der Feldbegehung ist die Verifikation vorhandener Grundlagendaten. Zusätzlich können fehlende Daten erhoben bzw. ergänzende Informationen (z.B. Bodentyp, -art und -tiefe, vorhandene Verjüngung und die genaue Baumartenzusammensetzung) angesprochen werden. Für die Massnahme Wald dient das Spider-Diagramm (Checkliste D4) als Beurteilungs- und Dokumentationsgrundlage.

#### Stumme Zeugen

Der Waldbestand liefert wichtige Erkenntnisse zu vorhandenen Rutschprozessen. Stumme Zeugen geben Aufschluss zu einzelnen oder mehreren Prozessgrössen und erlauben dem/der Spezialisten/in eine Abschätzung der Waldwirkung:

- Waldvegetation: Alter der Vegetation, Ausprägung/Form der Waldvegetation (schiefstehende Bäume, Säbelwuchs, gespannte Wurzeln etc.), gestörte flächige Ausprägung der Vegetationsdecke.
- Wirkung auf Prozess: Ausdehnung Prozessraum (Absackungen, Rutschungsanrisse und Ablagerungen), Ereignisgeschwindigkeit, Ereignishäufigkeit, Prozessart (flach-/tiefgründig).

### 1.3.2 Beurteilung der Massnahme

Die im Rahmen der Desktopanalyse sowie Geländebegehung analysierten Daten werden für die Beurteilung der Zuverlässigkeit der Massnahme herangezogen. Checkliste C3 beschreibt Aspekte des Einflusses des Kleinreliefs und der Prozessüberlagerung. Die Parameter Lückengrösse, Lückenlänge und Kronendeckungsgrad werden mittels des Spider-Diagramms (D4) bewertet. Als Resultat der Massnahmenbeurteilung wird die Zuverlässigkeit des Waldes auf den Rutschprozess abgeschätzt. Die der Wahl der Zuverlässigkeit zu Grunde liegenden Überlegungen sind zur Gewährleistung der Nachvollziehbarkeit festzuhalten.

### 1.3.3 Beurteilung der Wirkung auf den Rutschprozess (ausserhalb PROTECTpraxis)

In Abhängigkeit der Zuverlässigkeit erfolgt eine vollständige, teilweise oder keine Berücksichtigung des Waldes. Zudem werden allfällige negativen Wirkungen geprüft.

Je nach Massstabsebene ist für den Prozess Rutschung bei Fortsetzung der Gefahrenbeurteilung eine Untersuchung im Gelände mit einem Vergleich der einzelnen Szenarien (im Anriss-, Transit- und Ablagerungsgebiet) mit einer Modellierung bei M2 und M3 mit unterschiedlichem Aufwand sinnvoll. Dafür gibt es verschiedene Modelle, die dafür eingesetzt werden können. Dort wo sich die Massnahmenflächen mit einem relevanten Schadenpotential überlappen, wird die Wirkung der lateralen und basalen Wurzelverstärkungen mit einfachen Modellen abgeschätzt, um einen Vergleich der Wirkung mit und ohne Wald zu erhalten.

**Tab. 3: Ansatz zur Waldberücksichtigung bei Rutschprozessen**

*Qualitativer Ansatz zur Berücksichtigung der Zuverlässigkeit (Ergebnis der Massnahmenbeurteilung) in der Wirkungsbeurteilung (ausserhalb PROTECTpraxis). Die Anwendung eines oder mehrere der Ansätze ist zulässig und erlaubt eine Berücksichtigung der Tendenz der Zuverlässigkeitsbeurteilung.*

Berücksichtigung Wald im:	Zuverlässigkeit		
	++ (≙ hoch)	+ (≙ eingeschränkt)	0 (≙ gering)
<b>Anrissgebiet</b>	Ausscheidung Anrissgebiete unter Berücksichtigung des Waldes		Ausscheidung ohne Wald
	Reduktion Eintretenswahrscheinlichkeit (z.B. bei Baumartenzusammensetzung )		
<b>Transitgebiet</b>	Berücksichtigung der Bremswirkung		keine Bremswirkung
<b>Ablagerungsgebiet</b>	Berücksichtigung der Bremswirkung		keine Bremswirkung

## C1 Zulässigkeit der Waldwirkung

Gefahrenprozess		Relevante Wirkung der Schutzmassnahme auf risikorelevante Faktoren zu erwarten	Wirkung bestimmbar (quantitativ / qualitativ)
Rutschung spontan	flachgründig / Hangmure	ja	ja
	mittelgründig	ja Es sind sowohl positive als auch negative Wirkungen zu erwarten.	nein Die Quantifizierbarkeit der allfälligen Wirkungen ist nicht möglich.
	tiefgründig	ja Es sind sowohl positive als auch negative Wirkungen zu erwarten.	nein Die Quantifizierbarkeit der allfälligen Wirkungen ist nicht möglich.
Rutschung permanent	mittelgründig	ja Es sind sowohl positive als auch negative Wirkungen zu erwarten.	nein Die Quantifizierbarkeit der allfälligen Wirkungen ist nicht möglich.
	tiefgründig	ja Es sind sowohl positive als auch negative Wirkungen zu erwarten.	nein Die Quantifizierbarkeit der allfälligen Wirkungen ist nicht möglich.
Einsturz / Absenkung	-	ja Es sind positive Wirkungen in geringem Ausmass denkbar.	nein Die Quantifizierbarkeit der allfälligen Wirkungen ist nicht möglich.
Relevante Wirkung ist möglich und beurteilbar.		Relevante Wirkung ist möglich oder eingeschränkt möglich und beurteilbar oder eingeschränkt beurteilbar.	Keine Relevante Wirkung oder Relevante Wirkung ist möglich, aber nicht beurteilbar.

Tabelle 11

Zulässigkeit der Wirkung des Waldes für den Hauptprozess Rutschung. Die generelle Zulässigkeit gilt jeweils für alle Massstabsebenen M1-M3. Die Tabelle entspricht dem aktuellen Stand des Wissens und muss nach Vorliegen neuer Erkenntnisse und Methoden angepasst werden.

## C2 Grundlegendaten

Wald	Analyse und Interpretation
<b>Terrainmodell (DHM)</b>	Dient zur Erkennung grosser Rutschgebiete, Absackungen, möglicher Ablagerungsgebiete.
<b>Vegetationshöhenmodell (VHM)</b>	Die Vegetationshöhe erlaubt Rückschlüsse zur Entwicklungsstufe und Baumhöhe.
<b>Orthofotos und terrestrische Aufnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Orthofotos</i> (Sommer und Winter) geben Aufschluss zur Baumartenzusammensetzung und ermöglichen die Abschätzung des horizontalen Gefüges (räumliche Verteilung) respektive der Lückengrösse (Lückenlänge und -breite). Ebenso lässt sich mit deren Hilfe der Deckungsgrad (Mass für die gegenseitige Bedrängung der Baumkronen eines Bestandes.) bestimmen.</li> <li>• <i>Zeitreihenanalysen</i> von Orthofotos und <i>terrestrischen Aufnahmen</i> ermöglichen neben einer Analyse der Waldentwicklung zudem die Detektion und Bestimmung des Ausmasses historischer Naturereignisse (Lawinen, Sturz, Rutschungen etc.), anderer Gefährdungen (Kalamitäten, Sturm, Waldbrand etc.) sowie des menschlichen Einflusses (Waldweide, Waldbewirtschaftung, Wegebau etc.).</li> </ul>
<b>Kartenmaterial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Topografische Karte</i>: Eine Analyse der topografischen Karten (Zeitreihenanalyse) ermöglicht eine ungefähre Abschätzung der Waldentwicklung sowie Abgrenzung der räumlichen Ausdehnung des Waldes.</li> <li>• <i>Hangneigungskarte</i>: Die Hangneigungskarte dient zur Ermittlung potenzieller Anrissgebiete.</li> </ul>
<b>Kataster</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Schutzbautenkataster</i>: Dieser ist mit Erkenntnissen aus Bildanalysen zu vergleichen und dient als Ergänzung zur Waldbeurteilung.</li> <li>• <i>Ereigniskataster</i>: In Kombination mit historischen Bildern lassen sich Ereignisse im Detail analysieren.</li> </ul>
<b>LIDAR (Light Detection And Ranging)</b>	<i>LIDAR-Daten</i> liefern zahlreiche Informationen, wie BHD (Brusthöhendurchmesser), Grundfläche, Stammzahl, exakte Baumposition (Lückengrösse), mittlere Baumhöhe etc. und erlauben eine detaillierte Beurteilung der für den Prozess Rutschung relevanten Parameter. Die automatisiert ausgewerteten Daten können Fehler enthalten und müssen je nach Beurteilungstiefe der Gefahrenbeurteilung durch Felderhebungen plausibilisiert werden.
<b>Bestandeskarten</b>	Bestandeskarten geben einen Überblick zur Waldentwicklung, fassen Waldflächen homogener Charakteristik zu Beständen zusammen und enthalten Informationen zur Baumartenmischung, Entwicklungsstufe, Alter, Deckungsgrad und Zustand. <i>Liegen keine Angaben vor, lassen sich diese mit verschiedenen existierenden Tools automatisiert auf Grundlagen von LIDAR-Daten ableiten.</i>
<b>Waldstandorts- und Bodenkarten</b>	Zur Abschätzung rutschungsgefährdeter Gebiete und der vorhandenen Bodentypen. Dies sind typische wechselfeuchte Waldstandorte, die rutschanfällig sind, wie z.B. der Hochstauden-Tannen-Fichtenwald mit Pestwurz (50P) oder in den unteren Höhenstufen der z.B. der Eiben-Buchenwald (17). Die rutschungssensiblen Standorte können in NaiS [38] nachgeschlagen werden.
<b>Wald-Wild Gutachten der Kantone</b>	Diese dienen zur Abschätzung des Wildeinflusses. Die einzelnen Methoden in den Kantonen unterscheiden sich stark.
<b>Vegetationshöhenstufen heute und in Zukunft</b>	Ermöglichen eine Abschätzung der Höhenstufenverschiebung der Waldstandorte im Klimawandel und der klimafitten Baumarten. Dies kann mit der Tree App durchgeführt werden.
<b>Allgemein</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gefahrenkarten und Gefahrenhinweiskarten</li> <li>• Historisches Bildmaterial</li> <li>• Chroniken (Gemeinde, Kirche etc.)</li> <li>• Infos lokaler Kenner z.B. Waldbesitzer/in, Förster/in, Historiker/in etc.</li> <li>• Forstliche Planung (WEP, WP, Bestandeskarte, Inventur)</li> <li>• Alte Gefahrenbeurteilungen</li> </ul>

zusätzlich für ingenieurbioologische Massnahmen	
<b>Planungsunterlagen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzungsvereinbarung und Projektbasis</li> <li>• Projektpläne und Berichte</li> <li>• Bemessung (Berechnungen)</li> <li>• Ausführungspläne und -berichte</li> <li>• Unterhaltspläne</li> </ul>

Tabelle 12

Überblick möglicher Quellen zur Beurteilung eines Waldes hinsichtlich dessen Einflusses auf den Prozess Rutschung im Rahmen der Desktopanalyse.

### C3 Szenarien Massnahmenbeurteilung

Szenarien Rutschung	Beschreibung
<b>Dimensionen der Rutschung und Relevanz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prozessklassifikation – Rutschung: <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ <i>Flachgründige Rutschungen (Rutschhorizont &lt;2 m)</i>: Die Waldwirkung kann immer als relevant betrachtet werden, ausser bei einer negativen Wirkung wie zum Beispiel der Mobilisierung von Schwemmholz entlang eines Baches oder oberhalb eines Schadenpotentials (Haus, Strasse etc.), welches durch einen umfallenden Baum getroffen werden kann.</li> <li>◦ <i>Mittel und tiefgründige Rutschungen (Rutschhorizont &gt;2 m)</i>: Der Wald hat kaum einen Einfluss auf den Prozess, und dieser kann zudem kaum quantifiziert werden. Die Waldwirkung ist in diesem Fall nicht relevant.</li> <li>◦ <i>Hangmure</i>: Die Waldwirkung kann immer als relevant betrachtet werden.</li> </ul> </li> <li>• Basierend auf den Daten des Ereigniskatasters in der Schweiz (HM Datenbank BAFU) können folgende Szenarien für flachgründige Rutschungen formuliert werden: <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Mächtigkeit: 0.5-2 m (Durchschnitt: 1.1 m)</li> <li>◦ Rutschfläche: 30-2'000 m<sup>2</sup> (Median ca. 200 m<sup>2</sup>, 90% der Rutschflächen &lt;400 m<sup>2</sup>)</li> <li>◦ Hangneigung: 25°-45° (Durchschnitt: 30°-35°)</li> </ul> </li> </ul>

Wald	Beschreibung
<b>Einfluss des Kleinreliefs</b>	<p>Eine grosse Bedeutung kommt dem Kleinrelief (Kuppen- und Muldenlage) innerhalb einer potenziellen Anrisszone zu. Die Kuppe ist meist flachgründiger und dichter bestockt als die Mulde, in der der Boden tiefgründiger ist. Die Stammzahl ist in der Mulde natürlicherweise weniger hoch. Die Verjüngung des Waldes ist aufgrund der Kombination von gravitativen Prozessen, wie z.B. Schneegleiten im Winter und der höheren Anfälligkeit von Hangmuren im Sommer, schwieriger. Hierdurch kann es Mulden geben, in denen der Wald kaum aufkommen kann. Diese Unterschiede haben einen Einfluss auf die Zuverlässigkeit. Auf der Kuppe ist diese meist als hoch einzuwerten, in der Mulde eingeschränkt oder gering. Dies muss in den Massstabsebenen M2 und insbesondere M3 berücksichtigt werden.</p>
<b>Prozessüberlagerung</b>	<p>Vielfach überlagern sich die Prozessräume z.B. Lawine (Schneerutsch) und flachgründige Rutschungen. In diesem Fall muss im Einzelnen entschieden werden, bei welchen Prozess die Massnahme prioritär beurteilt wird. Das hängt von der Massstabsebenen bei der weiteren Gefahrenbeurteilung ab.</p>

Tabelle 13

Zusammenstellung möglicher Szenarien und Grundlagen für den Prozess Rutschung zur Abschätzung der Wurzelverstärkung.

## C4 Spider-Diagramm als Beurteilungshilfe der biologischen Massnahmen bei Rutschprozessen

Das Anforderungsprofil "Rutschung" von NaiS wird zurzeit überarbeitet. Für flachgründige Rutschungen und Hangmuren ist bis zum Vorliegen des überarbeiteten Anforderungsprofils das Anforderungsprofil "Gerinne" und entsprechend das Spider-Diagramm und die Erläuterungen für Gerinneprozesse zu verwenden. Das Spider-Diagramm ist anzupassen, sobald die Überarbeitung von NaiS vorliegt.

## C5 Szenarien Massnahmenwirkung

Wirkungszone	Beschreibung
<b>Entstehungszone</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Wurzelverstärkung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Hat bei jedem Szenario eine positive Wirkung. Bei häufigen Szenarien (z.B. Niederschlagsereignissen mit schwacher Intensität) ist die Wirkung grösser als bei seltenen (z.B. Starkniederschlag mit grosser Intensität).</li> </ul> </li> <li>• <b>Gewicht der Bäume:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Hat einen positiven Einfluss (grössere Bäume, haben ein grösseres Wurzelwerk) [43]. Auf die Prozessfläche betrachtet ist es irrelevant.</li> </ul> </li> <li>• <b>Baumart:</b> <p>Die Bewurzelung spielt eine Rolle für die Wurzelverstärkung. Je tiefgründiger ein Baum wurzeln kann, desto besser ist seine Wirkung. Dies ist vom Wurzeltyp (Flach-, Herz-, Senkerwurzelssystem) und dem Boden (Gründigkeit und Vernässung) abhängig.</p> </li> <li>• <b>Hydrologische Wirkung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Die Evapotranspiration der Bäume vor einem Ereignis wirkt positiv als scheinbare Kohäsion. Bei häufigeren Szenarien ist die Wirkung höher als bei seltenen.</li> <li>○ Die erhöhte Infiltration des Wassers in den Boden entlang von Wurzeln und die biologische Aktivität führt zu einer raschen Abnahme der scheinbaren Kohäsion. Dies führt aber auch zu einem raschen lateralen Zwischenabfluss, welcher den Porenwasserdruck reduziert. Dies wirkt sich wiederum rutschungsmindernd aus.</li> <li>○ Die Interzeption wirkt immer positiv. Bei häufigen Szenarien ist die Wirkung grösser als bei seltenen (z.B. Starkniederschlägen).</li> </ul> </li> </ul>
<b>Transit- und Ablagerungszone</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Bremswirkung der Bäume:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Kann positiv oder negativ sein.</li> <li>○ Einzelberücksichtigung während der Gefahrenbeurteilung im Feld.</li> </ul> </li> </ul>

Negative Auswirkung	Beschreibung
<b>Mittransport von Baumstämmen</b>	Der Mittransport von Baumstämmen und anderem Fremdmaterial ist zu prüfen. Insbesondere direkt oberhalb eines Schadenpotentials im Bereich einer Baumlänge kann dies relevant sein.
<b>Verklausungen und Hindernisse</b>	Entlang eines Gerinnes besteht die Gefahr von Verklausung von Bäumen, in dem die Bäume in das Gerinne fallen und bei einem späteren Ereignis talabwärts transportiert werden können, wo es bei einem Ereignis zur Verklausung kommen kann. Die Transportfähigkeit von potenziellem Schwemholz hängt vom Gerinne und dem Szenario ab. Dies muss im Feld genauer beurteilt werden.

Tabelle 14

Zusammenstellung der Wirkungen des Waldes auf den Prozess Rutschung sowie ggf. zu berücksichtigende negative Auswirkungen.

## D – Prozess WASSER (Gerinne)

### 1.4 Beurteilung Schutzleistung – Prozess Wasser

Bäche und Flüsse können Menschen und Infrastrukturen durch Murgänge, Übersarung und Hochwasser bedrohen. Wälder und ingenieurbioökologische Massnahmen können wirksam vor diesen Naturgefahren schützen, indem sie Ufer stabilisieren, den Geschiebeeintrag ins Gerinne (Wirkung auf Feststoffhaushalt) verringern und die Wasserspeicherkapazität des Bodens erhöhen (Wirkung auf Abflussbildung). Eine Übersicht der Zulässigkeit der Berücksichtigung des Waldes für die Teilprozesse Überflutung/Übersarung, Übermürung und Ufererosion findet sich in Checkliste D1.

Von Wald und in geringerem Masse auch von ingenieurbioökologischen Massnahmen können im Gerinnebereich auch negative Wirkungen ausgehen. Insbesondere Schwemmholtz im Gerinne kann im Hochwasserereignis kritisch sein, wenn es zu Schwachstellen transportiert wird. Geeignete Waldstrukturen und Unterhaltsmassnahmen helfen in beiden Zonen die Schwemmholtzmenge gering zu halten.

#### 1.4.1 Grundlagendaten – Analyse und Interpretation

##### Desktopanalyse

In einem ersten Schritt werden die gerinneprozessspezifischen Waldkennndaten bzw. die Informationen aus der Planung und Umsetzung der ingenieurbioökologischen Massnahmen analysiert und interpretiert. Der Fokus der Waldansprache liegt auf den Parametern Lückenzahl in Falllinie, Lückengrösse und Kronendeckungsgrad. Diese können mit Hilfe der bestehenden forstlichen Grundlagen und Fernerkundungsmittel wie Luftbildern und Vegetationshöhenmodellen angesprochen werden. Die Beurteilung dieser Parameter ist in allen Massstabsebenen notwendig. Ab Massstabsebene M2 wird empfohlen Grundlagen punktuell im Gelände zu überprüfen und im Bedarfsfall durch Erhebungen vor Ort zu ergänzen.

Weitere Kriterien, wie die Verfügbarkeit von Schwemmholtz (mobilisierbare Bäume, Totholtz, rutschgefährdetes Holtz) lassen sich nur eingeschränkt in der Desktopanalyse bestimmen. In Massstabsebene M1 sind diese beiden Parameter somit kaum verwendbar. In den Massstabsebenen M2 und M3 sind sie im Gelände zu erheben.

##### Geländeaufnahme

Die zentralen Parameter sind im Gelände, soweit notwendig, zu verifizieren. Dies geschieht idealerweise gleichzeitig mit Aufnahmen zur Erfassung des Geschiebepotenzials, z.B. bei Anwendung der Methode SEDEX [30]. In Waldteilen, bei denen sich die Wirkung auf die Abflussbildung beschränkt, sind keine spezifischen Geländeaufnahmen notwendig. Für die Massnahme Wald dient das Spider-Diagramm (Checkliste D4) als Beurteilungs- und Dokumentationsgrundlage.

##### Stumme Zeugen

Auch bei den Wasserprozessen kann die Vegetation wichtige Erkenntnisse zu den Prozessen liefern. Stumme Zeugen geben Aufschluss zu Prozessart und Einwirkungen und helfen so bei der Abschätzung der Waldwirkung:

- Vegetation: Räumliche Verteilung der Vegetationsschäden, Alter der Vegetation bzw. Vegetationsschäden (Verjüngung, Überwallung von Verletzungen, Austrieb neuer Triebe etc.), Ausprägung/Form der Schäden (Wuchsformen, Bruch, Entwurzelung, Wurfrichtung, Mittransport der geworfenen Bäume etc.), Baumartenzusammensetzung.



- Wirkung auf Prozess: Ereignishäufigkeit, Prozessreichweite/-ausdehnung, Prozesswirkung (räumliche Variabilität), Prozessart (Hochwasser, Murgang).

#### 1.4.2 Beurteilung der Massnahme

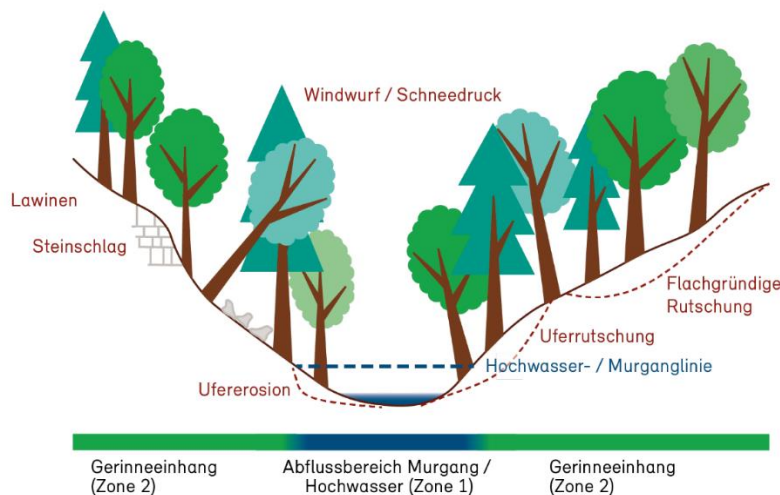
Für die Beurteilung der Wirkung der biologischen Schutzmassnahmen ist zwischen Talflüssen/flachen Gewässern und Wildbächen zu unterscheiden. An Talflüssen werden in der Regel die Waldflächen bezüglich Hydrologie (Abflussbildung) und Geschiebelieferung nicht gezielt berücksichtigt. Für die Bestimmung der Hochwasserabflussmengen an grösseren Gewässern stehen oft Daten von Abflussmessstationen zur Verfügung. Diese Daten beinhalten quasi automatisch die hydrologische Wirkung der Wälder in den Einzugsgebieten. Dabei ist allenfalls zu berücksichtigen, dass sich die Waldflächen und deren Zustand im Verlaufe der langjährigen Messungen möglicherweise erheblich verändert haben und saisonal nicht konstant sind (Vegetationsperiode).

Sind keine Abflussmessstellen bzw. genügend lange Messreihen vorhanden, was insbesondere bei Wildbächen der Fall ist, werden die Hochwasserabflussmengen üblicherweise anhand empirischer Abschätzmethode bestimmt. Diese beinhalten die hydrologische Waldwirkung, zumindest teilweise, insofern, dass sie die Einzugsgebiete aufgrund der Bodenbedeckung in Teilflächen gliedern und diesen unterschiedliche Oberflächenabflusskoeffizienten zuweisen.

Es können auch genauere Werte zur Bestimmung des Abflussbeitrags einzelner Flächen (Bodenbedeckung, Geologie, Bodentyp und weitere Parameter) bestimmt und für Hochwassermodellierungen verwendet werden. Ein solches Verfahren ist jedoch aufwändig und zurzeit wohl nur in speziellen Fällen gerechtfertigt.

Abb. 1 Gerinneschutzwald

Querprofil im Gerinneschutzwald [33] (aus NaiS, Kapitel 5 Gerinneprozesse (2021)).



Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich hauptsächlich auf die Waldwirkungen in Einzugsgebieten ohne Abflussmessstellen. Sie können aber, zumindest teilweise, auch bei Talflüssen und für ingenieurbioologische Bauweisen angewendet werden.

NaiS [37] unterscheidet für den gerinnerelevanten Schutzwald 2 Zonen:

- Zone 1 - Abflussbereich Murgang/Hochwasser entlang des Gewässers: In Zone 1 wirken Wald und ingenieurbioologische Massnahmen bezüglich Feststoffhaushalt stabilisierend auf das Ufer und

schützen es vor Erosion und Unterspülung. Zudem können sie im Hochwasserbereich den Abfluss verlangsamen und somit wiederum vor Erosion schützen.

- **Zone 2: Gerinneeinhang:** In Zone 2 wirken Wald und ingenieurbioologische Massnahmen bezüglich Feststoffhaushalt durch Schutz der Hänge vor Erosion und durch die Reduktion bzw. Verhinderung von geschiebe- und schwemmholzliefernden Prozessen wie Rutschungen und im Falle von Wald auch von Lawinen und Sturz.

Die ingenieurbioologischen Massnahmen können vom Ablauf her analog dem Wald beurteilt werden. Die Kriterien leiten sich aber aus den Zielen und Bemessungen aus der Planungsphase ab. Je nach Bauweise bietet sich auch das Vorgehen gemäss den baulichen Massnahmen (Spider-Diagramme) an.

Bezüglich der Wirkung des Waldes auf die Feststofflieferung in die Gerinne, verursacht durch Rutschungen oder Lawinen, sind die entsprechenden Beurteilungshilfen zu verwenden. Der Entscheid über die Anwendung liegt im Ermessen der beurteilenden Fachperson.

#### 1.4.3 Beurteilung der Wirkung auf den Wasserprozess (ausserhalb PROTECTpraxis)

In Abhängigkeit der bestimmten Zuverlässigkeit erfolgt eine vollständige, teilweise oder keine Berücksichtigung des Waldes. Von zentraler Bedeutung ist, dass aus der Beurteilung ersichtlich wird, aus welchen Gründen dem Wald eine bestimmte Zuverlässigkeit zugewiesen wurde. Daraus lassen sich Einschränkungen der Wirkung ableiten.

Bei der Umsetzung in der Massnahmenwirkung in der Wirkungsanalyse können die in **Tab. 4** aufgeführten Fälle unterschieden werden. Wurde der Wald bereits bei der Abflussbildung berücksichtigt, ist er in der Wirkungsbeurteilung nicht erneut zu beurteilen.

Befinden sich bereits relevante Totholz mengen im Gerinne oder muss im Hochwasserfall davon ausgegangen werden, dass Schwemmholz in den ufernahen Bereichen mobilisiert werden kann, sind diese negativen Wirkungen ebenfalls in der Wirkungsbeurteilung zu berücksichtigen.

**Tab. 4: Ansatz zur Waldberücksichtigung bei Wasserprozessen**

*Qualitativer Ansatz zur Berücksichtigung der Zuverlässigkeit (Ergebnis der Massnahmenbeurteilung) in der Wirkungsbeurteilung. Die Anwendung eines oder mehrere der Ansätze ist zulässig und erlaubt eine Berücksichtigung der Tendenz der Zuverlässigkeitsbeurteilung.*

Ansatz Waldberücksichtigung	Zuverlässigkeit		
	++ ( $\triangleq$ hoch)	+ ( $\triangleq$ eingeschränkt)	0 ( $\triangleq$ gering)
<b>Einzugsgebiet (Abflussbildung)</b>	Berücksichtigung bei der Hochwasserabschätzung		Abschätzung Hochwasserabfluss ohne Wald
<b>Zone 1</b>	Berücksichtigung der Uferstabilisierung und damit Reduktion des Geschiebepotenzials bzw. der Geschiebefracht		Keine Geschiebereduktion
<b>Zone 2</b>	Berücksichtigung des Erosionsschutzes bzw. der Hangstabilisierung und damit Reduktion des Geschiebepotenzials bzw. der Geschiebefracht		Keine Geschiebereduktion

**D1 Zulässigkeit der Waldwirkung**

Gefahrenprozess	Relevante Wirkung der Schutzmassnahme auf risikorelevante Faktoren zu erwarten	Wirkung bestimmbar (quantitativ / qualitativ)
Überflutung (hydrologische Wirkung)	ja	ja, eingeschränkt  Die Quantifizierbarkeit der Wirkung kann in der Regel lediglich grob abgeschätzt werden (übliche Empirische Methoden). Eine genauere Bestimmung ist nur mit sehr grossem Aufwand möglich.
Übersarung / Übermurung (Wirkung auf Geschiebelieferung bzw. Feststoffhaushalt)	ja	ja
Erosion (Bodenstabilisierende Wirkung)	ja	ja
Relevante Wirkung ist möglich und beurteilbar.	Relevante Wirkung ist möglich oder eingeschränkt möglich und beurteilbar oder eingeschränkt beurteilbar.	Keine Relevante Wirkung oder Relevante Wirkung ist möglich, aber nicht beurteilbar.

Tabelle 15

Zulässigkeit der Wirkung des Waldes für den Hauptprozess Wasser. Die generelle Zulässigkeit gilt jeweils für alle Massstabsebenen M1-M3. Die Tabelle entspricht dem aktuellen Stand des Wissens und muss nach Vorliegen neuer Erkenntnisse und Methoden angepasst werden.

## D2 Grundlagendaten

Wald	Analyse und Interpretation
<b>Vegetationshöhenmodell (VHM)</b>	Die Vegetationshöhe erlaubt Rückschlüsse zur Entwicklungsstufe und Baumhöhe.
<b>Orthofotos und terrestrische Aufnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Orthofotos</i> (Sommer und Winter) geben Aufschluss zur Baumartenzusammensetzung und ermöglichen die Abschätzung des horizontalen Gefüges (räumliche Verteilung) respektive der Lückengrösse (Lückenlänge und -breite). Ebenso lässt sich mit deren Hilfe der Deckungsgrad (Mass für die gegenseitige Bedrängung der Baumkronen eines Bestandes.) bestimmen.</li> <li>• <i>Zeitreihenanalysen</i> von Orthofotos und <i>terrestrischen Aufnahmen</i> ermöglichen neben einer Analyse der Waldentwicklung zudem die Detektion und Bestimmung des Ausmasses historischer Naturereignisse (Lawinen, Sturz, Rutschungen etc.), anderer Gefährdungen (Kalamitäten, Sturm, Waldbrand etc.) sowie des menschlichen Einflusses (Waldweide, Waldbewirtschaftung, Wegebau etc.).</li> </ul>
<b>Kartenmaterial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Topografische Karte</i>: Eine Analyse der topografischen Karten (Zeitreihenanalyse) ermöglicht eine ungefähre Abschätzung der Waldentwicklung sowie Abgrenzung der räumlichen Ausdehnung des Waldes.</li> <li>• <i>Hangneigungskarte</i>: Die Hangneigungskarte dient zur Ermittlung potenzieller Anrissgebiete von Rutschungen und Lawinen.</li> </ul>
<b>Kataster</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Schutzbautenkataster</i>: Dieser ist mit Erkenntnissen aus Bildanalysen zu vergleichen und dient als Ergänzung zur Waldbeurteilung.</li> <li>• <i>Ereigniskataster</i>: In Kombination mit historischen Bildern lassen sich Ereignisse im Detail analysieren und erlauben Rückschlüsse auf aufgetretene Einwirkungen auf die Schutzmassnahme.</li> </ul>
<b>LIDAR (Light Detection And Ranging)</b>	<i>LIDAR-Daten</i> liefern zahlreiche Informationen, wie BHD (Brusthöhendurchmesser), Grundfläche, Stammzahl, exakte Baumposition (Lückengrösse), mittlere Baumhöhe etc. und erlauben eine detaillierte Beurteilung der für die Gerinneprozesse relevanten Parameter. Die automatisiert ausgewerteten Daten können Fehler enthalten und müssen je nach Beurteilungstiefe der Gefahrenbeurteilung durch Felderhebungen plausibilisiert werden.
<b>Bestandeskarten</b>	Bestandeskarten geben einen Überblick zur Waldentwicklung, fassen Waldflächen homogener Charakteristik zu Beständen zusammen und enthalten Informationen zur Baumartenmischung, Entwicklungsstufe, Alter, Deckungsgrad und Zustand. <i>Liegen keine Angaben vor, lassen sich diese mit verschiedenen existierenden Tools automatisiert auf Grundlagen von LIDAR-Daten ableiten.</i>
<b>Wald-Wild Gutachten der Kantone</b>	Diese dienen zur Abschätzung des Wölfeinflusses. Die einzelnen Methoden in den Kantonen unterscheiden sich stark.
<b>Vegetationshöhenstufen heute und in Zukunft</b>	Ermöglichen eine Abschätzung der Höhenstufenverschiebung der Waldstandorte im Klimawandel und der klimafitten Baumarten. Dies kann z.B. mit der Tree App durchgeführt werden.
<b>Allgemein</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gefahrenkarten und Gefahrenhinweiskarten</li> <li>• Historisches Bildmaterial</li> <li>• Chroniken (Gemeinde, Kirche etc.)</li> <li>• Infos lokaler Kenner z.B. Waldbesitzer/in, Förster/in, Historiker/in etc.</li> <li>• Forstliche Planung (WEP, WP, Bestandeskarte, Inventur)</li> <li>• Alte Gefahrenbeurteilungen</li> </ul>

Zusätzlich für ingenieurbioologische Massnahmen	
<b>Planungsunterlagen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzungsvereinbarung und Projektbasis</li> <li>• Projektpläne und Berichte</li> <li>• Bemessung (Berechnungen)</li> <li>• Ausführungspläne und -berichte</li> <li>• Unterhaltspläne</li> </ul>

Tabelle 16

Überblick möglicher Quellen zur Beurteilung eines Waldes hinsichtlich dessen Einflusses auf den Prozess Wasser im Rahmen der Desktopanalyse.

### D3 Szenarien Massnahmenbeurteilung

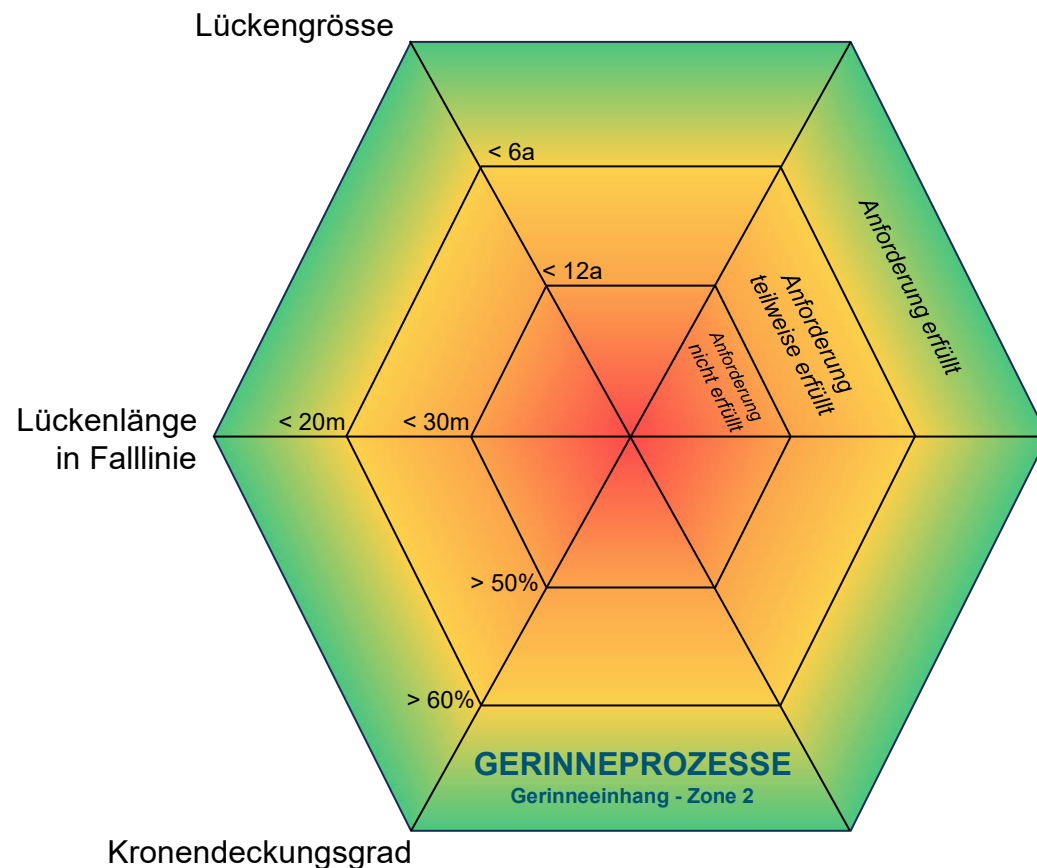
Szenarien Wasser	Beschreibung
<b>Hochwasserabflussmenge und Geschiebetransport</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prozessklassifikation – Wasser: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <i>Überflutung</i>: Hochwasserabfluss mit Austritt aus dem Gerinne an den Schwachstellen und anschliessender Überflutung des Umlandes: Waldwirkung durch Reduktion der Wasserabflussmenge.</li> <li>○ <i>Übersarung/ Übermurgung</i>: Geschiebetransport oder Murgang mit Austritt aus dem Gerinne an den Schwachstellen und anschliessender Übersarung bzw. Übermurgung des Umlandes: Waldwirkung durch Reduktion des Geschiebepotenzials.</li> <li>○ <i>Erosion</i>: Erosion im Gerinneinhang (Zone 2) und im Abflussbereich (Zone 1): Waldwirkung durch Boden- und Uferstabilisierung.</li> </ul> </li> <li>• Definition der verschiedenen Szenarien erfolgt aufgrund der Beurteilung der Murfähigkeit des Gerinnes, einer hydrologischen Analyse mit Hochwasserabschätzung und der Abschätzung des Geschiebepotenzials bzw. der Geschiebefracht je Wiederkehrperiode.</li> </ul>
Wald	Beschreibung
<b>Wald in Zone 1 gemäss NaiS</b>	In der Zone 1 ist es in der Praxis schwierig zu beurteilen, ob ein bestimmter Baum (Waldteil) zum Schutz beiträgt oder ob von ihm – als potenzielles Schwemmholz – eine Gefahr ausgeht. Deswegen können im Abflussbereich von Murgang und Hochwasser keine allgemein gültigen Anforderungen an den Schutzwald definiert werden. Vielmehr müssen Wald- und Gefahrenfachleute gemeinsam eine auf die lokale Situation abgestimmte Beurteilung vornehmen. Die Anforderungen ergeben sich dann aufgrund der Naturgefahr und des Standortes.
<b>Wald in Zone 2 gemäss NaiS</b>	In der Zone 2 gelten die Anforderungen und das Vorgehen, wie sie nachfolgend beschrieben sind.
Szenarien	Beschreibung
<b>Überflutung (Hochwasserabfluss / hydrologische Wirkung)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Anforderungen, die sich aus der Wirkung des Waldes auf den Wasserkreislauf (Hydrologie) ergeben, decken sich grundsätzlich mit den Anforderungen aufgrund der Naturgefahren Rutschungen, Erosion und Lawinen: Grössere Lücken sind zu vermeiden und eine gewisse Stufigkeit und Baumartendiversität fördert eine intensive Durchwurzelung des Bodens. Mit den für diese Prozesse definierten Anforderungen wird gleichzeitig auch die hydrologische Wirkung optimiert.</li> <li>• In einem hydrologischen Einzugsgebiet eines Wildbaches sind in der Regel mehrere, mehr oder weniger grosse Waldkomplexe vorhanden. Bezüglich der hydrologischen Wirkung setzt sich die zu beurteilende Betrachtungseinheit aus der Gesamtheit dieser Wälder zusammen. Eine gewisse Variabilität in der Qualität der Waldteile bzw. bezüglich deren Zustand dürfte somit die Regel sein.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Der Niederschlag belastet die Bäume normalerweise nicht statisch. Eine Ausnahme bildet hier der Schneedruck bei Nassschneefällen in mittleren Lagen als möglichem Gefährdungsbild.</li> <li>• Damit der Wald eine relevante Wirkung auf den Gefahrenprozess hat muss er eine minimale Fläche aufweisen und den Kriterien minimal gemäss NaiS (Spider-Diagramm in Checkliste D4) entsprechen.</li> <li>• Der Wald muss seine Wirkung über längere Zeit erbringen. Dieser Punkt wird nach den Kriterien gemäss Teil I, Kapitel 4.8, Bestimmung Zuverlässigkeit (9), beurteilt.</li> <li>• Aufgrund der in der Regel grossen Waldfläche ist zu empfehlen diese Beurteilungen in Zusammenarbeit mit den forstverantwortlichen Stellen durchzuführen, nicht zuletzt, um den Aufwand zu begrenzen.</li> <li>• Bei der Beurteilung der Wassergefahren bzw. der Gerinneprozesse kann die negative Wirkung von Wäldern in Form von Schwemmhölzeintrag von erheblicher Bedeutung sein</li> </ul>
<p><b>Übersarung / Übermürung (Geschiebelieferung / Feststoffhaushalt)</b></p> <p><b>und</b></p> <p><b>Erosion</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rutschungen und Erosion sind meistens die wichtigsten Prozesse, die Geschiebe in Bäche eintragen. In höheren Lagen kommen Lawinen dazu. Steinschlag ist nur in seltenen Fällen der dominante Prozess. Häufig überlagern sich in Gerinneabhängungen mehrere Naturgefahrenprozesse, die unterschiedlich stark Geschiebe eintragen. Im Gerinneabhängung wird daher eine Waldstruktur angestrebt, die gleichzeitig möglichst wirkungsvoll gegen Rutschungen, Erosion und Lawinenanrisse schützt. Aus diesem Grunde werden die Anforderungsprofile für diese Naturgefahren kombiniert: Lücken sollen nicht zu gross ausfallen und eine bestimmte Länge in Falllinie nicht überschreiten. So können die Wurzeln den Boden verstärken, Erosion vermindert und Lawinenanrisse verhindert werden. Ein minimaler Deckungsgrad stellt die Wurzelverstärkung über die Fläche sicher und stört einen gleichmässigen Schneedeckenaufbau. Grundsätzlich verbessert ein hoher Deckungsgrad den Schutz vor Naturgefahren. Gleichzeitig darf der angestrebte Deckungsgrad aber nur so hoch sein, dass die Schutzwirkung nachhaltig ist und die Verjüngung aufkommen kann.</li> <li>• In den seltenen Fällen, in denen Steinschlag die Hauptursache für Geschiebeeintrag ist, wird das Anforderungsprofil gemäss der Naturgefahr Steinschlag berücksichtigt.</li> <li>• Die einzelnen Waldteile der Zone 2 in einem Einzugsgebiet können in Schritt 2 entweder zusammenfassend nach den Kriterien gemäss Kapitel 4.8 und Beurteilungshilfe D4 beurteilt werden oder separat nach den jeweils vorkommenden Naturgefahrenprozessen (Rutschung, Lawine, Sturz), gemäss den Ausführungen Teil I, Kapitel 4 bzw. Teil II, Bearbeitungshilfen A - C.</li> </ul>

Tabelle 17

Szenarien für den Prozess Wasser.

# D4 Spider-Diagramm als Beurteilungshilfe der biologischen Massnahmen bei Gerinneprozessen



Entwicklungsbox	
Kriterium	erwartete Entwicklung*
Verjüngung**	
Schutzwirkung***	
Gesamtbeurteilung	

Grundlage Abschätzung der Nachhaltigkeitskriterien gemäss NaiS (Formular 2), betrachteter Zeitraum: je nach Zielsetzung der Beurteilung (10 – 50 Jahre)

\* Entwicklungsskala: ++ / + / 0 / - / --

\*\*Verjüngung: Entwicklung einer zielkonformen Verjüngung mit Einbezug des Klimawandels und Wildeinflusses gemäss NaiS Formular 2 mit Unterhaltsmassnahmen (geplante oder durchgeführte Holzschläge)

\*\*\*Entwicklung der für die Schutzwirkung relevanten Kriterien je nach Prozess (vgl. Spider)

## Definition Waldparameter/Beurteilungskriterien

- > *Kronendeckungsgrad*: Beschreibt die vom Baumbestand überschirmte Fläche in Prozent inkl. Bestandeslücken.
- > *Lückenlänge in Falllinie*: Die max. zulässige Lückenlänge in Falllinie wird im Stangen- und Baumholz als Schrägdistanz von Kronenrand zu Kronenrand gemessen.
- > *Lückengrösse*: Beschreibt die maximale Fläche einer Lücke. Wenn aus Verjüngungsökologischer Sicht notwendig, sind grössere Flächen zulässig. Dabei darf jedoch eine Lückenlänge in Falllinie von 30 m (von Stamm zu Stamm im Gelände gemessen) nicht überschritten werden.
- > *Verjüngung*: Die Verjüngung stellt den massgebendsten Aspekt für die Dauerhaftigkeit dar. Eine ausreichende Verjüngung (standorts- und klimaangepasst) gewährleistet eine zukünftige Aufrechterhaltung der Schutzfunktion des Waldes. Die Beurteilung der Verjüngung erfolgt gemäss der NaiS-Anforderungsprofile (minimal/ideal) für die unterschiedlichen Waldstandorte und Gefahrenprozesse [38]. Die Faktoren Wilddruck und Klimawandel (klimafitte Baumarten) sind im Hinblick auf nachhaltige dauerhafte Schutzwälder somit zwingend zu berücksichtigen.

## D5 Szenarien Massnahmenwirkung

Szenario	Beschreibung
<b>Überflutung (Hochwasserabfluss / hydrologische Wirkung)</b>	Wälder wirken sich auf den Wasserkreislauf aus. Durch Interzeption, Transpiration, verbessern der Infiltration und Durchwurzelung des Bodens bewirken die Bäume, dass weniger Niederschlag den Boden erreicht, der oberflächliche Abfluss durch den Aufschluss des Bodens vermindert und das Bodenspeichervolumen im Vergleich mit anderen Bodenbedeckungen erhöht wird. Das Ausmass der Wirkung ist abhängig von Standortseigenschaften (insbesondere Boden), dem Waldzustand, den meteorologischen Vorbedingungen und dem Verlauf eines spezifischen Niederschlagsereignisses. Die detaillierte bzw. genaue Quantifizierung dieser positiven Wirkung des Waldes auf Hochwasserabflüsse ist schwierig bzw. aufwändig.
<b>Übersarung / Übermürung (Geschiebelieferung / Feststoffhaushalt) und Erosion</b>	Durch Schutz der Oberfläche und der Gewässerufer vor Erosion und die positive Wirkung auf Prozesse, die Feststoffe in das Gerinne eintragen können wie Rutschungen, Lawinen und Sturz reduziert der Wald das Feststoffpotenzial und damit oft auch die bei einem Ereignis transportierte Geschiebemenge.
Negative Auswirkung	Beschreibung
<b>Schwemmholtz</b>	Schwemmholtz kann durch Verklausungen an Engstellen wie Durchlässen und Brücken zu grossen Problemen führen. Es ist zu beurteilen, wieviel und welche Art Schwemmholtz im Einzugsgebiet verfügbar ist, wieviel davon bei einem Ereignis transportiert werden kann und welche Schwachstellen bestehen.

Tabelle 18

Zusammenstellung der Wirkungen des Waldes auf den Prozess Wasser sowie ggf. zu berücksichtigende negative Auswirkungen.



## E – Verfügbarkeit der Schutzmassnahme Wald

Das Thema Verfügbarkeit mit der Idee, dass eine Schutzmassnahme zum Zeitpunkt des Ereignisses einsatzbereit sein und ihre Wirkung entfalten können muss, führt im Falle von Wald gelegentlich zu kontroversen Diskussionen. Es wird teilweise angezweifelt, ob angesichts von grösseren Sturmschäden und Waldbränden, inkl. deren Folgeschäden wie z.B. Insektenkalamitäten im Falle der Fichte, die wegen des Klimawandels immer öfter und grossflächiger auftreten werden, diese Verfügbarkeit grundsätzlich überhaupt gegeben sein kann.

Im Rahmen von PROTECT Bio 2014 wurde diese Frage, mit einem Betrachtungshorizont von 50 Jahren, vertieft geprüft. Dabei wurden die damals verfügbaren Daten der bekannten Schadenereignisse ausgewertet. Für weitere Ausführungen siehe PROTECT Bio 2014, Anhang 1.

Die Wiederkehrdauer eines prozessrelevanten Schadens im Schutzwald durch die häufigsten und bedeutendsten Störungen wie Sturm, Insekten und Brand liegt, auch unter pessimistischen Annahmen, in der Regel über den, im für die Raumplanung relevanten Bereich, geforderten 50 Jahren. Unter einem prozessrelevanten Schaden wird dabei ein Schaden verstanden, der genügend gross bzw. flächig ist, so dass die Wirkung des Waldes auf den Naturgefahrenprozess in einem gegebenen Prozessraum erheblich reduziert wird.

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass im Falle eines Schadeneintritts, die bio-spezifische Eigenschaft der Resilienz zum Tragen kommt. Diese dürfte auch bezüglich anderer Störungen wie der Klimaveränderung eine bedeutende Wirkung entfalten, sofern die Standortveränderungen aufgrund des Klimawandels nicht zu schnell erfolgen bzw. zu gross sind. In den nächsten 20 Jahren kann davon ausgegangen werden, dass dies wohl noch so ist. Danach könnte sich die Verfügbarkeit des Waldes drastisch ändern. Neueste Studien bezüglich sensibler Waldstandorte im Klimawandel zeigen insbesondere im inneralpinen, kontinentalen Alpenraum auf, dass hier die Veränderungen zu schnell ablaufen werden und dass meist keine Samenbäume von zukünftig klimafitten Baumarten vorhanden sind. Hier könnte die Verfügbarkeit zukünftig stark eingeschränkt werden, wenn die Schäden nicht mit Unterhalts- und Ersatzmassnahmen mit vernünftigem Aufwand behoben werden können. Voraussetzung dafür ist, dass keine ungünstigen Umstände, wie z.B. ein übermässiger Wilddruck, bestehen.

Der Schutzwald kann den Leitgedanken der Verfügbarkeit im strengen, auf die Raumplanung bezogenen Sinne, somit grundsätzlich erfüllen. Bezüglich Klimawandel sind Voraussagen immer noch sehr unsicher. Im Falle einer nicht raumplanungsbezogenen Risikoanalyse kann die Verfügbarkeit der Schutzmassnahme grundsätzlich in die Risikobeurteilung mit einbezogen werden.

Im Einzelfall ist zu prüfen, ob eine spezielle Disposition zu grösseren und häufigeren Schadenfällen im zu untersuchenden Prozessraum besteht. Generell erfüllt der Schutzwald die Ansprüche bezüglich permanenter Verfügbarkeit. Das gilt aber nicht gleichzeitig für jeden einzelnen Schutzwald. Deshalb muss diese Frage im Einzelfall immer beantwortet werden. In der Regel wird dies im Rahmen der Massnahmenbeurteilung, bei der Beurteilung der Dauerhaftigkeit geprüft.

# 3 — Organisatorische Massnahmen

## Übersicht

Checkliste 1 – Bewertungsmatrix Zuverlässigkeitsbestimmung

Bestimmungshilfe 1 – Erschwerende Begleitumstände

Bestimmungshilfe 2 – Systemüberlastung – Beispiele

## Checkliste 1 – Bewertungsmatrix Zuverlässigkeitsbestimmung

Hauptkriterium	Unterkriterien	Bewertungsfrage	Zuverlässigkeit	Grundlagen notwendig (Abbruchkriterium)
	Prioritäre Kriterien, Beurteilung der Zuverlässigkeit sollte immer erfolgen			
	Prioritäre Kriterien, falls Messeinrichtungen vorhanden sind			
	Weitere relevante Kriterien (Liste ist nicht abschliessend, evtl. Berücksichtigung weiterer Kriterien)			
Organisation				
	politisch / rechtliche Legitimation	vorhanden ja vorhanden nein	Hoch Gering	
	Schnittstellen zu anderen involvierten Akteuren	beschrieben und gelöst beschrieben, aber unklare Regelung keine Angaben	Hoch Mittel Gering	
	Führungs- und Meldestruktur inkl. Stellvertretungen	Vorhanden ja Vorhanden nein	Hoch Gering	Ja
	Ausrüstung	Vorhanden ja Vorhanden nein	Hoch Gering	
	Schulungen und Übungen (auf versch. Stufen: Kader- , Mannschaft, usw. je nach Bedarf)	werden durchgeführt und Anpassung Einsatzplanung werden durchgeführt keine	Hoch Mittel Gering	
	Redundantes Alarmsystem innerhalb der Organisation	2-fache Redundanz keine Redundanz	Hoch Mittel	
	Debriefing	Wird durchgeführt Wird nicht durchgeführt	Hoch Mittel	
Gesamtbewertung Organisation				
Prozessverständnis: Eignung und Relevanz der Daten, Vorlaufzeit				
	Prozessverständnis	beschrieben, plausibel und durch (langjährige) Messreihen oder Beobachtungen belegt beschrieben und plausibel keine oder ungenügende Grundlagen vorhanden	Hoch Mittel Gering	
	Messung der massgebenden prozessbeschleunigenden / prozessauslösenden Parameter	ja, direkte Messung indirekte Messung unklar	Hoch Mittel Gering	
	Standort der Messeinrichtung	Repräsentativ Wenig Fehleinflüsse Nicht repräsentativ	Hoch Mittel Gering	
	Zweck der Messeinrichtung	Permanente Überwachung	Hoch Mittel	Ja

Hauptkriterium	Unterkriterien	Bewertungsfrage	Zuverlässigkeit	Grundlagen notwendig (Abbruchkriterium)
		Prozessentwicklung verfolgen und Früherkennung Prozessverständnis schaffen	Gering	
	Vorlaufzeit zwischen Messung / Beobachtung - Intervention - Prozessauslösung	beschrieben und nachvollziehbar beschrieben, aber mit Unsicherheiten behaftet keine Angaben	Hoch Mittel Gering	
Gesamtbewertung Prozessverständnis				
<b>Datenerfassung: Mess-, Prognose- oder Beobachtungssystem</b>				
	Redundanz	2-fache Redundanz Keine Redundanz	Hoch Mittel	
	Störungsmeldung	Vorhanden ja Vorhanden nein	Hoch Mittel	
	Energieversorgung	2-fache Redundanz Keine Redundanz	Hoch Mittel	
	Verfügbarkeit Messdaten (Ausfallsicherheit)	2-fache Redundanz Keine Redundanz	Hoch Mittel	Ja
	Verfügbarkeit Messdaten (äussere Störungen, Tragsicherheit der Messeinrichtung)	Robustheit vorhanden Robustheit gering, bisher keine Ausfälle Wiederholt Ausfälle von Messdaten	Hoch Mittel Gering	
	Verfügbarkeit Komponenten (Ersatz)	Kurzfristig Mittel-langfristig	Hoch Mittel	
	Funktionskontrollen	Vorhanden ja Vorhanden nein	Hoch Mittel	
	Grenzwerte oder klare Vorgaben für eine Beobachtung durch Personen (ohne Messeinrichtung)	Vorhanden ja und klar Vorhanden ja Nicht vorhanden	Hoch Mittel Gering	
	Wartung und Unterhalt	Jährlich oder häufiger 2- bis 5 jährlich keine	Hoch Mittel Gering	
	Fehlmessungen, - interpretation	Werden erkannt ja Werden nicht erkannt	Hoch Mittel	
	Evtl. weitere Kriterien gemäss Leitfaden Überwachungssysteme EKLS	Je nach Anwendung	Hoch Mittel Gering	
Gesamtbewertung Mess-, Prognose- oder Beobachtungssystem				
<b>Datenübermittlung /-verarbeitung / -interpretation</b>				
	Datenprozessierung, - aufbereitung und - darstellung	Verständlichkeit hoch Verständlichkeit gering bis mittel	Hoch Mittel	
	Verfügbarkeit / Redundanz Kommunikationsmittel und Datenübermittlung	2-fache Redundanz Keine Redundanz	Hoch Mittel	
	Datenhaltung (Zugang, Hoheit, Archivierung)	Geregelt und gesichert ja Geregelt und gesichert nein	Hoch Mittel	
	Anpassungen Grenzwerte	Festgelegt ja durch wen Festgelegt nein	Hoch Mittel	
	Funktionskontrollen und Probealarme	Vorhanden ja Vorhanden nein	Hoch Mittel	

Hauptkriterium	Unterkriterien	Bewertungsfrage	Zuverlässigkeit	Grundlagen notwendig (Abbruchkriterium)
	Dateninterpretation (bei Überwachungssystemen, gilt nicht für Alarmsysteme → dort sind klare Grenzwerte nötig)	Durch fachkundige und geschulte Person inkl. Stv. sichergestellt Aufgabe zugewiesen, Fachkompetenz und oder Schulung unklar Unklar, wer diese Aufgabe wahrnimmt	Hoch  Mittel  Gering	
	Evtl. weitere Kriterien gemäss Leitfaden Überwachungssysteme EKLS	Je nach Anwendung	Hoch Mittel Gering	
Gesamtbewertung Datenübermittlung /-verarbeitung / -interpretation				
<b>Intervention</b>				
Interventionsmassnahmen (vgl. Tabelle 10 im Bericht)	Einsatzplanung mit Ablauf und Alarmierungsschema, Grenzwerten, Interventionsplan, Auftragskarten, Materialliste	Vollständig vorhanden Teilweise vorhanden Nicht vorhanden	Hoch Mittel Gering	Ja
	Logistik (Material- und Maschinenverfügbarkeit, Lagerung, Transport, Ort des Aufbaus)	Vorhanden und kontrolliert inkl. Reserven vorhanden ohne Reserven teilweise vorhanden	Hoch  Mittel Gering	
	Systemart	Ortsabhängige Systeme (Systeme mit Vormontagen vor Ort) Ortsunabhängige Systeme (Beaver)	Hoch  Mittel	
	Montierbarkeit	Einfach Schwierig, aufwändig	Hoch Mittel	
	Robustheit bei erschwerenden Begleitumständen (vgl. Bestimmungshilfe 1)	Erschwerende Begleitumstände mitberücksichtigt: Umfassend Teilweise Vereinzelte bis nicht	Hoch Mittel Gering	
	Verhalten beim Versagen des Systems (vgl. Bestimmungshilfe 2)	Robustheit vorhanden Robustheit gering	Hoch Mittel	
Sicherheitssprengung Lawinen in Siedlungsgebieten	Kriterien gemäss Dokumentation SLF Stoffel, Margreth 2019	Vollständig erfüllt  Teilweise erfüllt	(Hoch)* Mittel Gering	Ja
Sicherheitssprengung Lawinen für Verkehrsachsen	Kriterien in Anlehnung an die Dokumentation Stoffel, Margreth 2019	Vollständig erfüllt Teilweise erfüllt Nicht erfüllt	Hoch Mittel* Gering	Ja
Gesamtbewertung Intervention				

\*künstliche Lawinenauslösung: Damit die Zuverlässigkeit einer Sicherheitssprengung im Siedlungsgebiet als "Hoch" beurteilt werden kann, müssen die Kriterien gemäss der Dokumentation SLF (Stoffel, Margreth 2019) so vollständig erfüllt sein resp. die Unsicherheiten diesbezüglich so klein sein, dass unerwartete Lawinnenniedergänge oder grössere als erwartete Lawinnenniedergänge mit Schadenfolge ausgeschlossen werden können.

## Bestimmungshilfe 1 - Erschwerende Begleitumstände

Massnahme	Erschwerende Begleitumstände	Lösungsansätze (Auswahl)
Allgemeines	Unfall durch zu erwartende Naturgefahr	Ausserhalb des Gefahrenbereichs arbeiten, geschulte Einsatzkräfte (Gefahrenkenntnisse), Sicherheitskonzept
	Kommunikationsprobleme innerhalb der Organisation und mit den Betroffenen (technisch, akustisch, sprachlich: Ausdrucksart, Verständnis)	alternative Kommunikationswege vorsehen bei technischen Problemen, Kommunikation vorbereiten, gemeinsame Sprache entwickeln, regelmässig üben
	Vandalismus	regelmässige Kontrollen, zusätzlicher Schutz empfindlicher Teile vorsehen, Abschränkungen, bewachte Sperrzone
	Systemversagen von Warnanlagen	Regelmässige Tests, Alternativen vorsehen, Redundanz
	Stromausfall (zum Beispiel Pumpen fallen aus)	Notstromaggregat
Sperrung Verkehrsweg	Verkehr	Warnweste, Signalisation, geeignete Beleuchtung
	Nacht / Sicht	Warnweste, geeignete Beleuchtungsmittel
	Meteorologische Einflüsse (Nebel, Vereisung, Sturm, Schneefall...)	Ausrüstung, geeignete Mittel, zeitliche Reserven, Salz
	Blockierte Ausweichrouten	Notzufahrt Einsatzkräfte
	Stau im üblichen / erwarteten Ausmass	Bei Planung berücksichtigen: Ausweichrouten, etc.
Evakuierung	Unverständnis/Widerstand Bevölkerung	Überzeugende Kommunikation, jährliche Übung
	Panik, irrationale Handlungen	Ruhige Kommunikation
Mobiler Längsverbau am Fluss	Nacht / Sicht	Warnweste, geeignete Beleuchtungsmittel
	Meteorologische Einflüsse (Nebel, Vereisung, Sturm, Schneefall...)	Ausrüstung, geeignete Mittel, zeitliche Reserven, Salz
	Ertrinken	Schwimmweste, Sicherheitsseil talwärts, Rettungsschwimmer
	Erreichen einer ausreichenden Dichte im Falle von unebenem Gelände	Gute Planung der Massnahmen, Grenzen während Planung aufzeigen, geschultes Personal für das Anbringen der Massnahmen, Übungen
Geschiebebaggerung an Durchlass/Brücken	Maschine kippt	Verankerung, stabiler Untergrund, angepasste Maschine
	Ereignis während Baggerung	Risikoabschätzung bei Planung Einsatz, Beobachtung, Fluchtwege
Felsüberwachung	Nacht / Sicht	Geeignete Beleuchtungsmittel
	Meteorologische Einflüsse (Nebel, Sturm, Kälte Schneefall...)	Zeitliche Reserven, angepasste Ausrüstung
Felsunterhalt	Steinschlag	Helm, Aufmerksamkeit, Sicherheitszone
	Meteorologische Einflüsse (Nebel, Sturm, Kälte Schneefall...)	Zeitliche Reserven, angepasste Ausrüstung
Intervention bei aktiven Rutschungen zur Stabilisierung	Nacht / Sicht	geeignete Beleuchtungsmittel
Künstliche Lawinenauslösung	Nacht / Sicht	geeignete Detektionsgeräte
	Vorverfüllung der Lawinenbahn	Beobachtung
	Personen im Transit- und Ablagerungsgebiet	Information und Kommunikation, Warneinrichtungen
	Blindgänger, die beseitigt werden müssen (Lawine kann nicht ausgelöst werden)	Geschultes Personal, Übungen in unkritischem Gelände
	Keine Munition mehr verfügbar	Gute Planung mit Reserven
Mobile Massnahmen am Objekt	Nacht / Sicht	geeignete Beleuchtungsmittel
	Meteorologische Einflüsse (Nebel, Sturm, Kälte Schneefall...)	Zeitliche Reserven, angepasste Ausrüstung
	Unverständnis/Widerstand Bevölkerung	Überzeugende Kommunikation, jährliche Übung
Mobile Massnahmen zum Schutz eines Areals	Nacht / Sicht	geeignete Beleuchtungsmittel
	Meteorologische Einflüsse (Nebel, Sturm, Kälte Schneefall...)	Zeitliche Reserven, angepasste Ausrüstung
	Unverständnis/Widerstand Bevölkerung	Überzeugende Kommunikation, jährliche Übung
Warnung Bevölkerung	Ausfall von Kommunikationskanälen	Kommunikationskanäle vorbereiten / planen; Redundanz

## Bestimmungshilfe 2 - Systemüberlastung (Beispiele)

Mögliche Überlastung des Systems	Bemerkungen / Erläuterungen konkrete Beispiele	
Ereignis grösser als erwartet	Massnahmen reichen nicht aus, Überlastung aufgrund der grösseren/stärkeren Prozesseinwirkung	
	<i>Mobiler Längsverbau</i>	<i>Unterspülung Ufer, Überspülung mobiler Längsverbau</i>
	<i>Mobile Massnahmen zum Schutz eines Objekts oder eines Areals</i>	<i>Versagen der Massnahmen</i>
	<i>Künstliche Lawinenauslösung</i>	<i>Ausgelöste Lawine grösser als erwartet, nicht geplante Anriss-, Transit- und/oder Ablagerungszone</i>
	<i>Pumpen</i>	<i>Pumpen sind zu wenig leistungsstark und das Schadenausmass wird grösser</i>
Ereignisablauf / -zeitpunkt anders als erwartet	Ungünstiger Ereignisablauf oder -zeitpunkt	
	<i>Evakuierung</i>	<i>Ereignis tritt während der Evakuierung auf (Personen im Freien sind sehr verletzlich)</i>
Unerwartete(s) Nachereignis(se)	Es folgt ein weiteres Ereignis oder weitere Ereignisse (gleicher Prozess oder prozessfremd) mit Wirkung im bereits betroffenen Gebiet, Gefährdung von Einsatzkräften und allfälligen, laufenden Evakuierungen	
	<i>Prozessfremdes Ereignis folgt während laufender Evakuierung</i>	<i>Wegen Hochwasser läuft eine Evakuierung. Es folgt eine unerwartete Rutschung, welche Einsatzkräfte und zu evakuierende Personen erfasst.</i>
	<i>Unerwartetes Nachereignis erfasst Einsatzkräfte</i>	<i>Es wird ein mobiler Längsverbau montiert aufgrund Prognose etc. Während dem Montieren folgt eine unerwartete Hochwasserwelle mit Schwemmholz (z.B. aufgrund einer Grossrutschung in einem relevanten Seitenbach).</i>
Grösseres Schadenpotential als erwartet	Das betroffene Schadenpotentials ist grösser als angenommen	
	<i>Grossveranstaltungen (OpenAir, etc.)</i>	<i>Grössere Evakuierungen als geplant Mehr Verletzte / Hilfsbedürftige als erwartet, längere Evakuierungszeit</i>
	<i>Stau bei abgesperrten Strecken (z.B. aufgrund Alarmanlage)</i>	<i>Abgesperrte Strecke zu kurz, mehr Autos halten sich im Gefahrenbereich auf</i>
	<i>Besonders wertvolle Objekte in evakuierten Gebäuden vorhanden</i>	<i>Wertvolle Objekte (z.B. Kulturgüter, Schmuck etc.) werden angetroffen, können aber nicht evakuiert werden (grösserer Wertverlust, wenn Ereignis eintritt)</i>
Unzureichende Ressourcen	Die geplanten Ressourcen reichen aufgrund äusserer Einflüsse nicht aus	
	<i>Gleichzeitige Einsätze</i>	<i>Zu wenig Personal (Einsatzkräfte), evtl. auch zu wenig Material</i>
	<i>Pandemien, Krisen</i>	<i>Zu wenig Personal (Einsatzkräfte), z.T. zu wenig Material (unterbrochene Lieferketten)</i>
	<i>Unerwartet hohes Stauausmass</i>	<i>Evakuierungsrouten sind verstopft, Materiallieferungen nicht mehr möglich etc.</i>
Grossräumige Überlastung des Kommunikationsnetzwerks und / oder der Energieversorgung	Grossräumige Blackouts aufgrund Zusammenbruchs der Stromversorgung und / oder Überlastungen der Kommunikationsnetze	
	<i>Warnung der Bevölkerung nicht mehr möglich</i>	<i>Bevölkerungen kann sich u.U. nicht rechtzeitig schützen oder wertvolle Sachen in Sicherheit bringen</i>
Unfall der Einsatzpersonen während Einsatz	Unfall durch äussere Einflüsse (nicht durch mangelnde Fachkompetenz, Schulung)	
	<i>Verschiedene Unfallursachen</i>	<i>Zu wenig Personal (Einsatzkräfte) verfügbar</i>

## 4 — Grundlagen und Referenzen

Die Ausführungen in PROTECTpraxis (Teil I und II) stützen sich primär auf folgende Publikationen ab:

### ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

- [1] Romang Hans (Ed.) 2008: Wirkung von Schutzmassnahmen. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern. 289 S.
- [2] BAFU, (Hrsg.) 2016: Schutz vor Massenbewegungsgefahren. Vollzugs-hilfe für das Gefahrenmanagement von Rutschungen, Steinschlag und Hangmuren. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1608: 98 S.

### REFERENZEN BAULICHE MASSNAHMEN

#### Grundlagen

- [3] ASTRA 89001, Naturgefahren auf den Nationalstrassen: Risikokonzept, 2014
- [4] BAFU, Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2020 - 2024, 2018
- [5] BAFU, Datenmodell Schutzbauten Naturgefahren, ID 81.2, 2017
- [6] BAFU, Wörterbuch Hochwasserschutz, 2003
- [7] BAFU, Wörterbuch Hochwasserschutz, 2003
- [8] Hunziker, Zarn & Partner AG, 2008: Blockrampen Normalien – Manual zur Sanierung von Abstürzen.
- [9] OKI; Handbuch Infrastrukturmanagement, 2014
- [10] Schweizerisches Zivilgesetzbuch, fünfter Teil: Das Obligationenrecht, 30. März 1911, Stand 1. Juli 2014
- [11] SIA-Normenwerk 112, Stand 1935
- [12] SIA-Normenwerk, Nummern 260, 261, 262, 263, 264, 267, 269, 469, Stand 1. Januar 2022
- [13] SIA-Dokumentation Nr. D 0191, "Grundlagen der Projektierung von Bauwerken", Zürich 2004
- [14] SIA-Dokumentation Nr. D0239, "Erhaltung von Tragwerken - Einführung", Zürich 2011
- [15] SIA-Dokumentation Nr. D0240
- [16] Skript "Flussbau", Dr. M. Jäggi, Zürich 1995
- [17] VSS- Normenwerk, 640900a
- [18] VKF, Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren, 2005

#### Fachglossar

- [19] BAFU, Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2020 - 2024, 2018
- [20] BAFU, Datenmodell Schutzbauten Naturgefahren, 2020
- [21] Schweizerisches Zivilgesetzbuch, fünfter Teil: Das Obligationenrecht, 30. März 1911, Stand 1. Juli 2014
- [22] SIA-Normenwerk 112, Stand 1935
- [23] SIA-Normenwerk, Nummern 260, 261, 262, 263, 264, 267, 269, 469, Stand 1. Januar 2022
- [24] SIA-Dokumentation Nr. D 0191, "Grundlagen der Projektierung von Bauwerken", Zürich 2004
- [25] SIA-Dokumentation Nr. D0239, "Erhaltung von Tragwerken - Einführung", Zürich 2011
- [26] SIA-Dokumentation Nr. D0240
- [27] Skript "Flussbau", Dr. M. Jäggi, Zürich 1995
- [28] VSS- Normenwerk, 640900a
- [29] VKF, Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren, 2005
- [30] BABS, Glossar der Risikobegriffe, 2013

## REFERENZEN BIOLOGISCHE MASSNAHMEN

- [31] BAFU (Hrsg.) (2019): Schwemmholz in Fliessgewässern. Ein praxisorientiertes Forschungsprojekt. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1910. 100 S.
- [32] BAFU (Hrsg.) (2016): Schutz vor Massenbewegungsgefahren. Vollzugshilfe für das Gefahrenmanagement von Rutschungen, Steinschlag und Hangmuren. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1608: 98 S.
- [33] Dorren, L., Berger, F., Frehner, M., Huber, M., Kühne, K., Métral, R., Sandri, A., Schwitter, R., Thormann, J., & Wasser, B. (2015): Das neue NaiS-Anforderungsprofil Steinschlag. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 166(1), S. 16-23.
- [34] Dorren, L., Berger, F., Jonsson, M., Krautblatter, M., Mölk, M., Stoffel, M., & Wehrli, A. (2007): State of the art in rockfall – forest interactions. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 158(6), S. 128-141.
- [35] European Avalanche Warning Services (2022): URL: [www.avalanches.org/glossary/](http://www.avalanches.org/glossary/), Glossar EAWS - Wildschnee, Zugriff: 13.03.2022.
- [36] Fehr, M., Zürcher Gasser, N., Schneider, O., Burger, T., & Kupferschmid, A. D. (2019). Gutachtliche Beurteilung des Wildeinflusses auf die Waldverjüngung (Essay). Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 170(3), 135-141. <https://doi.org/10.3188/szf.2019.0135>.
- [37] Feistl T., Bebi P., Teich M., Bühler Y., Christen M., Thuro K., Bartelt P. (2014): Observations and modeling of the braking effect of forests on small and medium avalanches. Journal of Glaciology. Vol. 60. No. 2019.
- [38] Frehner, M., Wasser, B., Schwitter, R., (2005): Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion, Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 564 S.
- [39] Frick, E. et al. (2011): SEDEX Anwenderhandbuch. GEOGRAPHICA BERNENSIA, Universität Bern
- [40] Hess E. (1931): Wildschneelawinen. Die Alpen Nr. VII/1931. Schweizer Alpen-Club SAC. S. 321-334.
- [41] Losey, S. und Wehrli, A. 2013 Schutzwald in der Schweiz. Vom Projekt SilvaProtect-CH zum harmonisierten Schutzwald. 29 S. und Anhänge. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- [42] Rapin, F. (2002): A new scale for avalanche intensity. In International Snow Science Workshop, Volume 2, S. 103-110.
- [43] Schwarz, M. & May, D. (2022): Analyse der Bestandesdynamik auf der Grundlage des Schweizerischen Landesforstinventars - LFI Analyse (MAWA AP 1.1) - Zwischenbericht. Projektbericht der HAFL für das AWN Bern.
- [44] Schwarz, M., Dorren, L., Kühne, K. (2019): Wirkung des Waldes gegen flachgründige Rutschungen und Risikoreduktion auf Bahnanlagen und Bahnbetrieb der SBB. Anwendung des Konzepts PROTECT Bio anhand von drei Fallbeispielen in den Kantonen TI und LU, 52.S.
- [45] Stoffel M., Louis K., Utelli H. (2019): Skript Modul STURZ. Praxiskurs Gefahrenbeurteilung gravitativer Naturgefahren. Fachleute Naturgefahren Schweiz FAN. V. 0.1, 51 S.
- [46] Takeuchi Y., Torita H., Nishimura K., Hirashima H. (2011): Study of a large-scale dry slab avalanche and the extent of damage to a cedar forest in the Makunosawa valley, Myoko, Japan. Annals of Glaciology 52(58). S. 119-128.
- [47] Thormann, JJ., Hildebrand, S., Schaller, C. (2021): Priorisierung von Eingriffen aufgrund waldbaulicher Kriterien. Projektbericht für das AWN Bern. 34.S.
- [48] Wasser, B., Perren B. et al. (2014): PROTECT Bio, Methodik zur Beurteilung der Wirkung biologischer Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung bei Risikoanalysen (Synthesebericht und Fallbeispiele).
- [49] Begemann W., Schiechtl H-M. (1986): Ingenieurbiologie, Handbuch zum naturnahen Wasser- und Erdbau. Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin
- [50] Europäische Föderation für Ingenieurbiologie (2015/2022): Europäische Richtlinie für Ingenieurbiologie.
- [51] Bundesamt für Umwelt (BAFU, (2010): Ingenieurblogische Bauweisen im naturnahen Wasserbau. Praxishilfe Umwelt-Wissen, Hochwasserschutz
- [52] Verein für Ingenieurbiologie, (1992): Bibliographie Ingenieurbiologie, Literatur zum Thema Bauen mit lebenden Pflanzen.
- [53] Schiechtl h-M., (1973): Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau, Grundlagen, Lebende Baustoffe, Methoden. Callway, München



- [54] Schichtl H-M., Stern R., (1994): Handbuch für naturnahen Wasserbau, Eine Anleitung für ingenieurblogische Bauweisen. Österreichischer Agrarverlag Wien.
- [55] Schichtl H-M., Stern R., (1992): Handbuch für naturnahen Erdbau, Eine Anleitung für ingenieurblogische Bauweisen. Österreichischer Agrarverlag Wien.

## REFERENZEN ORGANISATORISCHE MASSNAHMEN

- [56] BAFU 2022: Naturgefahren: Organisatorische Massnahmen, <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/naturgefahren/fachinformationen/schutzmassnahmen/naturgefahren--organisatorische-massnahmen.html>, abgerufen am 17.02.2022.
- [57] BAFU 2020: Überwachungssysteme für gravitative Naturgefahren – Handbuch. Bern, 34 Seiten.
- [58] BAFU 2020: Einsatzplanung gravitative Naturgefahren. Leitfaden für Gemeinden. Version 1.0 - Oktober 2020. 30 S.
- [59] BAFU 2019: Standorte der Messstationen für Frühwarndienste Naturgefahren, Identifikator 81.3 Geobasisdaten des Umweltrechts, Modelldokumentation, in Erarbeitung.
- [60] BAFU 2019: Künstliche Lawinenauslösung oberhalb von Siedlungen. Ergänzung zum Handbuch Programmvereinbarung im Umweltbereich 2020 - 2024. Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde an Gesuchsteller. Bundesamt für Umwelt, Bern: 14 S.
- [61] BAFU 2018: Programmvereinbarung Schutzbauten und Gefahrengrundlagen, Handbuch 2020-2024.
- [62] BAFU 2016: Schutz vor Massenbewegungsgefahren. Vollzugshilfe für das Gefahrenmanagement von Rutschungen, Steinschlag und Hangmuren. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1608, 98 S.
- [63] Bründl M. 2009: Risikokzept für Naturgefahren – Leitfaden. Nationale Plattform für Naturgefahren, PLANAT, Bern. 420 S.
- [64] EconoMe, 2022: Glossar [https://econome.ch/eco\\_work/eco\\_wiki\\_main.php#](https://econome.ch/eco_work/eco_wiki_main.php#), abgerufen am: 17.02.2022.
- [65] WEU/AWN, 2022: Wegleitung Überwachungssysteme. Anforderungen an beitragsberechtigte Projekte, Version 1.0, 25.11.2022.
- [66] Egli Thomas, 2004: Entscheidungshilfe mobiler Hochwasserschutz, BWG, VKF, Bern/Biel.
- [67] Egli Thomas, 2005: Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren, Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (Hrsg.), Bern.
- [68] <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/vorwarnzeit/17776>
- [69] Loat Robert und Meier Elmar, 2003: Wörterbuch Hochwasserschutz, BWG, Bern.
- [70] Margreth Stefan, 2022: Organisatorische Massnahmen, SLF, <https://www.slf.ch/de/lawinen/lawinenschutz/organisatorische-massnahmen.html>, abgerufen am: 17.02.2022.
- [71] PLANAT 2012: Begriffe im Naturgefahrenbereich, Fachbegriffe im Naturgefahrenbereich für Gemeindebehörden, Betroffene und Interessierte. Stand 4. März 2012, aus: Glossar «Strategie Naturgefahren Schweiz», Aktionsplan PLANAT, Januar 2009.
- [72] Sättele M., Bründl M. 2015: Praxishilfe für den Einsatz von Frühwarnsystemen für gravitative Naturgefahren, WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS.
- [73] Stoffel L., Margreth S. 2019: Künstliche Lawinenauslösung oberhalb von Siedlungen. Ergänzung zum Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2020–2024. Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde an Gesuchsteller. Bundesamt für Umwelt, Bern: 14 S.
- [74] VKF 2012: Bewertung der Erstellungssicherheit von temporären Objektschutzmassnahmen, Themenblatt 1-1, dazugehöriges Excel-Tabellenblatt kann heruntergeladen werden unter: <https://www.schutz-vor-naturgefahren.ch/spezialist/service/sia4002.html>