



Interreg 

SLOVENIJA – AVSTRIJA
SLOWENIEN – ÖSTERREICH

Evropska unija | Evropski sklad za regionalni razvoj
Europäische Union | Europäischer Fonds für regionale Entwicklung



Institut für Ökologie

Konzeptstudie „Integriertes Gewässer- management Ökosystemdienstleistun- gen Wald“ im Rahmen des INTERREG SI-AT (SIAT372) Projekt KaraWAT

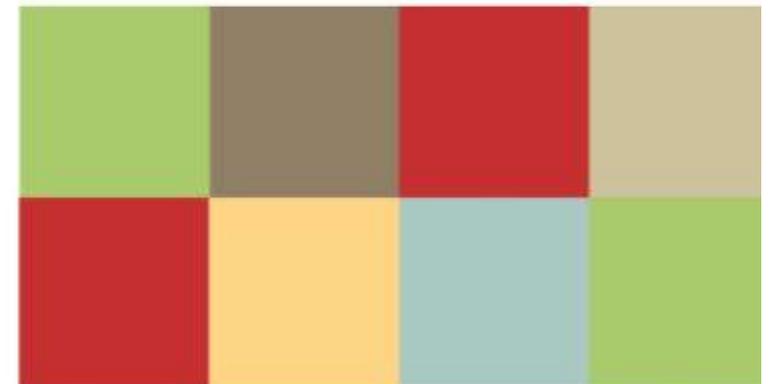


Auftraggeber:

Fachhochschule Kärnten

A-9800 Spittal/Drau

30.6.2022





Projekttitel:	Konzeptstudie „Integriertes Gewässermanagement Ökosystemdienstleistungen Wald“ im Rahmen des INTERREG SI-AT (SIAT372) Projekt KaraWAT
Auftraggeber:	Fachhochschule Kärnten gemeinnützige Gesellschaft mbH
Finanzierung:	INTERREG SI-AT (SIAT372) Projekt KaraWAT
Zitervorschlag:	Kirchmeir H.: Konzeptstudie „Integriertes Gewässermanagement Ökosystemdienstleistungen Wald“ im Rahmen des INTERREG SI-AT (SIAT372) Projekt KaraWAT, Bearbeitung: E.C.O. Institut für Ökologie, Klagenfurt, 39 S.

Durchführung:
E.C.O. Institut für Ökologie Jung-
meier GmbH
Lakeside B07 b, 2. OG
A-9020 Klagenfurt
Tel.: 0463/50 41 44
E-Mail: office@e-c-o.at

Homepage: www.e-c-o.at

Klagenfurt, Juni 2022

KONZEPTSTUDIE
„INTEGRIERTES GEWÄSSERMANAGEMENT ÖKOSYSTEMDIENSTLEISTUNGEN WALD“
IM RAHMEN DES INTERREG SI-AT (SIAT372) PROJEKTS KARAWAT

Projektleitung:

Dr. Hanns Kirchmeir

Bearbeitung:

Dr. Hanns Kirchmeir, Vanessa Berger MSc, DI Daniel Wuttej MSc



INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung	6
2 Zusammenfassung	7
3 Abstract	8
4 Izvleček	9
5 Projektbeschreibung	10
5_1 AP1 Vor-Ort Erhebung, Erfassung des Ist-Zustandes	10
5_2 AP2 Darstellung der möglichen Ökosystemleistungen in mindestens zwei Szenarien	10
5_3 AP3 Erstellung eines Maßnahmenplanes	10
5_4 AP4 Aufbereitung der Ergebnisse	11
6 Methoden und Ergebnisse	12
6_1 Die Bewirtschaftungsszenarien	13
6_2 Die Ökosystemleistungen	13
6_2_2 Holzertrag	14
6_2_3 Erosionsschutz (Retentionsfunktion, Objektschutz)	14
6_2_4 Kohlenstoffspeicherung	18
6_2_5 Biodiversität	23
7 Maßnahmenempfehlungen	25
7_1 Maßnahmen Erosions-/Hochwasserschutz	25
7_2 Maßnahmen zum Biodiversitätsschutz	25
7_3 Maßnahmen zur Erhöhung der Kohlenstoffspeicherung	26
7_4 Fördermöglichkeiten und Upscaling-Potential	26
7_4_1 Fördermöglichkeiten	26

7_4_2 Upscaling.....	28
8 Literaturverzeichnis.....	30
9 Anhang.....	34
9_1 C-Faktoren für die Corine Landcover Klassen.....	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht über die ökonomischen Dimensionen der untersuchten Ökosystemleistungen im Vergleich der beiden Bewirtschaftungsszenarien zum Status Quo.....	7
Abbildung 2: Schrägluftaufnahme auf eine junge Kahlfläche im steilen Hangbereich.....	12
Abbildung 3: Holzströme in Österreich (2015).....	19

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Angenommene Halbwertszeiten als Basis zur Ermittlung des im Holzproduktepool gespeicherten Kohlenstoffs und Standard-Halbwertszeiten aus IPCC (2014).20	
Tabelle 2: Einstufung für den Biodiversitätsindex-Biototyp.....	24

Abkürzungsverzeichnis

BI	Biodiversitätsindex
BT	Biototyp
IF	Szenario „Intensivierung Forstwirtschaft“
IN	Szenario „Intensivierung Naturschutz“

Einheiten

efm	Erntefestmeter
vfm	Vorratsfestmeter
kWh	Kilowattstunde
MWh	Megawattstunde
GWh	Gigawattstunde
ha	Hektar

1 EINLEITUNG

E.C.O. wurde im Juni 2021 eingeladen, ein Konzept-Angebot für die Entwicklung eines integrierten Gewässermanagementkonzeptes unter Berücksichtigung unterschiedlicher Waldfunktionen zu legen. Im Juli 2021 erfolgte die Beauftragung des Projektes durch die FH Kärnten.

Die Projektumsetzung erfolgte für ein konkretes Pilotgebiet im Leppengraben in der Gemeinde Eisenkappel-Vellach. Das Untersuchungsgebiet umfasst 177 ha und ist im privaten Besitz. Die Föhnstürme in den Jahren 2017 und 2018 haben die Waldbestände im Leppengraben und in der Pilotfläche massiv betroffen. Die Windwurfflächen wurden bereits aufgearbeitet und das Windwurfholz sowie die nachfolgend anfallenden Borkenkäferbäume entfernt.

Durch den großflächigen Verlust des Baumbestandes kommt es zu einer Veränderung der Wasserrückhaltekapazität durch die Baumkronen (Interzeption), zu einem veränderten Oberflächenabflussverhalten durch die unterschiedliche Bedeckung der Bodenvegetation und zu einer Veränderung des Wasserhaushaltes durch eine geringere Evapotranspirationsleistung, da das enorme Blatt- oder Nadelvolumen der Baumkronen drastisch reduziert wurde. Zusätzlich kommt es durch die Forststraßenerschließung zu einer Kanalisierung und Konzentration des Oberflächenabflusses.

Durch die gezielte Entwicklung des Waldbestandes und dessen Bewirtschaftung soll die Rückhaltekapazität im Einzugsgebiet verbessert und damit das Abflussvolumen und der Bedarf von neuen Retentionsräumen oder Geschiebesperren reduziert werden.

2 ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Studie wurde anhand eines konkreten Waldbestandes mit der Größe von 177 ha in den Karawanken der Einfluss von unterschiedlichen forstlichen Bewirtschaftungsszenarien untersucht.

Basierend auf einem hochauflösenden Laserscan-Modell der Geländeoberfläche wurde das Abflussverhalten in unterschiedlichen Wassereinzugsgebieten modelliert. Dabei wird der Einfluss der Forststraßen auf das Abflussverhalten deutlich sichtbar. Wenn man die Wasserdurchlässe in das Modell mit einbezieht, dann reduziert sich zwar der lenkende Einfluss der Forststraßen auf den Wasserabfluss, es ist allerdings schwer abzuschätzen, ob in einem Extrem-Niederschlagsereignis die Funktionalität der Durchlässe aufrechterhalten werden kann.

Das Oberflächen-Erosionsrisiko wurde anhand eines RUSLE-Modells flächig modelliert. Das Erosionsrisiko wird vor allem durch offene Flächen ohne Baumbestand bestimmt. Dabei weisen Kahlschläge ohne dichte Krautschicht das höchste Risiko auf.

Gemeinsam mit dem Bewirtschafteter wurden zwei fiktive Bewirtschaftungsszenarien ausgearbeitet. Das Szenario „Intensivierung Forstwirtschaft“ sieht eine Steigerung der Holzernte gegenüber dem Status Quo um 50% vor. Damit werden praktisch 100% des Zuwachses genutzt. Im Szenario „Intensivierung Naturschutz“ wird die Erntemenge auf ca. 50% des jährlichen Zuwachses reduziert und das durchschnittliche Erntealter von 80 auf 130 Jahre angehoben. Der Nadelholzanteil wird dabei von derzeit 86% auf 78% reduziert und 1% der Fläche aus der Nutzung genommen.

Bei der Berechnung der Ökosystemleistungen werden die Unterschiede der beiden Szenarien zum Status Quo bewertet. Der absolute „Wert der Natur“ nämlich nicht festgestellt werden, denn dieser wäre unendlich hoch, da die Menschen in ihrer Existenz auf die Natur angewiesen sind. Durch die Darstellung in Geldeinheiten sollen die Wohlfahrtswirkungen der Bereitstellung der Ökosystemleistungen sichtbar gemacht werden.

Die Analyse der Ökosystemleistungen zeigt, dass die Erntemenge, und damit die Holzproduktion, negativ mit den anderen Leistungen wie Schutz der Biologische Vielfalt, Kohlenstoffspeicherung und Erosionsschutz korreliert ist (siehe

Abbildung 1). Das bedeutet, dass mit zunehmender Erntemenge und Reduktion des Erntealters die Biodiversität, die Kohlenstoffspeicherleistung (in der die Speicherung im Wald, im Holzproduktepool sowie der energetischen und stofflichen Substitutionsleistung berücksichtigt sind) sowie der Erosionsschutz abnehmen.

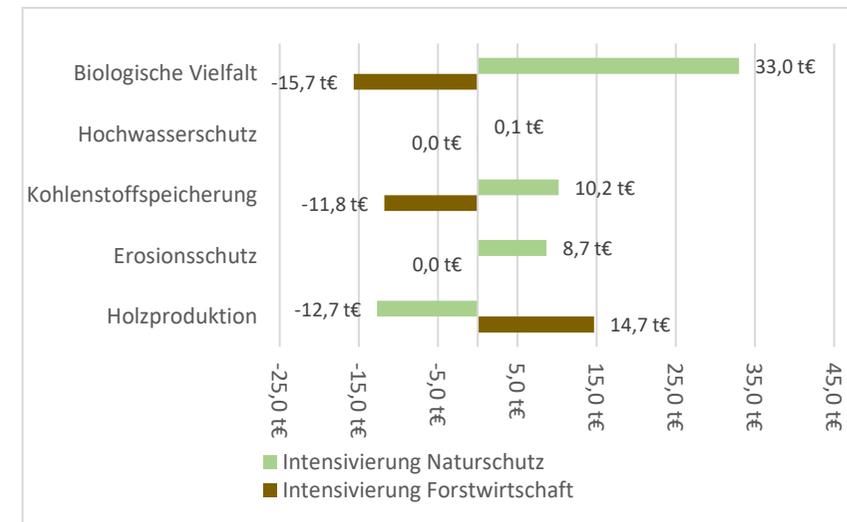


Abbildung 1: Übersicht über die ökonomischen Dimensionen der untersuchten Ökosystemleistungen im Vergleich der beiden Bewirtschaftungsszenarien zum Status Quo.

Aus den Erkenntnissen des Abflussmodells, des Erosionsmodells und den Einflüssen der Bewirtschaftungsszenarien auf die fünf untersuchten Ökosystemleistungen wurden Maßnahmenvorschläge zur Optimierung abgeleitet. Diese zielen auf eine Sicherung eines hohen Bestockungsgrades mit klimafitten Baumarten, eine Steigerung des Holzvorrates im Wald und die Anreicherung von biodiversitätsrelevanten Strukturen (Totholz, Habitat-Bäume) ab.

Für die Bereitstellung der Ökosystemleistungen für die Gesellschaft müssen entsprechend Abgeltungsmechanismen über Marktmechanismen (z.B. Kohlenstoffzertifikate) oder eine Abgeltung durch die Öffentliche Hand für die Waldbesitzer:innen entwickelt werden.

3 ABSTRACT

In the present study, the influence of different forest management scenarios was examined based on a specific forest stand of 177 ha in the Karawanken mountain ridge.

The runoff behavior of separated catchment areas was modeled based on a high-resolution laser scan model of the terrain surface. The influence of the forest roads on the runoff behavior is clearly visible. If the water culverts are included in the model, the directing influence of the forest roads on the water runoff is reduced, but it is difficult to estimate whether the functionality of the culverts can be maintained in an extreme precipitation event.

The surface erosion risk was modeled using a RUSLE model. The risk of erosion is mainly determined by open areas without trees or ground vegetation. Clearcuts without a dense herb layer shows the highest risk.

Two fictitious management scenarios were worked out together with the forest manager. The "intensification of forestry" scenario is characterized by a 50% increase in timber harvest compared to the status quo. In this scenario practically 100% of the annual increment of timber growth is harvested. In the "intensification of nature conservation" scenario, the harvest volume is reduced to around 50% of the annual increment of timber growth and the average harvest age is increased from 80 to 130 years. The proportion of coniferous trees will be reduced from the current 86% to 78% and 1% of the area will be taken out of use for nature conservation purpose.

When calculating the ecosystem services, the differences between the two scenarios and the status quo are evaluated. The absolute "value of nature" cannot be determined because this would be infinitely high, since people depend on nature for their existence. The representation in monetary units should make the welfare effects of the provision of ecosystem services visible.

The analysis of the ecosystem services shows that the amount of the harvested timber volume, is negatively correlated with the other services such as biodiversity protection, carbon storage and erosion control (see Figure 1). This implies that with increasing harvest volume and reduction of rotation period (harvesting age), biodiversity, carbon storage capacity (which takes into account storage in the forest, in the wood product pool and the energetic and material

substitution effects) and erosion protection will decrease.

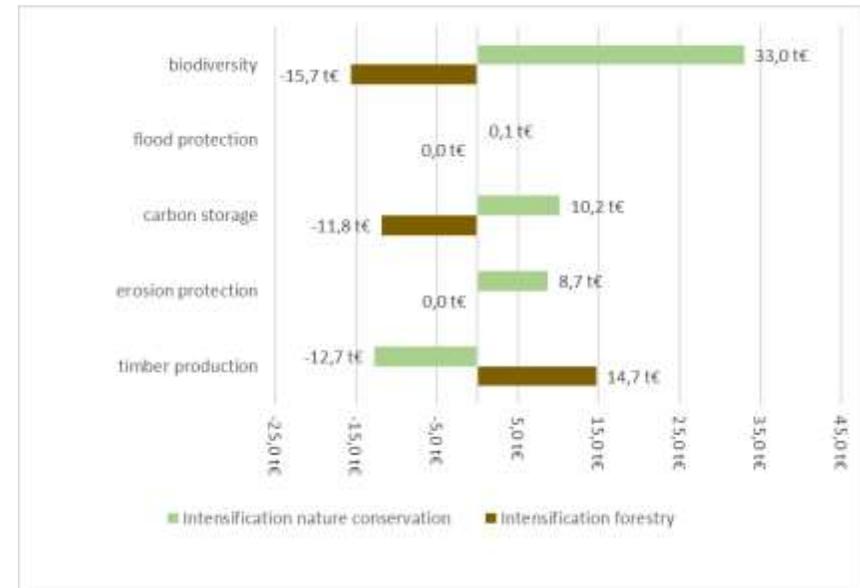


Figure 1: Overview on the economic dimensions of the examined ecosystem services in comparison of the two management scenarios to the status quo.

Proposed measures for optimization were derived from the findings of the runoff model, the erosion model, and the influence of the management scenarios on the five ecosystem services. The main priorities of these measures is to ensure a high degree of stocking with climate-adapted tree species combination, an increase in the wood stock in the forest and the enrichment of structures relevant to biodiversity (dead wood, habitat trees).

4 IZVLEČEK

V pričujoči študiji je bil vpliv različnih scenarijev gospodarjenja z gozdovi preučen na podlagi posebnega gozdnega sestoja, velikega 177 ha, na gorskem grebenu Kara-wanken.

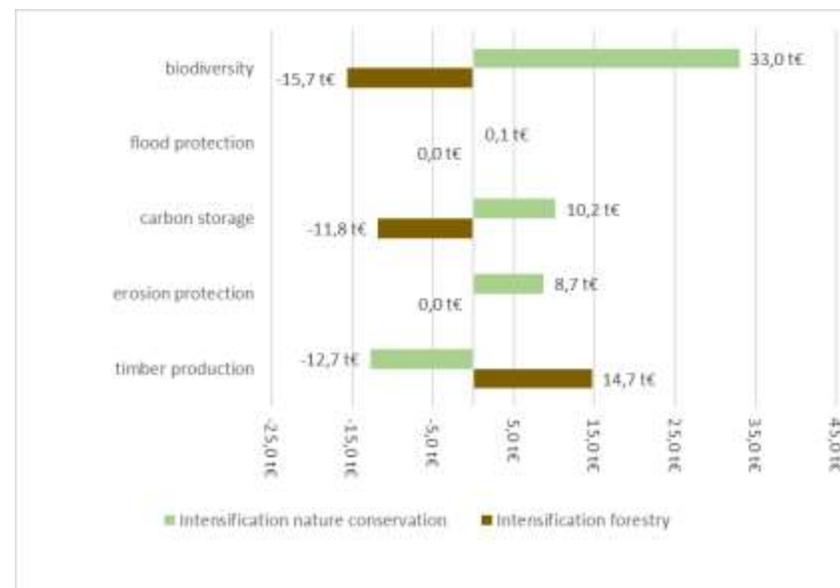
Obnašanje odtoka iz ločenih povodij je bilo modelirano na podlagi visokoresolucijskega modela laserskega skeniranja površine terena. Vpliv gozdnih cest na odtok je jasno viden. Če se v model vključijo vodni propusti, se usmerjevalni vpliv gozdnih cest na odtok vode zmanjša, vendar je težko oceniti, ali se funkcionalnost prepustov lahko ohrani ob ekstremnih padavinah.

Tveganje površinske erozije je bilo modelirano z modelom RUSLE. Tveganje erozije določajo predvsem odprte površine brez dreves ali talne vegetacije. Največje tveganje predstavljajo čistine brez goste zeliščne plasti.

Skupaj z upravljavcem gozda sta bila pripravljena dva fiktivna scenarija gospodarjenja. Za scenarij "intenzifikacije gozdarstva" je značilno 50-odstotno povečanje poseka lesa v primerjavi s sedanjim stanjem. V tem scenariju se poseka praktično 100 % letnega prirastka lesa. V scenariju "intenzifikacije ohranjanja narave" se obseg sečnje zmanjša na približno 50 % letnega prirastka lesa, povprečna starost sečnje pa se poveča z 80 na 130 let. Delež iglavcev se bo zmanjšal s sedanjih 86 % na 78 %, 1 % površine pa bo izvzet iz uporabe za namene ohranjanja narave.

Pri izračunu ekosistemskih storitev so ovrednotene razlike med obema scenarijema in obstoječim stanjem. Absolutne "vrednosti narave" ni mogoče določiti, saj bi bila ta neskončno visoka, ker je obstoj ljudi odvisen od narave. Prikaz v denarnih enotah naj bi omogočil, da so učinki zagotavljanja ekosistemskih storitev na blaginjo vidni.

Analiza ekosistemskih storitev kaže, da je količina posekanega lesa negativno povezana z drugimi storitvami, kot so varstvo biotske raznovrstnosti, shranjevanje ogljika in nadzor erozije (glej sliko 1). To pomeni, da se s povečevanjem obsega sečnje in skrajševanjem obdobja kolobarjenja (starosti sečnje) zmanjšujejo biotska raznovrstnost, zmogljivost shranjevanja ogljika (ki upošteva shranjevanje v gozdu, v skladišču lesnih proizvodov ter energetske in snovne nadomestne učinke) in zaščita pred erozijo.



Slika 1: Pregled ekonomskih razsežnosti proučevanih ekosistemskih storitev v primerjavi obeh scenarijev upravljanja z obstoječim stanjem.

Predlagani ukrepi za optimizacijo so bili izpeljani iz ugotovitev modela odtoka, modela erozije in vpliva scenarijev upravljanja na pet ekosistemskih storitev. Glavne prednostne naloge teh ukrepov so zagotavljanje visoke stopnje založenosti s kombinacijo podnebju prilagojenih drevesnih vrst, povečanje lesne zaloge v gozdu in obogatitev struktur, pomembnih za biotsko raznovrstnost (odmrli les, habitatna drevesa).

Za zagotavljanje ekosistemskih storitev za družbo je treba razviti mehanizme nadomestil prek tržnih mehanizmov (npr. ogljikovi certifikati) ali nadomestil iz javnega sektorja za lastnike gozdov.

5 PROJEKT BESCHREIBUNG

Das Bearbeitungskonzept sah eine Gliederung in 4 Arbeitspakete vor:

1. Erfassung des Ist-Zustandes
2. Entwicklung von Bewirtschaftungsszenarien und Bewertung der Ökosystemleistungen
3. Entwicklung von Maßnahmenvorschlägen
4. Aufbereitung der Ergebnisse

5_1 AP1 Vor-Ort Erhebung, Erfassung des Ist-Zustandes

Der aktuelle Waldzustand wurde im Gelände erfasst und in einer Habitatkarte dargestellt. Die Vegetationsbedeckung wurde in Bezug zum Oberflächenrelief gesetzt, und aus dem digitalen Höhenmodell wurde ein Modell des Oberflächenabflusses und damit des Erosionspotenzials errechnet. Diese Karte wurde mit den im Gelände angesprochenen Erosionserscheinungen und -risiken abgeglichen.

Der Ist-Zustand wurde mit der vom Waldbewirtschafter bereit gestellten Forstoperatskarte (Waldbewirtschaftungsplan) verglichen und die Veränderung der Bestockung für die Testfläche quantitativ beschrieben. Zusätzlich wurde der Bestockungsgrad unmittelbar vor dem Windwurf anhand von verfügbaren Luftbildern ermittelt.

Basierend auf den aktuellen Standortinformationen wie Seehöhe, Exposition, Hangneigung, Geologie bzw. Bodentyp wird für das Testgebiet eine Karte der potenziellen Waldvegetation erstellt. Die potenzielle Waldgesellschaft kann als integrative Beschreibung des Standortpotenzials eingesetzt werden (Kirchmeir 2001, Koch & Kirchmeir 1998). Die Baumartenzusammensetzung und der Bestandesaufbau vor dem Windwurfereignis wurde mit dieser Karte der potenziellen Waldgesellschaften verglichen.

Im Zuge der Geländebegehung wurde die Gewässerstruktur auf Basis des digitalen Höhenmodells aus der Laserscan-Befliegung 2012 erfasst und der aktuelle Abfluss zum Zeitpunkt der Erhebung abgeschätzt. Auch der aktuelle Zustand der Bachläufe in Bezug auf Vegetationsausstattung und Erosionserscheinungen wurde im Gelände dokumentiert. Zusätzlich wurde die Lage von

Forststraßen und ggf. von Durchlässen erfasst, um die Auswirkung auf die räumliche Konzentration von Oberflächenwässern ableiten zu können.

An den potenziellen Akkumulationsstellen des Oberflächenabflusses wurde das Auftreten von Oberflächenerosion, Sedimentakkumulation oder Rutschung überprüft und dokumentiert.

5_2 AP2 Darstellung der möglichen Ökosystemleistungen in mindestens zwei Szenarien

Basierend auf der Beschreibung des Ist-Zustandes wurden in Abstimmung mit den Waldbewirtschaftern zwei konkrete Entwicklungsszenarien entwickelt, die realistisch unter den derzeitigen rechtlichen und standörtlichen Voraussetzungen umsetzbar sind. Ein Szenario fokussiert auf die Priorisierung der Holzproduktion (Intensivierung der Forstwirtschaft), während das zweite Szenario auf eine Optimierung der Biodiversität abzielt (Intensivierung des Naturschutzes). Für beide Szenarien wurden die folgenden vier Ökosystemleistungen qualitativ und quantitativ beschrieben:

- Holzertrag
- Erosionsschutz (Retentionsfunktion, Objektschutz)
- Kohlenstoffspeicherung
- Biodiversität

5_3 AP3 Erstellung eines Maßnahmenplanes

Die notwendigen Umsetzungsmaßnahmen wurden für die beiden Szenarien qualitativ beschrieben. Die Maßnahmenpläne für die beiden Szenarien zur Optimierung des Abflussregimes und der Ökosystemdienstleistungen wurden in enger Abstimmung mit dem Grundbesitzer und anderen relevanten Stakeholder:innen in der Gemeinde entwickelt. Die Unterschiede in den Maßnahmen zwischen den beiden Szenarien und die entsprechenden Auswirkungen auf die Ökosystemleistungen des Waldes wurden dargestellt, verglichen und mit den eingebundenen Stakeholder:innen diskutiert. Die wirtschaftlichen Anforderungen und potenziellen Erträge beider Szenarien wurden verglichen und die aktuell verfügbaren Förderinstrumentarien recherchiert und dargestellt.

Die erarbeiteten Planungsunterlagen wurden je nach verfügbaren Ressourcen potenziellen Förderwerber:innen in einer Form bereitgestellt, die als Beilage zu einem Förderantrag verwendet werden kann.

Abschließend wurden die Pilotmaßnahmen in einen großräumigen Rahmen der Karawanken gestellt und das Upscaling-Potenzial analysiert und beschrieben.

5_4 AP4 Aufbereitung der Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden als Berichte und Karten im PDF-Format bzw. Word-Format bereitgestellt. Räumliche Daten wurden als Shapefiles oder im Rasterformat (e.g. TIFF) bereitgestellt.

Der Bericht umfasst die Szenarien für das Pilotgebiet und die mit der Grundeigentümerin bzw. dem Bewirtschafter abgestimmten Maßnahmenpläne. Zusätzlich zu den digitalen Ergebnissen wurden Bericht und Kartenwerke in 4-facher analoger Ausfertigung abgegeben.

Der Bericht wurde nach den Formatvorgaben erstellt, die die Auftraggeberin bei Projektbeginn bereitgestellt hat. Die verwendeten Ortsnamen und Toponyme wurden in deutscher und slowenischer Sprache angeführt. Eine Zusammenfassung wurde in slowenischer und englischer Sprache verfasst.

Die Fotos wurden georeferenziert und mit Nutzungsrechten zur nichtkommerziellen Nutzung digital bereitgestellt.

6 METHODEN UND ERGEBNISSE

Das gesamte Kapitel Methoden und Ergebnisse wird nur auf Anfrage und mit Zustimmung des Eigentümers und Grundstücksverwalters weitergegeben.

In diesem Bericht finden sich nur Auszüge aus dem Kapitel, die die Methodik für die Festlegung der Szenarien und die Berechnungen der Ökosystemleistungen beschreibt.



Abbildung 2: Schrägluftaufnahme auf eine junge Kahlfäche im steilen Hangbereich. Hier hat sich die Vegetation noch nicht geschlossen und das Erosionsrisiko ist als sehr hoch einzustufen.

6_1 Die Bewirtschaftungsszenarien

Für die Bewertung der Ökosystemleistungen werden zwei Entwicklungsszenarien mit dem Status Quo verglichen. Wie bei Getzner und Kirchmeir (2021) für die Österreichische Bundesforste AG beschrieben, ist es sinnvoll, Ökosystemleistungen für unterschiedliche Managementoptionen miteinander zu vergleichen, anstatt die absoluten Leistungsbeträge darzustellen.

Gemeinsam mit dem Bewirtschafter wurden zwei Bewirtschaftungs-Szenarien ausgearbeitet:

- Intensivierung Forstwirtschaft
- Intensivierung Naturschutz

Der Status Quo als auch die Bewirtschaftungsszenarien werden anhand der folgenden Parameter quantitativ beschrieben.

- Flächenänderungen
- Holzeinschlag
- Ernte-Alter Endnutzung
- Baumartenanteile
- Schutzgebietsanteile

Bei den Bewirtschaftungsszenarien handelt es sich um fiktive Handlungsoptionen, die nicht den realen aktuellen Zielsetzungen des Forstbetriebes entsprechen. Sehr wohl wurden aber die Parameterwerte so gewählt, dass sie realistisch umsetzbar wären.

Bei der Bewertung der Szenarien wurde eine benötigte Übergangsphase vom Status Quo nicht in die Beurteilung miteinbezogen. Es wurde also angenommen, dass das jeweilige Bewirtschaftungskonzept auf der gesamten Fläche umgesetzt ist (z.B. die Baumartenanteile und Bestockungswerte). In der Realität dauert es viele Jahrzehnte, bis die durch die Sturmereignisse freigestellten Flächen wieder bestockt sind und einem regulären Bewirtschaftungsplan unterzogen werden können. Die Bewirtschaftungsszenarien stellen nur die Endpunkte einer Entwicklung dar und werden so bewertet, als ob sie flächig erreicht wurden und sich Baumartenanteile über alle Altersklassen erstrecken

und diese entsprechend dem durchschnittlichen Erntealter gleichförmig auf die Gesamtfläche verteilt sind.

6_2 Die Ökosystemleistungen

Ökosystemleistungen beruhen auf ökologischen Prozessen und ökologischen Funktionen der verschiedenen Ökosystemtypen, wie beispielsweise Wälder, Feuchtgebiete, Seen oder alpines Grasland. Diese Dienstleistungen der Natur befriedigen vielfältige menschliche Bedürfnisse. Sie werden eingeteilt in „**versorgende**“ Ökosystemleistungen (z. B. Nutzung von Biomasse wie Holz), „**regulierende**“ Ökosystemleistungen (z. B. Schutz vor Lawinen durch Schutzwälder oder Speicherung von Kohlenstoff für den Klimaschutz), und „**kulturelle**“ Ökosystemleistungen (Erholungs- und Freizeiträume, Tourismus oder Schutz der biologischen Vielfalt). Der ökonomische Wert dieser Ökosystemleistungen ist jedoch nicht einfach zu bestimmen; die Ökonomik spricht hierbei von „nicht-marktlichen“ Leistungen. Dies bedeutet, dass Ökosystemleistungen nicht auf angebots- und nachfrageorientierten Märkten gekauft werden können. Daher haben sie keinen Marktpreis, der Auskunft über den Wert und die Knappheit des Gutes geben könnte (Getzner and Kirchmeir, 2021).

Für das gegenständliche Projekt wurden der aktuelle Zustand („Status quo“) sowie zwei Bewirtschaftungsoptionen – sogenannte „Szenarien“ – bewertet. Die Bewertungsmethodik basiert auf den Studie „Werte der Natur“ die für die Österreichische Bundesforste AG durchgeführt wurde (Getzner et al., 2020; Michael Getzner et al., 2017; Getzner and Kirchmeir, 2021)

Ausgangspunkt für die Bewertungen ist der aktuelle Bewirtschaftungszustand („Status quo“).

Die Ergebnisse dieser Bewertungen sind als „Wertschätzungen“ für den Erhalt oder die Weiterentwicklung der Ökosystemleistungen des Waldbewirtschafters zu bezeichnen. Diese Werte werden in Geldeinheiten (EUR) ausgedrückt, um sie sichtbar und vergleichbar zu machen und in ihrer Größenordnung darzustellen. Der absolute „Wert der Natur“ kann natürlich nicht festgestellt werden, denn dieser wäre unendlich hoch, da die Menschen in ihrer Existenz auf die Natur angewiesen sind. Die Darstellung in Geldeinheiten führt nicht dazu, dass Ökosystemleistungen (die „Natur“) gekauft oder verkauft werden können, sondern es werden die Wohlfahrtswirkungen der Bereitstellung der

Ökosystemleistungen erfasst. Demnach stand der ökologische und ökonomische Wert der durch die unterschiedlichen Managementstrategien (Szenarien) bedingten Veränderung von Ökosystemleistungen (Δ) im Mittelpunkt der Studie.

Im Zuge des Projektes wurden 4 Ökosystemleistungen untersucht:

- Holzertrag
- Erosionsschutz (Retentionsfunktion, Objektschutz)
- Kohlenstoffspeicherung
- Biodiversität

6_2_1_1 Zukunft und Entwicklungstrends

Die Modellierungen in der Untersuchung gehen von einer hypothetischen Vollumsetzung der Szenarien aus, um die möglichen und plausiblen Entwicklungen im Rahmen dieser Szenarien im Vergleich zum Status Quo zu bewerten. Zukünftige externe Einflüsse und Veränderungen, sogenannte Entwicklungstrends, sind mit großen Unsicherheiten verbunden und wissenschaftlich kaum über lange Zeiträume prognostizierbar (z.B. Klimawandel, ökologische Veränderungsprozesse, sozio-demographische Entwicklungen, Veränderungen des Einkommens, der Präferenzen und der Zahlungsbereitschaften). Da diese externen Einflüsse einerseits mit großer Unsicherheit behaftet sind, aber andererseits auf alle beide bewerteten Szenarien praktisch im gleichen Ausmaß wirken, wurden sie in der vorliegenden Beurteilung der Managementeinflüsse auf die Ökosystemleistungen nicht berücksichtigt.

6_2_1_2 Managementstrategien und Szenarien

Innerhalb des Projektes wurden zwei Szenarien zu möglichen Managementstrategien entwickelt: „Intensivierung Forstwirtschaft“ und „Intensivierung Naturschutz“. Der „Status quo“ bildet die Ausgangsbasis, anhand dessen die Unterschiede der beiden Szenarien betrachtet werden. Jedes Szenarium ist durch zahlreiche Indikatoren beschrieben (siehe Kapitel 6_1 auf Seite 13), die sich direkt auf eine oder mehrere Ökosystemleistungen auswirken.

Szenarium „Intensivierung Forstwirtschaft“: Dieses Szenarium unterstellt eine verstärkt auf betriebswirtschaftliche Erfordernisse ausgerichtete Forstwirtschaft. Es wird angenommen, dass innerhalb des vorhandenen gesetzlichen

(rechtlichen) Rahmens die Forstwirtschaft auf den bereits bewirtschafteten Flächen intensiviert wird.

Szenarium „Intensivierung Naturschutz“: Dieses Szenarium stellt eine deutliche Stärkung von Naturschutzaspekten in der Waldbewirtschaftung und eine Erhöhung der Artenvielfalt dar. Dadurch werden nicht-marktliche Güter und Dienstleistungen in höherem Ausmaß bereitgestellt. Es wird in diesem Szenarium der Schutzgebietsanteil und die Baumartenvielfalt gegenüber dem „Status quo“ deutlich vergrößert, das Erntealter erhöht und der Nutzungsdruck auf der Fläche durch einen geringeren Holzeinschlag reduziert.

Je nach Szenario können sich daher die natürlichen Systeme, und damit die Ökosystemleistungen verändern. Dabei werden in der Ergebnisdarstellung nicht die absoluten Werte der Ökosystemleistungen, sondern die Unterschiede zwischen den Szenarien zum „Status Quo“ dargestellt.

6_2_2 Holzertrag

Die Ökosystemleistung „Holzertrag“ wurde aus den geplanten Erntemengen ermittelt. Die Holzernstmenge wurde auf drei Sortimente (Sägerundholz, Industrieholz, Brennholz) aufgeteilt. Die Anteile je Sortiment wurden aus dem Nadelholzanteil an der Gesamterntemenge abgeleitet.

Die Erzeugerpreise nach Abzug der Erntekosten basieren auf Getzner et al. (2020) und sind auf die Preisbasis 2018 gerechnet.

6_2_3 Erosionsschutz (Retentionsfunktion, Objektschutz)

Im Bereich Erosionsschutz wurden für die Ermittlung der Ökosystemleistungen zwei Aspekte beleuchtet: zum einen der Schutz vor Lawinen und Steinschlag und zum anderen die Rückhaltekapazität der Ökosysteme bezüglich des Oberflächenabflusses bei Extremniederschlägen.

6_2_3_1 Schutz vor Steinschlag und Lawinen

Um vor Steinschlag und Lawinen einen effektiven Schutz zu bieten, müssen Waldbestände Bäume eine ausreichende Größe und Dimension aufweisen. Nach einer schlagweisen Nutzung ist ein Bestand zuerst unbestockt und es dauert, je nach Bonität, 1–5 Jahrzehnte, bis ein Waldbestand entsteht, der gegen

Steinschlag und Lawinen einen adäquaten Schutz bieten kann. Dabei nimmt die Schutzwirkung schrittweise zu.

Die Sturzbahnen für Lawinen und Steinschlag wurden anhand der Daten aus den Projekten GRAVIMOD bzw. GRAVIPROFOR (Perz et al., 2014; Perzl et al., 2014a, 2014; Perzl et al., 2014b; Perzl & Huber, 2014b) abgeleitet. Der Fokus der vorliegenden Untersuchung lag auf der Leistung des Waldes zum Schutz der durch Menschen genutzte Flächen und Infrastrukturen. Aufgrund der ausschließlichen Betrachtung der gravitativen Massenbewegung wurde somit nicht der gesamte Standortschutzwald in die Analyse miteinbezogen. Diese Analyse wurde als Grundlage für die Ermittlung von geschützten Objekten und Infrastrukturen herangezogen.

Um die Fläche der effektiv objektschützenden, bestockten Waldfläche in den Szenarien gegenüber dem „Status quo“ zu ermitteln, wurden das entsprechende Erntealter der Endnutzung herangezogen, um die freigestellte Fläche zu ermitteln. In den Szenarien „Status quo“ und „Intensivierung Forstwirtschaft“ wurde von einem mittleren Erntealter der Endnutzung von 80 Jahren ausgegangen. Im Szenarium „Intensivierung Naturschutz“ erhöht sich das Erntealter der Endnutzung um 50 Jahre auf 130 Jahre. Aufgrund des höheren Erntealters der Endnutzung kommt es zu einem höheren Anteil an effektiv bestockten Waldflächen und einem höheren Durchschnittsalter der Bäume. Dies hat eine positive Auswirkung auf die Objektschutzfunktion von Wäldern, da z. B. Studien zeigten, dass Lawinengeschwindigkeiten von 20 m/s bei einer Fließhöhe von 3 m nicht ausreichen, um Bäume mit einem Stammdurchmesser von mehr als 30 cm zu brechen (Margreth, 2004).

Die Wiederherstellung der vollen Schutzfunktion von Wald wird mit 30 Jahren angenommen, dies entspricht der technischen Lebensdauer von Schutzbauten (Holzverbauungen). Die durchschnittliche Dauer der Notwendigkeiten von Schutzmaßnahmen des Waldes wurde in einem Zeitraum von 15 Jahren angenommen, da eine lineare Zunahme der Schutzwirkung bis zum Bestandesalter von 30 Jahren angenommen wurde.

Die Differenzen der jährlich freigestellten Flächen der jeweiligen Szenarien zur „Status quo“ multipliziert mit 15 Jahren ergeben die permanent zu sichernden Flächen (Unterschiede in ha). Die Annahme liegt bei einem Mittelwert der Kosten technischer Verbauung von 7.537 EUR pro Hektar (siehe auch Getzner et al., 2017). Zu berücksichtigen ist hierbei, dass sich dieser Mittelwert aus einer

Reihe von technischen Möglichkeiten (z. B. Lawinenverbauungen mit Netzen, aus Stahl oder Holz) ergibt; die günstigste Möglichkeit ist ein gezieltes Management des Schutzwaldes per se, beispielsweise ein darauf ausgerichtetes Wildtiermanagement. Die angenommenen mittleren Kosten entsprechen etwa den Kosten von Schneebrücken aus Holz; Schneebrücken aus Stahl würden rund das Doppelte kosten.

Für die ökonomische Bewertung der Ökosystemleistung der Erosionskontrolle wurde somit auf die Kosten technischer Ersatzmaßnahmen abgestellt. Hierfür ist je nach Funktion und Ausmaß der technischen Verbauung eine Reihe von technischen Möglichkeiten vorhanden. Die oben erwähnten Kosten der technischen Verbauung ergeben sich aus einem Durchschnitt relevanter und für die Sicherung möglicher Schutzmaßnahmen, wobei hinsichtlich der Lebensdauer der Anlagen nicht die gesamten Produktionskosten berücksichtigt wurden, sondern die Lebenszykluskosten in eine Annuität umgerechnet und nur die jährlich zugerechneten Produktionskosten für die Bewertung der Schutzfunktion (bzw. des Entfalls der Schutzfunktion) verwendet wurden. .

6_2_3_2 Rückhalteleistung von Oberflächenwasser

Weiters wurde der Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftungsszenarien auf den Oberflächenabfluss untersucht.

Diese Fähigkeit leistet einen wichtigen Beitrag zum Hochwasserschutz. Niederschlag wird durch Interzeption und Transpiration direkt an die Atmosphäre abgegeben und ist somit nicht als Abfluss wirksam (Wieser et al., 2008). Niederschlagsabflüsse in einem Einzugsgebiet werden durch den Boden, die Topografie und die Landnutzung bestimmt. Eine Änderung der topografischen Eigenschaften wird jedoch im Gegensatz zu Landnutzungsänderung meist nur kleinräumig durchgeführt (Miller et al., 2002). Die erhobene Literatur in (Rogger, 2017) zeigt, dass sich je nach betrachtetem Bereich (Einzugsgebiet, Hang, Versuchsfläche) der Einfluss ändert. Durch eine gesteigerte Interzeption von Regen und eine höhere Transpiration, eine geringere Bodenfeuchte und eine höhere Bodendurchlässigkeit von Wald gegenüber Grasland konnte im Rahmen von Experimenten gezeigt werden, dass sich der Abfluss aus dem Einzugsgebiet verringern kann. Der Einfluss bewaldeter Flächen während eines Hochwasserereignisses ist jedoch schwierig zu erfassen. Im Bereich von Versuchsflächen (begrenzt auf geringen und gemäßigten Regenschauer) zeigten bewaldete

Bereiche gegenüber Grasland niedrigere und verzögerte Hochwasserspitzen. Über die Auswirkungen von Landnutzungsänderungen im Wald gibt es keine klaren Aussagen auf Einzugsgebietsebene. Schwierig ist vor allem, die nichtlineare Generierung des Abflusses zu ermitteln. Noch nicht geklärt ist auch, wie sich Waldbewirtschaftungsmaßnahmen, welche sich auf die Altersstruktur und die Waldzusammensetzung auswirken, auf das Bodengefüge und die Bodenfeuchte wirken (Rogger, 2017). Der Boden spielt bei der Retention von Wasser jedoch eine entscheidende Rolle. So kann es auch bei gleichen Ausgangsbedingungen für verschiedene Bestände zu unterschiedlichen Ergebnissen bei der Rückhaltefähigkeit von Wasser im Boden kommen (Markart et al., 2007). Die Reduktion der Hochwassergefahr durch Wald ist hauptsächlich bei kleinen Einzugsgebieten gegeben. Große Einzugsgebiete weisen oft einen relativ geringeren Waldanteil auf, wodurch Wälder einen entsprechend geringen Einfluss auf den Hochwasserabfluss haben. Auch hohe Niederschlagsmengen bzw. langanhaltende Niederschläge führen aufgrund von Wassersättigung im Boden zu einem geringen Beitrag des Waldes zum Hochwasserschutz (Mößmer, 2003). Studien im Hubbard-Brook-Untersuchungsgebiet (USA) haben gezeigt, dass die 20 größten Regenereignisse nur mäßig mit den Spitzenabflüssen unterschiedlich bewirtschafteter Wassereinzugsgebiete korrelieren. Auch kam es aufgrund der meist trockenen Böden durch hohe Transpirationsraten im Sommer selten zu hochwasserrelevanten Abflüssen (Bailey Schenck et al., 2003). Somit kann es sich bei der Berechnung der Hochwasserschutzwirkung von Wäldern während eines Starkniederschlagsereignisses nur um eine grobe Schätzung handeln

Die Berechnung für den Oberflächenabfluss besteht aus zwei Teilkomponenten. Einerseits wurde versucht, den Einfluss der Bewirtschaftung auf den Boden abzubilden. Andererseits wurden Werte für die Interzeption bzw. Evapotranspiration der Vegetationsdecke berechnet.

Ein hohes Risiko zur Fahrrinnenbildung besteht bei Standortseinheiten mit einem hohen Anteil an organischen bzw. feinerdereichen Bestandteilen (Dienststelle Landwirtschaft und Wald, Abteilung Wald, 2005; Lüscher et al., 2010).. Auch neigen feuchte bzw. nasse Standorte sowie Hangstandorte zu einem erhöhten Risiko einer Fahrrinnenbildung. Weiters wurden die Waldbestände anhand der Hangneigung aus den nach ihrer Befahrbarkeit beurteilt. Die Hangneigungen wurden in die Klassen befahrbar (<30%), eingeschränkt befahrbar (30-60%) und nicht befahrbar (>60%) eingeteilt (Nemostothy, 2015).

Bei der Ermittlung der Bodenverdichtung wurde davon ausgegangen, dass auf befahrenen Flächen Rückegassen in einem Abstand von 20 m mit einer Fahrbahnbreite von 4 m angelegt wurden. Daraus ergibt sich, dass (maximal) 20 % der Gesamtfläche befahren und verdichtet werden. Bei einer Hangneigung von <30% wurde eine vollständige Befahrung von 20 % angenommen. Auf den nur bedingt befahrbaren (30 – 60 %) Waldorten wurde eine Befahrung von 10 % der Gesamtfläche angenommen. Bei nicht befahrbaren Waldorten wurde davon ausgegangen, dass keine Bodenverdichtung durch Befahrung stattfindet. Mit Hilfe dieser Einteilung erfolgte anschließend die Zuteilung von Abflusskoeffizienten zu den Flächen, um daraus den Abfluss zu berechnen.

Anhand des Abflusskoeffizienten kann eine Schätzung durchgeführt werden, wie viel Niederschlag versickert bzw. als Abfluss abfließt. Die verwendeten Abflusskoeffizienten (Zemke, 2016) wurden im Rahmen einer Regensimulationsuntersuchung in Rheinland-Pfalz erhoben. Die Zuteilung der Abflusskoeffizienten erfolgte nach Verwendungszweck (Rückegassen, ungestörter Boden, Forstweg), Befahrungsprozent und Neigung zur Fahrrinnenbildung. Bei der Zuteilung der Abflusskoeffizienten wurde davon ausgegangen, dass bei nicht befahrenen Flächen ein ungestörter Waldboden vorhanden ist (Abfluss von 3,7 % des Niederschlags). Rückegassen ohne Fahrrinnen generieren 14,9 % Abfluss und Rückegassen mit Fahrrinnen weisen einen Abflusskoeffizienten von 59,9 % auf. Es erfolgt auch keine Einschätzung, wie sich unterschiedliche Hangneigungen auf den Abflusskoeffizienten auswirken. Bei Forststraßen wurde ein mittlerer Wert des Abflusskoeffizienten von 87 % angenommen (Mischwert für planiert oder geschottert Forststraßen).

Die Unterschiede des Abflusses beim Vergleich verschieden bestockter Flächen haben gezeigt, dass der jährliche Abfluss hauptsächlich durch die Interzeption beeinflusst wird. Diese haben jedoch keinen großen Einfluss auf hochwasserrelevante Abflüsse (Hornbeck et al., 1995). Hingegen wirkt sich der Waldboden vor allem bei kurzen und intensiven Niederschlägen positiv auf die Verringerung des Abflusses aus (Hegg et al., 2004). Es wurde die Niederschlagsintensität eines Starkregenereignisses wie im Projekt Muflian (Ferner et al., 2012) mit 100 mm Niederschlag, welcher auf den Boden auftrifft, bemessen. Anhand dieser Berechnung kann der Einfluss der Bodenverdichtung auf den Abfluss während eines Starkregenereignisses abgeschätzt werden.

In einem zweiten Schritt wurde die Auswirkung der Interzeption auf den

Hochwasserabfluss und die mittlere jährliche Verdunstung berechnet, um den Einfluss der Vegetation zu ermitteln. Studien zeigen, dass die Evaporation der Pflanzen für die Baumvegetation messbar höher ausfällt als für kurzwüchsige alpine Rasen. Auch die Interzeption von Grasland fällt verglichen mit Waldbeständen (je nach Baumartenzusammensetzung und Dichte des Kronendaches vier bis sechs Millimeter) geringer aus, wobei Laubbäume weniger Wasser in der Krone zurückhalten als Nadelbäume (Markart et al., 2007). Der Unterschied zwischen Nadel- und Laubbäumen ist nicht nur saisonbedingt, auch die Rauigkeit der Blattoberfläche spielt eine Rolle. Bei der Buche führt der relativ glatte Stamm zudem zu einem höheren Stammabfluss als z. B. bei Kiefern oder Lärchen (Müller, 2018). Durch eine Änderung der Landnutzungs-Klassen bzw. Baumartenzusammensetzung kann somit die Fähigkeit der Landschaft, Niederschlag zurückzuhalten, zumindest geringfügig beeinflusst werden.

Im Folgenden wird geschätzt, wie viel Wasser die einzelnen Vegetationstypen an die Atmosphäre abgeben und damit während eines Regenereignisses zurückhalten. Hierzu wurden zwei unterschiedliche Ansätze gewählt:

Der Ansatz der Interzeption beschreibt den unmittelbaren Einfluss der Vegetation auf das Hochwasserrückhaltevermögen der Waldflächen. Die Abschätzung der Interzeption beschreibt die Menge an Niederschlag, die benötigt wird, um einen Baum bzw. den Unterwuchs während eines Regenereignisses mit Wasser zu benetzen. Dieser Anteil an Niederschlag wird somit im Falle eines Hochwasserereignisses zurückgehalten. Die Interzeption für die Waldflächen wurde auf Grundlage der Baumartenanteile auf Basis von Literaturwerten nach (Otto, 1994) geschätzt. Für die Waldflächen wurde dafür der Anteil an Laubbäumen, Nadelbäumen und Blößen in den einzelnen Baumschichten ermittelt und anteilmäßig zusammengefasst. Für die Berechnungen wurde jeweils der mittlere Benetzungswert herangezogen, da dieser abhängig von Alter und Struktureigenschaften der Bäume ist. Die mittlere Interzeption wird hauptsächlich durch den hohen Fichtenanteil unter den Nadelbäumen geprägt. Die mittlere Interzeption für Nadelwald wird somit mit 2,3 mm angenommen, für Laubmischwald liegt die mittlere Interzeption bei 1,1 mm Otto (1994). Die Interzeption von Blößen wurde anhand der zur Verfügung stehenden Literaturwerte für Adlerfarn (1,8 mm), Heide (1,7 mm) und Pfeifengras (1,9 mm) gemittelt. Da davon auszugehen ist, dass Blößen keine vollständige Vegetationsdeckung (bis zur Wiederbewaldung) aufweisen, wurde für die Auswertung eine Deckung der Bodenvegetation von 50 % und eine mittlere Interzeption von 0,9 mm

angenommen. Für Forstwege wurde eine Interzeption von 0 mm angenommen.

Der Oberflächenabfluss beschreibt die Menge an Wasser, welche während eines Regenereignisses am Boden angelangt und nicht versickert. Die Interzeption ist der Anteil an Niederschlag, der durch Benetzung der Oberfläche in der Vegetation zurückgehalten wird.

Einfluss von Bodenverdichtung und Forststraßen

Die Berechnung des generierten Abflusses während eines (fiktiven) Regenereignisses von 100 mm Niederschlag ergibt, dass auf den Waldflächen und den Forstwegen insgesamt 13.700 m³ Wasser abfließen (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Der flächenmäßig größte Anteil entfällt auf ungestörte Waldböden. Da laut Zemke (2016) hier der Abfluss nur 3,7 % des Niederschlages ausmacht, handelt es sich im Status quo-Szenarium um einen verhältnismäßig geringen Abfluss von 6.000 m³ Wasser. Der Anteil des Oberflächenabflusses auf den Forststraßen beträgt

Der Oberflächenabfluss wurde modelliert, indem die Flächenanteile der Kategorien „Forststraße“, und „Durch Befahren verdichteter Waldboden“ [ha] und deren Abflusswerte [m³] je Szenarium berechnet wurden. Diese Kategorien ergeben sich aus der unterschiedlichen Forststraßendichte und Befahrungintensität des Waldbodens je Szenarium. Eingangsgröße in das Modell war dabei die Niederschlagsmenge, die den Boden nach der Interzeption erreicht. Summiert man die Abflusswerte aller Teilflächen, ergibt sich daraus der Abfluss [m³] je Szenarium.

Das Rückhaltevermögen aller Waldflächen durch Interzeption während eines Regenereignisses beläuft sich insgesamt auf 2.675 m³ Wasser für den Status Quo (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Diese Menge verbleibt somit direkt auf der Waldfläche und fließt nicht in das Gewässernetz ab. Für die beiden verglichen Szenarien wurde die Interzeptionsleistung aufgrund der Veränderungen des Laub- und Nadelholzanteils, der Blößen und des Forststraßenanteils je Szenario ermittelt. Die Veränderung des Anteils „Blöße“ ergibt sich durch Veränderung der Umtriebszeit. Der Unterschied zwischen einer leicht erhöhten Inzerzeptionsleistung im Szenario „Intensivierung Forstwirtschaft“ gegenüber dem Szenario „Intensivierung Naturschutz“ liegt bei etwa 100 m³. Der Unterschied ergibt sich maßgeblich aus den höheren

Verdichtungs- und Blößenanteil im Szenario „Intensivierung Forstwirtschaft“.

6_2_4 Kohlenstoffspeicherung

Durch die Bindung von Kohlenstoff (C) in der Biomasse und das Wachstum von Pflanzen wird die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre reduziert bzw. die weitere Anreicherung von CO₂ verlangsamt (Umweltbundesamt, 2015). Diese Ökosystemleistung beschreibt die Leistung von Wäldern (und Holzprodukten), Grünland und Mooren, Kohlenstoff in Form CO₂ aufzunehmen und als Kohlenwasserstoffe zu speichern; dadurch wird ein Beitrag zum Klimaschutz (in noch zu bestimmendem Ausmaß) geleistet. Durch die Erhöhung der Kohlenstoffvorräte (C-Vorräte) in der Landschaft (Biomasse, insb. Boden und Holz) und in den Holzproduktepools (Schnittholz, Platten und Papier) kommt es zu einer Netto-Kohlenstoffsенke (d.h. der C-Bestand im Biomasse-Vorrat nimmt zu) oder einer Netto-Emission (d.h. der C-Bestand im Biomasse-Vorrat nimmt ab (Gustavsson et al., 2006)). Darüber hinaus wird durch die Substitution von Holz und Holzprodukten anstelle von fossilen Rohstoffen und Produkten aus anderen Materialien CO₂-Emissionen eingespart, und beeinflusst auf diese Weise die Treibhausgasbilanz (Umweltbundesamt, 2015). Auch dieser Substitutions-Effekt wird unter dieser Ökosystemleistung erfasst.

Bei der Beurteilung der Bewirtschaftungsszenarien wird die Veränderung der Holzbiomasse im Wald durch die Erntemengen beurteilt. Ebenso Eingang in die Berechnung nimmt die Veränderung des Holzproduktepools sowie die Substitutionsleistung durch energetische und stoffliche Nutzung

Die Berechnung hinterlegt einen Zeitraum von 30 Jahren. Da die Waldbestände durchwegs jung sind, erreichen die Bestände in diesem Zeitraum nicht die ökologisch bedingten Speichermaxima. Daher wird die Erntemenge als Veränderung des Holzspeichers in Wald herangezogen.

Aus den Erntemengen und der Sortimentsverteilung werden die Veränderung des Holzproduktepools und die stoffliche und energetische Substitutionsleistung ermittelt.

6_2_4_1 Speicherung von Kohlenstoff in Holzprodukten (I3)

Zusätzlich zu dem gespeicherten Kohlenstoff in der Biomasse im Wald wird berücksichtigt, welche Menge an Kohlenstoff darüber hinaus in Holzprodukten (dem „Holzproduktetpool“) gelagert ist. Hierbei geht es insbesondere um die langfristige Speicherung. In den für das Projekt festgelegten Szenarien wurde ein Referenzzeitpunkt 2050 festgelegt. Dieser Zeitpunkt entspricht auch der Zielsetzung der Europäischen Klimastrategie, bis 2050 Klimaneutralität zu erreichen (European Commission, 2019). Die dargestellte Entwicklung bezieht sich

damit auf einen Zeitraum von insgesamt 3 Dekaden. Dazu wurden die durchschnittlichen jährlichen Erntevolumina je Sortimentskategorie für den als Eingangswerte herangezogen. Entsprechend der Daten der aktuellen österreichischen Holzstromanalyse für das Jahr 2015 (Strimitzer et al., 2017; siehe Abbildung 3) wurden ermittelt, wie hoch die jeweiligen Anteile der unterschiedlichen Produktkategorien Schnittholz, Platte, Pappe/Papier sowie Holz für die thermische Verwertung am Gesamtholzaufkommen sind.

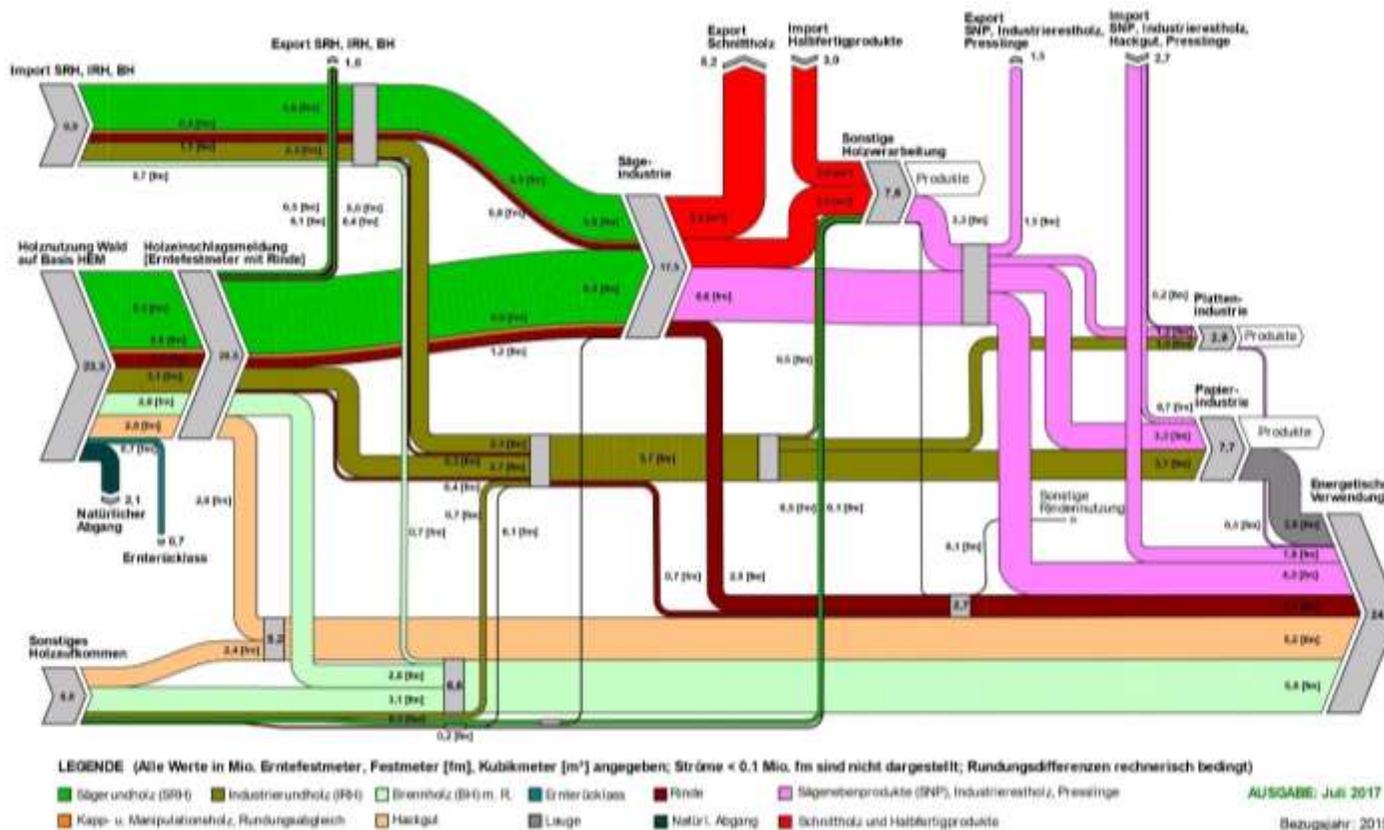


Abbildung 3: Holzströme in Österreich (2015).

Quelle: Entnommen von klimaaktiv.at (© Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (Strimitzer et al., 2017)

Da die Eingangsgrößen bei der Holzstromanalyse in mehreren Kaskaden zu den Endprodukten verarbeitet werden, kann nicht genau nachvollzogen werden, welche Eingangsströme zu welchen Ausgangsströmen weiterverarbeitet werden. Deshalb wurden bei jeder Kaskade alle Eingangsflüsse aufsummiert und dann anteilmäßig auf die Ausgangsflüsse aufgeteilt. Importe und Exporte wurden entsprechend saldiert. Ergebnis ist eine prozentuelle Verteilung der Eingangssortimente auf die vier Produktkategorien (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Entsprechend dieser Analyse wird Sägerundholz zu 56 % zu Schnittholz und zu jeweils 5 % zu Platten und Papier/Pappe verarbeitet, 35 % werden thermisch verwertet. In der Sortimentskategorie Industrierundholz werden von der gesamten Rohstoffmenge 5 % zu Schnittholz, 24 % zu Platten, und 32 % zu Papier/Pappe verarbeitet; 40 % werden thermisch verwertet. Für die Sortimentskategorien „Brennholz“ und „Industrielle thermisch (Derbholz)“ wurde eine 100 %-ige thermische Verwertung angenommen.

Anstelle der internationalen Standardwerte für Halbwertszeiten (IPCC, 2014) wurden für Schnittholz, Platten, Papier/Pappe sowie Brennholz aktuelle Analysen zu Halbwertszeiten aus Österreich und Deutschland herangezogen (siehe Tabelle 1). Die Halbwertszeit im vorliegenden Zusammenhang gibt an, in wieviel Jahren die Hälfte der Menge des Kohlenstoffes in der jeweiligen Produktkategorie wieder freigesetzt wird.

Basierend auf der Halbwertszeit kann eine exponentielle Abbaufunktion erstellt werden, mit der die verbleibende Holzmenge je Produktkategorie für die Jahre 2016–2050 ermittelt werden kann. Für den Status quo wurde angenommen, dass jährlich 650 Mio. efm in den Holzproduktepool eingebracht werden. Anschließend wurde die Summe aus den jährlich eingebrachten Holzmengen unter Berücksichtigung der jährlichen Zerfallsrate in den 3 Dekaden für den durchschnittlichen Totholzanteil erhoben. Dieser Ansatz betrachtet den Aufbau des Kohlenstoff-Vorrats in Holzprodukten, ohne die Einberechnung der „geerbten Emissionen“. Unter den geerbten Emissionen versteht man die Holzprodukte, welche sich zum Startzeitpunkt der Berechnung schon im Holzproduktepool befinden. Dieser Ansatz erscheint zielführend, da auf den Kohlenstoff-Abbau von bereits im Umlauf befindlichen Holzprodukten keinen Einfluss genommen werden kann.

Dem Ansatz wurde auch hinterlegt, dass die Verhältnisse der Holzsortimente zueinander, die Holzverwendung und die Halbwertszeiten für den betrachteten Zeitraum gleichbleiben.

Tabelle 1: Angenommene Halbwertszeiten als Basis zur Ermittlung des im Holzproduktepool gespeicherten Kohlenstoffes und Standard-Halbwertszeiten aus IPCC (2014).

Halbfertigprodukte	Halbwertszeit (Jahre)	Quelle	Vergleichswerte IPCC (2014)
Thermische Verwertung	1	Wördehoff et al. (2011)	-
Schnittholz	13,05	Braun et al. (2015): 9,5 Jahre; Mantau and Bilitewski (2010): 16,6 Jahre	35
Platten	10	Braun et al. (2015): 9,0 Jahre Mantau and Bilitewski (2010): 11,0 Jahre	25
Papier	2	IPCC: 2 Jahre; Wördehoff et al. (2011): 2 Jahre	2

Quelle: Eigene Zusammenstellung auf Basis der angegebenen Quellen.

Wie bereits ausgeführt, wird bei der dargestellten Berechnung der Abbau, der zum Startzeitpunkt bereits im System befindlichen Holzprodukte, nicht berücksichtigt. Diese geerbten Emissionen werden in den Berechnungen des Umweltbundesamt (2017) für ganz Österreich miteinbezogen: Dort fließen reale Holzeinschlagsmengen von 1961 bis 2015 sowie modellierte Holzeinschlagsmengen für die Jahre 1900–1961 mit ein.

6_2_4_2 CO₂-Einsparungen durch die energetische Nutzung (I3)

Wie im vorangestellten Kapitel beschrieben, wurden aus den durchschnittlichen Erntemengen entsprechende Anteile an Halbfertig-Holzprodukten ermittelt. Aus Angaben von Schwarzbauer et al. (2015) kann die Menge der Halbfertigprodukte auf Endprodukt-Kategorien umgelegt werden, die als Basis der

Substitutionsberechnung dienen.

Wie bereits dargestellt, gehen vom jährlichen Gesamteinschlag vom Sägerundholz 35 %, vom Industrierholz 40 % und vom Energieholz 100 % der Erntefestmeter in die energetische Nutzung.

Aus den Statistiken zum österreichischen Endenergieverbrauch lässt sich ableiten, dass Holzbrennstoffe, Fernwärme (Holzanteil) und Laugen zu 91,9 % für die Wärmeproduktion und zu 8,1 % für die Stromproduktion eingesetzt wurden (BMLFUW, 2016a.). Um die CO₂-Einsparungen berechnen zu können, wurde dieses Verhältnis auch für die das energetisch genutzte Holz im Pilotgebiet angenommen.

Basierend auf den dargestellten Daten und der Berücksichtigung unterschiedlicher Wirkungsgrade für die Umwandlung von Biomasse in Nutzenergie (34 % bei Strom, 88 % bei Wärme, Annahmen wie in Böhmer et al. (2014) wurde abgeleitet, dass aus Erntemenge (Status Quo) rund 10 MWh an elektrischer Energie und rund 290 MWh an thermischer Energie erzeugt werden. Somit wird Holz aus der Holzernte mit einem Energiegehalt von insgesamt 300 MWh eingesetzt. Daten für eine Aufschlüsselung der Wirkungsgrade nach Anlagentyp etc. waren nicht vorhanden; die teilweise doppelte Nutzung der Energie als Wärme und Strom in KWK-Anlagen konnte hierbei mangels Datengrundlage nicht berücksichtigt werden.

Für die Einsparung an CO₂-Äquivalenten wurden die Emissionsfaktoren für Biomasse-Kraftwerke (Strom) bzw. Heizwerke (Wärme) aus Böhmer et al. (2014) herangezogen, wobei die direkten CO₂-Emissionen aus dem im Holz gespeicherten CO₂ gemäß internationalen Richtlinien als „neutral“ angesehen werden. Die Emissionsfaktoren wurden mit den Emissionskoeffizienten für das Jahr 2015 für die inländische Gesamtstromaufbringung bzw. Wärmegewinnung verglichen. Daraus ergibt sich die in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellten Einsparungsmengen.

6_2_4_3 CO₂-Einsparungen durch die stoffliche Nutzung von Holzprodukten – Substitutionsemissionen (13)

Durch die stoffliche Nutzung von Holzprodukten anstelle anderer Materialien können Treibhausgasemissionen eingespart werden (Umweltbundesamt, 2015). Die Substitution von zum Beispiel Holzrahmenkonstruktionen anstelle

von Betonkonstruktionen führt zu einer Verringerung der CO₂-Emissionen (Gustavsson et al., 2006). Die Betrachtung verschiedener Lebenszyklen stellt jedoch eine große Herausforderung bei der Erhebung der stofflichen Substitution von Holz dar. Wesentlich sind dabei die Nutzungsdauer der Produkte als auch etwaige kaskadische Nutzungen. So kann zum Beispiel Beton nach Abbruch als Füllmaterial beim Bau von Infrastruktur verwendet werden. Durch Recycling werden dadurch die Emissionen von Materialien im Lebenszyklus gesenkt (Bribián et al., 2011). Generell führt eine Kaskadennutzung des Rohstoffes in der stofflichen Nutzung im Vergleich zur energetischen Nutzung von Holz zu einer weit besseren ökobilanziellen Bewertung (Umweltbundesamt, 2014).

Da es sich bei der Berechnung der stofflichen Substitution um einen komplexen Prozess handelt, stützt sich die Abschätzung des Anteils an der stofflichen Substitution auf den Bericht des Umweltbundesamt (2015). In diesem werden die Treibhausgasemissionseinsparungen der stofflichen und energetischen Nutzung von Holz aus österreichischem Wald anhand eines konservativen Ansatzes (ungünstig für Holzprodukte) betrachtet: Ergebnisse der zeitlichen Simulation des Holzproduktepools mittels dem Programm FOHOW wurden als Berechnungsgrundlage verwendet. Der Primärenergiebedarf und die Treibhausgas-Emissionsentwicklung in der Studie des Umweltbundesamt (2015) wurden aus der Datenbank GEMIS herangezogen. Die Nutzungsdauer der Substitutionsmaterialien wurde für 100 Jahre angenommen, wohingegen die Holzprodukte in diesem Zeitraum unterschiedlich oft nachgefragt werden. Auch wurde ein Korrekturfaktor errechnet, um den Massenunterschied bei der Herstellung von Produkten auszugleichen. Für Papier und Pappe konnten in der Literatur nicht genügend Informationen zu Substitutionsmaterialien gefunden werden. Daher wurde Papier und Pappe in den weiteren Berechnungen nicht mit einbezogen. Die stoffliche Nutzung von Holz (ohne die Betrachtung von Papier und Pappe) anstelle von Substitutionsmaterialien wie zum Beispiel Stahl, Aluminium oder Beton führt demnach (Umweltbundesamt, 2015) zu einer jährlichen Einsparung von circa 1.300 kt CO₂-eq für ganz Österreich bei einer stofflich genutzten Holzmenge von ca. 10,3 Mio m³. Das entspricht einen Einsparungsfaktor für stoffliche Nutzung von ca 0,126 t CO₂-eq/m³. Anhand einer Sensitivitätsanalyse konnte im Bericht des Umweltbundesamt (2015) gezeigt werden, dass die Änderungen der Nutzungsdauer (Holzinputmenge) und der Materialzusammensetzung der Substitutionsmaterialien zu einer signifikanten Veränderung der Emissionseinsparung führen kann. Die komplexe Wirkung von den

verschiedensten Einflussfaktoren macht es somit schwierig eine generalisierbare Aussage zu den Treibhausgaseinsparungspotential zu treffen.

Summiert man die CO₂-Äquivalente aus Holzvorrat im Wald, der Veränderung des Holzprodukte-Pools, der energetischen und stofflichen Substitution zusammen, so ergibt sich im Szenario „Intensivierung Forstwirtschaft“ ein um 104 t CO₂-eq geringerer Speichereffekt als im Status quo. Im Szenario „Intensivierung Naturschutz“ steigt die Speicherleistung um 90 t CO₂-eq an.

In der Studie zu den Ökosystemwerten der Österreichischen Bundesforste AG (Getzner et al., 2020) wurde eine mittlere Bewertung der ersparten CO₂-Emissionen als Mittelwert 113 EUR/t CO₂ (Untergrenze: 30 EUR/t CO₂; Obergrenze: 278 EUR/t CO₂, Preisbasis 2018), herangezogen. Dieser Berechnungsansatz wurde auch hier zugrunde gelegt.

6_2_5 Biodiversität

Die Ökosystemflächen spielen neben ihrem direkten Nutzen (auf Basis der nutzungsbedingten Wertschätzung, sog. „Use values“) auch eine zentrale Rolle für den Schutz von Biodiversität, welcher hier als nicht nutzungsbedingte Wertschätzung („Non-use values“) in die vorliegende Untersuchung Eingang finden soll.

Die Existenz natürlicher Vielfalt auf der Ebene der Arten, Gene, Ökosysteme und Landschaften kann als eine finale Leistung gesehen werden, weil damit Existenz- oder Vermächtniswerte (z. B. als Teil des „Total economic value“ (TEV)) begründet werden. Diese Ökosystemleistung ist keine klassische nutzungsbezogene Ökosystemleistung im eigentlichen Sinn; unabhängig von einer eigentlichen Nutzung wird dem Schutz der Biodiversität ein (ökonomischer, sogar ein monetärer) Wert und damit ein entsprechender Wohlfahrtsbeitrag im Sinne der nutzungsunabhängigen Wertschätzung zugesprochen (Getzner et al., 2020).

Die Erfassung und Bewertung von Biodiversität umfasst eine Reihe von Parametern, die immer nur in Ausschnitten erfasst werden können. Insbesondere da es sich um keine finale Ökosystemleistung handelt, kann die Bewertung der Biodiversität nur annähernd erfolgen (TEEB, 2010).

TEEB (2010) gibt eine Reihe von Ansatzpunkten, welche Parameter in die Ermittlung der Ökosystemleistung Biodiversität miteinfließen können. Dies umfasst etwa genetische Diversität, und die Verbreitung und Häufigkeit von Arten, Populationen oder Lebensräumen. Grundsätzlich wird dabei zwischen den Dimensionen Diversität, Quantität, aktueller Zustand (z. B. Fragmentierung) sowie Bedrohungen unterschieden.

In Europa schätzt man, dass rund die Hälfte aller Arten in Wäldern vorkommt (Förster et al., 2020). Die Sicherung und der Erhalt der Waldbiodiversität spielt also eine bedeutende Rolle.

Die Messung von Biodiversität ist von größeren Unsicherheiten geprägt, da Ökosysteme komplexe Systeme abbilden. Zusätzlich gelten unterschiedliche Schwellwerte (z.B. Populationen, die unter eine gewisse Individuenzahl sinken, sind nicht mehr überlebensfähig).

Eine Reihe von Forschungsarbeiten fassen jeweils unterschiedliche Parameter

zu Biodiversitätsindices zusammen, um eine annähernde Aussage zur Biodiversität zu treffen (z.B. Hemerobiegrad nach Grabherr et al., 1998; Shannon oder Simpson Index).

Geburek et al. (2010) konzipierten hierfür einen Austrian Forest Biodiversity Index, der sich dem Thema Waldbiodiversität annähert. Dieser Index umfasst ein Set von Indikatoren, die Naturnähe, Waldstruktur, Regenerationsvermögen, Fragmentierung sowie Ressourcensicherung berücksichtigen.

Angelehnt an die Methodik von Geburek et al. (2010) sowie auf Basis des Verfahrens zur Bewertung der Hemerobie österreichischer Wälder sowie der Ökosystemleistungsstudie für die ÖBF-AG (Getzner et al., 2020) wurde ein Schema zur Beurteilung des relativen Biodiversitätswertes in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Daten entwickelt. Dabei finden folgende Variablen für die Bewirtschaftungsszenarien Eingang:

- Die aus der Umtriebszeit abgeleitete Altersklassenverteilung
- Die Anteile von Biotoptypen
- Gefährdungseinstufung der Biotoptypen

In Anlehnung an Getzner et al. (2020) wurde ein Biodiversitätsindex mit einer dimensionslosen Skalierung von 1 (geringe Biodiversität) bis 5 (hohe Biodiversität) verwendet. Der Biodiversitätsindex (BI) setzt sich aus den Komponenten BI-Alter und BI-Biotoptyp zusammen. Mit zunehmenden Bestandesalter steigt der Strukturreichtum (Schichtung, Diversifizierung der Krone, Anteil an Mikrohabitaten wie Stammschäden, Specht-Höhlen, abgestorbene Kronenteile etc.). Die Einstufung der Altersklassen in Biodiversitäts-Indexwerte ist **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zu entnehmen.

Bei der Einstufung der Biotoptypen wurde einerseits die Einstufung der Roten Liste Kärntens hinsichtlich des Gefährdungsgrades berücksichtigt und andererseits die Komplexität bzw. der Strukturreichtum des Biotoptyps. Die gutachtlichen Einstufungen sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Einstufung für den Biodiversitätsindex-Biototyp.

Biototyp	Rote List Kärnten	BI-Biotop
BT Fichtenforst	nicht gefährdet	2
BT Mischforst (Laub & Nadel)	nicht gefährdet	4
BT Schlagflur	nicht gefährdet	1
Weichholzauwälder	gefährdet	5
BT Frische, artenreiche Fettwiese der Bergstufe	gefährdet	3
Forststraße	nicht gefährdet	1

Aus der Verschiebung der Baumartenkombinationen und des Erntealters sowie der Vergrößerung der Grünlandfläche, die jeweils in den Bewirtschaftungsszenarien festgelegt wurden, ergeben sich die entsprechenden Verschiebungen im Flächenanteil der Altersklassen und Biototypen. Biototypen, bei denen der Flächenanteil nicht verändert wurde, wurden in der Berechnung nicht berücksichtigt, da sie zu allen Szenarien denselben Beitrag liefern und nicht zu einem Unterschied in den Ökosystemleistungen beitragen.

Die ökonomische Einstufung der Ökosystemleistung Biodiversität basiert auf einer repräsentativen Umfrage die im Rahmen der Ökosystemleistungsstudie der Bundesforste AG durchgeführt wurde. Dabei wurde die Zahlungsbereitschaft von über 1500 Bürgerinnen und Bürgern für unterschiedliche Bewirtschaftungsprogramme der Bundesforste AG abgefragt. Diese Auswirkungen der Bewirtschaftung auf die Naturnähe und Biodiversität wurde anhand unterschiedlicher Waldbilder und ihren Eigenschaften dargestellt. Jede der Waldausprägungen war mit einem Biodiversitätsindex verknüpft. Aus den Angaben zur Zahlungsbereitschaft und Biodiversitätsindex lässt sich im mittleren Bereich der Beziehungsfunktion ein mehr oder weniger linearer Zusammenhang ableiten, während die Zahlungsbereitschaft bei einem extremen Naturschutz-Szenarium kaum mehr zunimmt. Da die Biodiversitätsindex-Werte im Pilotgebiet in Eisenkappel sich im mittleren Bereich bewegen und nur geringfügig zwischen den Szenarien schwanken, könne die ökonomischen Bewertungsansätze aus der Studie von Getzner et al. 2020 übernommen werden. In dieser Studie wurde eine mittlere Zahlungsbereitschaft von 285,5 Mio €/a pro Biodiversitäts-

Indexpunkt ermittelt. Diese Zahlungsbereitschaft bezieht sich auf die gesamte Fläche der Österreichischen Bundesforste (ca. 800.000 ha) und entspricht einen durchschnittlichen Wert von 357 €/a/ha pro Biodiversitäts-Indexpunkt.

7 MAßNAHMENEMPFEHLUNGEN

Aus den räumlichen Analysen des Gebiets hinsichtlich des Wasserabflusses und des Erosionsrisikos sowie der Analyse des Einflusses unterschiedlicher Bewirtschaftungsansätze auf die Ökosystemleistungen lassen sich zu den Bereichen

- Erosions-/Hochwasserschutz
- Kohlenstoffspeicherung
- Biodiversitätsschutz

erste Maßnahmenvorschläge ableiten. Diese hängen indirekt oder direkt mit der Holzproduktion zusammen, die hier nicht separate Maßnahmen ausgearbeitet wurde.

7_1 Maßnahmen Erosions-/Hochwasserschutz

Zur Optimierung des Hochwasser- und Erosionsschutz lassen sich Maßnahmenvorschläge ableiten, die eine möglichst **hohe Waldbedeckung** zum Ziel haben.

Das lässt sich durch eine **Verlängerung der Umtriebszeiten** und einer **Reduktion der Eingriffsgröße** (z.B. Ersatz der Kahlschlagbewirtschaftung durch kleinflächige Femel- oder Einzelstammnutzung) fördern. Femelschlag oder Einzelstammnutzungen würden zudem zu **ungleichaltrigen Waldbeständen** führen, die resilienter bei Schadereignissen reagieren, da bereits im Bestand großflächig Verjüngung vorhanden ist.

Der Einsatz **klimafitter Baumarten**, die der potenziell natürlichen Waldgesellschaft entsprechen, sichern die Stabilität der Waldbestände. Die Reduktion der künstliche erhöhten Fichentanteile auf 10-30% würde dem natürlichen Anteil unter den Klimabedingungen der letzten Jahrzehnte entsprechen. Bei einer weiteren Klimaerwärmung wird der natürliche Anteil, insbesondere wegen des Einflusses des Borkenkäfers, weiter rückläufig sein. Alternativen sind die natürlichen Baumarten Buche, Tanne, Ahorn oder Lärche. Auf trocken Rücken kann auch die Rotkiefer beigemischt werden. Die Grauerle im Auwaldbereich hat auch zukünftig ihren Platz entlang der Gewässer, kann aber auch bei wasserzügen Hangrutschungen als Pionierbaumart eingesetzt werden.

Damit kann eine möglichst flächige Bestockung mit kräftigen Baumarten als

Schutz gegen Lawinen und Steinschlag sichergestellt werden.

Eine hohe Bestockungsrate sichert aber auch eine hohe Interzeptionsleistung von Niederschlägen im Kronenraum.

Die Reduktion der Forststraßenflächen und des Befahrens der Waldbestände reduziert den Oberflächenabflüsse, weil die ungestörten Waldböden wesentlich aufnahmefähiger für Niederschlagsmengen sind. Obwohl Forststraßen nur ca. 5% des Gebiets ausmachen, sind sie für ca. 50% des Oberflächenabflusses verantwortliche, weil sie praktisch kein Niederschlagswasser aufnehmen.

Eine gute Wartung der Wasserdurchlässe entlang der Forststraßen bzw. die Anlage von Gegensteigungen oder Flutrinnen kann die Akkumulation von Oberflächenwasser entlang der Forststraßen und damit vor Muren-Ereignissen im Starkregenfall schützen. Aber auch gewartete Durchlässe führen zu einer punktuellen Konzentration der Hangwässer und bilden damit ein Risiko zu Erosionsbildung.

7_2 Maßnahmen zum Biodiversitätsschutz

Alte und strukturreiche Wälder, deren Baumartenzusammensetzung der natürlichen Waldgesellschaft entspricht, werden den höchsten Beitrag zum Erhalt der für den Naturraum der Karawanken typischen Biodiversität bringen.

Dies kann durch eine Förderung der natürlichen Baumarten Buche, Tanne und Ahorn und längeren Umtriebszeiten (>120 Jahre) erreicht werden. Totholz ist eine Schlüsselstruktur und ein Indikator für große Teile der Artenvielfalt im Wald (Bütler et al., 2020). Eine Steigerung des stehenden und liegenden Totholzanteils auf ca. 10% des lebenden Bestandes (im Dauerwald 40-60m³/ha) ist besonders biodiversitätsfördernd, insbesondere wenn auch starke Dimensionen in unterschiedlichen Besonnungs- und Zersetzungsstufen vorhanden sind (Enzenhofer, 2021).

Sogenannte Biotopbäume mit starken Durchmessern und wichtigen Mikrohabitaten wie Spechthöhlen, toten Kronenbereichen, Pilzkörpern oder Rindenverletzungen, helfen bereits in einer Dichte von 4-10 Individuen/ha, das Lebensraumangebot für spezielle Waldarten zu verbessern.

Kleinflächige Nutzungseingriffe in Kombination mit Naturverjüngungen

unterstützen die laufende genetische Anpassung der Bestände an neue Klimabedingungen und helfen, die genetische Vielfalt in den Waldbeständen zu erhalten.

7_3 Maßnahmen zur Erhöhung der Kohlenstoffspeicherung

Etliche der bereits genannten Maßnahmen wie eine Erhöhung der Umtriebszeit oder die Sicherstellung einer hohen Waldbedeckung tragen schon zu einer Steigerung des Holzvorrates im Wald bei. Eine klimaangepasste Baumartenkombination stellt sicher, dass die Baumarten langlebige Bestände aufbauen können.

Waldökosysteme können, aufgrund der großen zur Verfügung stehenden Fläche, weitaus mehr Holzbiomasse speichern, als das in Gebäuden möglich ist. Außerdem stellen Bäume derzeit eine der wenigen Möglichkeiten dar, CO₂ aus der Atmosphäre wieder zu entnehmen, und langfristig in Biomasse (Holz) zu binden. Bäume haben mit 200-500 (700) Jahren eine deutlich höhere Lebenserwartung als Holzprodukte, deren Halbwertszeit in Österreich zwischen 10-20 Jahren liegt (Braun et al., 2015; Mantau and Bilitewski, 2010). Auch als Totholz und Humus, stellt Holzbiomasse einen wichtigen Kohlenstoffspeicher dar.

Kahlschläge setzen den Waldboden der direkten Sonneneinstrahlung aus, was zu einer Erwärmung und damit zu einem beschleunigten Abbau von Humus führt, was wiederum CO₂ in die Atmosphäre freisetzt. Nach einem Kahlschlag braucht es mindestens 10-20 Jahre, bis der genutzte Bestand von einer CO₂-Quelle wieder zu einer CO₂-Senke wird, da in den ersten Jahren die Bodenatmung sehr hoch und kaum Baum-Blattbiomasse vorhanden ist, CO₂ wieder in Holzbiomasse zu binden (Knapp et al., 2021).

Die energetische Substitutionsleistung ist weitaus geringer als die Speicherleistung im Wald (Huber et al., 2021; Kirchmeir et al., 2020). Daher sollte bei der Holzernte die Priorität auf Sägerundholz liegen, das zumindest einen Teil des Speicherverlustes im Wald durch eine Steigerung des Holzprodukt pools bzw. durch stoffliche Substitution kompensieren kann. Dennoch liegen alle Nutzungseingriffe in ihrer CO₂-Senkenleistung hinter der Variante einer Vorratssteigerung im Wald (vergl. Huber et al., 2021; Weiss et al., 2020), vor allem wenn man den wichtigen Handlungszeitraum der nächsten 25-30 Jahre (Klimaziele 2050!) betrachtet.

Die Entwicklung von Instrumenten zur Berechnung und Vermarktung von Kohlenstoffzertifikaten wären eine marktbasierete Möglichkeit, die Speicherung von Kohlenstoff in Waldbeständen den Waldeigentümer:innen zu entgelten.

7_4 Fördermöglichkeiten und Upscaling-Potential

7_4_1 Fördermöglichkeiten

In den letzten Dekaden wurden unterschiedliche Förderungen an der Schnittstelle Forstwirtschaft, Klimawandel und Biodiversität entwickelt. Im Folgenden werden ausgewählte davon vorgestellt:

Connect For Biodiversity (BFW)

<https://trittsteinbiotope.at/>

Budget: 0,5-1,5 Hektar zur Außernutzungsstellung für 10 Jahre zur Durchführung von wissenschaftlichen Begleituntersuchungen

Hektar Pauschale: einmalig 1750 – 2520 €/ha für 10-jährige Vertragslaufzeit (setzt sich aus Altersstufen, Baumarten und Flächengröße zusammen). Das Pauschalentgelt hängt von dem vom BFW durchgeführten Gutachten zur Waldfläche ab.

Diese Maßnahme ermöglicht einen finanziellen Ausgleich für kleinflächige Außernutzungsstellungen.

Waldfonds

https://info.bmlrt.gv.at/themen/wald/waldfonds/massnahme_10.html

Aufruf zur Einreichung von Förderungsanträgen für Maßnahmen zur Förderung der Biodiversität im Wald (M10 - § 3 Z 10 Waldfondsgesetz)

Budget: 350 Mio €

Die Ziele der Maßnahme sind Erhaltung, Verbesserung und Wiederherstellung von naturschutzfachlich wertvollen Flächen, Erstellung wissenschaftlicher oder praxisorientierter Grundlagen, die im Zusammenhang mit der Erhaltung, Verbesserung und Wiederherstellung von schützenswerten Lebensräumen und

Arten oder sonstigen biodiversitätsrelevanten Themen stehen.

Der Fonds ist in 10 Maßnahmen gegliedert:

1. **Wiederaufforstung und Pflegemaßnahmen nach Schadereignissen**
2. **Regulierung der Baumartenzusammensetzung zur Entwicklung klimafitter Wälder**
3. Abgeltung von durch den Klimawandel verursachte Borkenkäferschäden
4. Errichtung von Nass und Trockenlagern für Schadh Holz
5. Mechanische Entrindung und andere vorbeugende Fortschutzmaßnahmen
6. Waldbrandprävention
7. Forschungsmaßnahmen Thema Holzgas und Biotreibstoffe
8. **Klimafitte Wälder**
9. Verstärkte Verwendung Rohstoff Holz
10. **Förderung der Biodiversität im Wald**

Im Zusammenhang mit den Inhalten des Pilotprojektes stehen vor allem die Maßnahmen 1, 2, 8 und 10.

Ländliche Entwicklung- Bereich Wald

Die Förderschiene der Ländlichen Entwicklung ist EU-kofinanziert und umfasst einen weiten Bogen von Maßnahmen. Diese werden in einer Sonderrichtlinie geregelt. Derzeit sind nur die Maßnahmen aus der letzten Förderperiode 2014-2020 publiziert. Die Maßnahmen für die neue Förderperiode 21-27 sind noch nicht veröffentlicht.

Um die Vielfalt aufzuzeigen, werden hier die waldbezogenen Maßnahmen aus der letzten Förderperiode aufgelistet:

- VHA ¹1.1.1.b Begleitende Berufsbildung, Fort- und Weiterbildung zur Verbesserung der fachlichen Qualifikation in der Land- und Forstwirtschaft

- VHA 1.2.1.b Demonstrationsvorhaben und Informationsmaßnahmen in der Land- und Forstwirtschaft
- **VHA 15.1.1 Erhaltung von ökologisch wertvollen/seltenen Waldflächen /-Gesellschaften**
- **VHA 15.2.1 Erhaltung und Verbesserung der genetischen Ressourcen des Waldes**
- VHA 16.03.1 a Zusammenarbeit von kleinen Wirtschaftsteilnehmern – Arbeitsabläufe, gemeinsame Nutzung von Anlagen und Ressourcen und Tourismusdienstleistungen
- VHA 16.05.1 Stärkung der horizontalen und vertikalen Zusammenarbeit zwischen Akteuren im forst- und wasserwirtschaftlichen Sektor
- **VHA 16.08.1 Waldbezogene Pläne auf überbetrieblicher Ebene**
- VHA 4.3.2 Investitionen in die Infrastruktur für die Entwicklung, Modernisierung und Anpassung der Forstwirtschaft
- **VHA 7.6.1.c Studien und Investitionen zur Erhaltung, Wiederherstellung und Verbesserung des natürlichen Erbes**
- **VHA 7.6.4 Überbetriebliche Maßnahmen für die Bereiche Wald und Schutz vor Naturgefahren**
- VHA 8.1.1 Aufforstung und Anlage von Wäldern
- **VHA 8.4.1 Vorbeugung von Schäden und Wiederherstellung von Wäldern nach Naturkatastrophen und Katastrophenereignissen – Forstschutz**
- **VHA 8.5.1 Investitionen zur Stärkung von Resistenz und ökologischem Wert des Waldes - Öffentlicher Wert & Schutz vor Naturgefahren**
- **VHA 8.5.2 Investitionen zur Stärkung von Resistenz und ökologischem Wert des Waldes - Genetische Ressourcen**
- **VHA 8.5.3 Investitionen zur Stärkung des ökologischen Werts der Waldökosysteme - Waldökologie-Programm**
- VHA 8.6.1 Investitionen in Forsttechniken sowie Investitionen in Verarbeitung, Mobilisierung und Vermarktung forstwirtschaftlicher Erzeugnisse

¹ VHA: Vorhabensart

- VHA 8.6.2 Erstellung von waldbezogenen Plänen auf betrieblicher Ebene

Maßnahmen mit einem besonderen Bezug zum Thema Klimaanpassung, Biodiversität oder Naturgefahren sind in fetter Schrift herausgestellt.

Biodiversitätsfonds

https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/naturschutz/biol_vielfalt/biodiversitaetsfonds/fonds.html

Mit dem Biodiversitätsfonds wurde eine Förderschiene geschaffen, die zur Umsetzung der österreichischen Biodiversitäts-Strategie und Erreichung der österreichischen Biodiversitäts-Ziele beitragen soll.

Im ersten Call 2021 wurden folgende Themenschwerpunkte abgefragt:

1. Biodiversitätsmonitoring
2. Schutz der Biodiversität
3. Bewusstseinsbildung
4. Verbesserung der Wissensgrundlagen

Es ist mit weiteren Calls 2022/2023 zu rechnen.

Weitere projektbezogene Fördermöglichkeiten ergeben sich über das LIFE, LEADER oder INTERREG Programm.

7_4_2 Upscaling

Die Frage des Upscaling-Potentials beschäftigt sich damit, wie die Erkenntnisse aus der Pilotstudie, die ja nur einen kleinen Raum aus den Karawanken abbilden, auf den größeren, grenzüberschreitenden Raum der Karawanken umgelegt werden können.

Die genannten Maßnahmenvorschläge lassen sich mit geringfügigen Anpassungen auf den gesamten Wald-Bereich der Karawanken beiderseits der Grenzen anwenden. In dem gesamten Gebiet sind Buchen und Fichten-Tannen-Buchenwälder die flächenmäßig bedeutendsten Schlusswaldgesellschaften. Damit gilt die Empfehlung der natürlichen Baumarten Buche, Tanne, Ahorn oder Lärche

für weite Teile der Karawanken. Auf trockenen Standorten ergänzen Schwarz- und Rotkiefer das Spektrum, in Schlucht- oder Auwäldern kommen noch Edellaubhölzer wie Ulme, Linde, Esche oder Grauerle dazu, wobei der Gesundheitszustand der Esche aufgrund des Eschentriebsterbens weiterhin als kritisch einzustufen ist und bislang keine Entwarnung gegeben werden kann.

Hinsichtlich einer kahlschlagfreien Bewirtschaftung besteht in der Region besonders auf der slowenischen Seite ein sehr lang zurückreichender Erfahrungsschatz, der durch regen Austausch zwischen den Akteuren beiderseits der Grenze verstärkt verbreitet und auch auf der österreichischen Seite stärker beworben werden könnte.

Das sehr kontrovers diskutierte Thema der Erschließung durch Forststraßen erfordert ein regionales Gesamtkonzept, in dem die Erschließungsnotwendigkeit beurteilt werden sollte. Forststraßen stellen einerseits einen markanten Eingriff in die Landschaft und das Ökosystem dar, auf der anderen Seite sind sie Grundvoraussetzung einer naturnahen, kleinflächigen Nutzungsweise. Eine sinnvolle Planung der Erschließung bzw. die Ausweisung und der Erhalt unerschlossener Landschaftsräume soll gemeinsam mit den Grundbesitzer:innen der Region erfolgen. Eine solch überregionale Erschließungsplanung, die neben den Betriebswirtschaftlichen auch andere öffentliche Interessen abbildet, sollte die Voraussetzung für den Einsatz öffentlicher Mittel im Forststraßenbau sein.

An einer Leitlinie für den Forststraßenbau, der insbesondere auf das Management des Oberflächenwasserabfluss eingeht bzw. auch Grundlagen für die räumliche Planung und besondere Risikobereiche eingeht, ist in Kärnten in Vorbereitung.

Die Empfehlungen für die Erhöhung der Biodiversität sind nicht nur auf das Pilotgebiet in Eisenkappel beschränkt. Ziel- und Schwellwerte für den günstigen Erhaltungszustand für unterschiedliche Waldtypen sind Handbuch

NATURA2000.WALD² für die Buchenwälder ausgearbeitet. Es wäre sehr zweckdienlich, die Vorgaben für den günstigen Erhaltungszustand grenzüberschreitend abzustimmen, da für Anwender:innen schwer nachvollziehbar ist, warum für das selbe Ökosystem jenseits der politischen Grenze andere Schwellwerte und Ziel anzuwenden sind.

Hinsichtlich der Kohlenstoffspeicherung bzw. der Vermarktung von Kohlenstoffzertifikaten oder Kohlenstoffgutschriften ist eine überregionale Vorgehensweise wesentlich zielführender als eine lokale Zertifikatsentwicklung einzelner Grundbesitzer:innen. Sowohl das Audit-Verfahren, als auch das Marketing und das laufende Monitoring ist wesentlich effizienter, wenn es über größer Regionen durchgeführt wird. Ebenso steigt die Aussagekraft des Zertifikats, wenn große Regionen statt Einzelbetrieben bilanziert werden, da kleinräumige Ausgleichseffekte (leakage effects) durch intensivierte Nutzung im Nachbarbetrieb nicht so leicht versteckt werden können und somit ein echter Anstieg der Kohlenstoffspeicherung in der Region ausgewiesen werden würde.

Man kann also zusammenfassen, dass das „Upscaling“ der Maßnahmenvorschläge auf einen größeren Raum nicht nur möglich ist, sondern eine effizientere Umsetzung möglich ist, wenn eine regionale oder überregionale Vorgehensweise gewählt wird. Insbesondere die grenzüberschreitende Abstimmung und ein Austausch mit den slowenischen Expert:innen, Behörden und Stakeholdern könnten Diskussion und Umsetzung in der Region vorantreiben.

² http://natura2000.wald.or.at/wp-content/uploads/2020/10/HandbuchNatura2000_web.pdf

8 LITERATURVERZEICHNIS

- Angima, S.D., Stott, D.E., O'Neill, M.K., Ong, C.K., Weesies, G.A., 2003. Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenyan highland conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 97, 295–308. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00011-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00011-2)
- Arnoldus, H.M.J., 1980. An Approximation of the Rainfall Factor in the Universal Soil Loss Equation, in: *Assessment of Erosion*. John Wiley and Sons, New York, pp. 127–132.
- Bailey Schenck, A., Hornbeck, J.W., Campbell, J.L., Eagar, C., 2003. Hydrometeorological data-base for Hubbard Brook Experimental Forest: 1955-2000. Gen (Tech. Rep. NE-305.). U.S. Department of Agriculture, Newtown Square, PA. <https://doi.org/10.2737/NE-GTR-305>
- BMLFUW, 2016. Erneuerbare Energie in Zahlen 2016 – Entwicklung in Österreich Datenbasis. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- Böhmer, S.G., M., K., Th, Pölz, W., 2014. Effiziente Nutzung von Holz: Kaskade versus Verbrennung. Umweltbundesamt Wien.
- Braun, M., Schwarzbauer, P., Stern, T., 2015. Klimaschutz durch den Aufbau eines Harvested Wood Product Pools: Von der Berechnung von THG-Emissionseinsparungen bis zur Steuerung der Speicherwirkung durch Harvested Wood Products (Endbericht). Universität für Bodenkultur, Wien.
- Bribián, I.Z., Capilla, A.V., Usón, A.A., 2011. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Building and Environment* 46, 1133–1140.
- Bütler, R., Lachat, T., Krumm, F., Kraus, D., Larrieu, L., 2020. Taschenführer der Baummikrohabitate – Beschreibung und Schwellenwerte für Felddaufnahmen. Eidg, Birmensdorf.
- Dienststelle Landwirtschaft und Wald, Abteilung Wald, 2005. Merkblatt Bodenschutz im Wald. Dienststelle Landwirtschaft und Wald, Abteilung Wald, Luzern, Sursee.
- Diodato, N., 2006. Predicting RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) Monthly Erosivity Index from Readily Available Rainfall Data in Mediterranean Area. *Environmentalist* 26, 63–70. <https://doi.org/10.1007/s10669-006-5359-x>
- Enzenhofer, K., 2021. Alt- und Totholz in der Praxis. Erkenntnisse aus einem Forschungsprojekt. WWF Österreich, Wien.
- European Commission, 2019. The European Green Deal.
- Ferner, B., Freudenschuß, A., Gaugitsch, H., Ibesisch, N., Köhler-Vallant, B., C., L., Schieder, W., Sedy, K., Seuss, K., Seuss, K., Storch, A., Weiss, M., Zethner, G., Brezina, A., 2012. Endbericht Projekt Muflan, Multifunktionale Landschaften, Aktionsprogramm zur multifunktionalen, ökologisch optimierten Nutzung von Landschaft und Umweltressourcen.
- Förster, H., Gores, S., Nissen, C., Siemons, A., Renders, N., Dael, S., Sporer, M., Tomescu, M., 2020. EEA Report No 13/2020.
- Fu, B.J., Zhao, W.W., Chen, L.D., Zhang, Q.J., Lü, Y.H., Gulinck, H., Poesen, J., 2005. Assessment of soil erosion at large watershed scale using RUSLE and GIS: a case study in the Loess Plateau of China. *Land Degradation & Development* 16, 73–85. <https://doi.org/10.1002/ldr.646>
- Geburek, T., Milasowszky, N., Frank, G., Konrad, H., Schadauer, K., 2010. The Austrian Forest Biodiversity Index: All in one. *Ecological Indicators* Volume 10, Issue 3, 753–761.
- Getzner, Michael, Gutheil-Knopp-Kirchwald, G., Kreimer, E., Kirchmeir, H., Huber, M., 2017. Gravitational natural hazards: Valuing the protective function of Alpine forests. *Forest Policy and Economics* 80, 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.03.015>
- Getzner, M., Gutheil-Knopp-Kirchwald, G., Kreimer, E., Kirchmeir, H., Huber, M., 2017. Gravitational natural hazards: Valuing the protective function of Alpine forests. *Forest Policy and Economics* 80 (2017), 150–159.
- Getzner, M., Kirchmeir, H., 2021. Ökosystemleistungen des Waldes: Modellierung und Bewertung von Managementoptionen der Österreichischen Bundesforste. *Der öffentliche Sektor - The Public Sector*, Der

öffentliche Sektor - The Public Sector 7–14.

- Getzner, M., Kirchmeir, H., Berger, V., Huber, M., Jäger, M., Jungmeier, M., Gutheil-Knopp-Kirchwald, G., Kreimer, E., Schneider, A., Wuttej, D., Zak, D., 2020. "Werte der Natur". Bewertung der Ökosystemleistungen der Österreichischen Bundesforste. (Endbericht). Studie im Auftrag von TU Wien, im Auftrag der Österreichischen Bundesforste (ÖBf) AG, Wien.
- Gustavsson, L., Pingoud, K., Sathre, R., 2006. Carbon Dioxide Balance of Wood Substitution: Comparing Concrete- and Wood-Framed Buildings. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11, 667–691.
- Hegg, C., Badoux, A., Lüscher, P., Witzig, J., 2004. Zur Schutzwirkung des Waldes gegen Hochwasser, in: *Forum für Wissen: Vol. 2004. Schutzwald und Naturgefahren*. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf, pp. 15–20.
- Hornbeck, J.W., Adams, M.B., Corbett, E.S., Verry, E.S., Lynch, J.A., 1995. A summary of water yield experiments on hardwood forested watersheds in northeastern United States. *Proceedings, 10th Central Hardwood Forest Conference; 1995 March 5-8*.
- Huber, M., Kirchmeir, H., Fuchs, A., 2021. Die Rolle des Waldes im Klimaschutz – Wie wird unser Wald klimafit? Studie im Rahmen von Mutter Erde. E.C.O. Insitut für Ökologie, Klagenfurt.
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]*. Geneva, Switzerland.
- Keusch, C., Egger, G., Kirchmeir, H., Jungmeier, M., Petutschnig, W., Glatz, S., Aigner, S., 2010. Aktualisierung der Roten Liste gefährdeter Biotoptypen Kärntens. *Kärntner Naturschutzberichte Heft 13*, 2010, 39–69.
- Khassaf, Prof.Dr.S., Al Rammahi, A., 2018. Estimation of Slope Length factor (L) and Slope Steepness Factor (S) of RUSLE equation in the Euphrates River Watershed by GIS Modeling. *Kufa Journal of Engineering* 9. <https://doi.org/10.30572/2018/kje/090307>
- Kim, Y., 2015. Soil Erosion Assessment using GIS and Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). (No. CE 394K GIS in Water Resources-David R. Maidment.).
- Kirchmeir, H., Huber, M., Berger, V., Wuttej, D., Grigull, M., 2020. Wald in der Krise. Erster unabhängiger Waldbericht für Österreich 2020. WWF.
- Kirchmeir, H., Kobler, J., Kühmaier, M., 2003. Die natürlichen Waldgesellschaften als Grundlage für nachhaltige Waldentwicklung - Technischer Endbericht. Im Auftrag von: Amt der Kärntner Landesregierung, Bundesministerium für Land,-Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 190.
- Knapp, D.H., Siegfried, K., L. Fähser, 2021. *Der Holzweg: Wald im Widerstreit der Interessen*. Succow Stiftung ; Oekom Verlag, Greifswald : München.
- Kouli, M., Soupios, P., Vallianatos, F., 2008. Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. *Environ. Geol.* 57, 483–497. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1318-9>
- Lüscher, P., Frutig, F., Sciacca, S., Spjevak, S., Thees, O., 2010. Physikalischer Bodenschutz im Wald. *Bodenschutz beim Einsatz von Forstmaschinen. Merkblatt für die Praxis* 45, 12.
- Mantau, U., Bilitewski, B., 2010. Stoffstrom-Modell-Holz. Bestimmung des Aufkommens, der Verwendung und des Verbleibs von Holzprodukten (Forschungsbericht für den Verband Deutscher Papierfabriken e. V. (VDP)). Celle.
- Margreth, S., 2004. Die Wirkung des Waldes bei Lawinen. *Forum für Wissen*.
- Markart, G., Kohl, B., Perzl, F., 2007. Der Bergwald und seine hydrologische Wirkung - eine unterschätzte Größe? *LWF Wissen* 55, 34–43.
- Mati, B. m., Veihe, A., 2001. Application of the USLE in a Savannah Environment: Comparative Experiences from East and West Africa. *Singapore Journal of Tropical Geography* 22, 138–155. <https://doi.org/10.1111/1467-9493.00099>
- Miller, S.N., Kepner, W.G., Mehaffey, M.H., Hernandez, M., Miller, R.C.,

- Goodrich, D.C., Devonald, K.K., Heggem, D.T., Miller, W.P., 2002. Integrating Landscape Assessment and Hydrologic Modeling for Land Cover Change Analysis. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 38, 915–929. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2002.tb05534.x>
- Mößmer, R., 2003. Vorbeugender Hochwasserschutz im Wald – Umsetzung im praktischen Forstbetrieb. *Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft*. Fresing.
- Müller, M., 2018. Die Reinanken des Millstätter Sees, Bericht 2018 anlässlich der Fortbildungsveranstaltung des FVB.
- Nemostothy, N., 2015. Bedeutung der Bodenverdichtung für Ertrag und Nachhaltigkeit, in: *Unser Boden - wertvoll, vielfältig und schützenswert* BFW.Praxisinfo. p. 39.
- Otto, H.-J., 1994. *Waldökologie*. Ulmer Verlag.
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., Montanarella, L., 2015. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy* 48, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.021>
- Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P., Alewell, C., 2014. Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS. *Science of The Total Environment* 479–480, 189–200. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.010>
- Perzl, F., Hagen, K., Huber, A., 2014a. GRAVIPROFOR. Verbesserung der Erfassung der Schutzwaldkulisse für die forstliche Raumplanung, in: *Methodik - Prozessmodellierung Steinschlag*. Technische Hilfe im Rahmen des österreichischen Programms LE 07-13. Projektbericht, Projekt-Teilbericht im Auftrag des BMLFUW.
- Perzl, F., Huber, A., 2014. GRAVIPROFOR. Verbesserung der Erfassung der Schutzwaldkulisse für die forstliche Raumplanung. *Synthese und Zusammenfassung – Ziele, Grundlagen und Ergebnisse der Modellierung von Waldflächen mit Lawinen und Steinschlag-Objektschutzfunktion* Technische Hilfe im Rahmen des österreichischen Programms LE 07-13. Projektbericht, Projekt-Teilbericht im Auftrag des BMLFUW.
- Perzl, F., Huber, A., Fromm, R., 2014b. GRAVIPROFOR. Verbesserung der Erfassung der Schutzwaldkulisse für die forstliche Raumplanung, in: *Methodik - Prozessmodellierung Schneelawine*. Technische Hilfe im Rahmen des österreichischen Programms LE 07-13. Projektbericht, Projekt-Teilbericht im Auftrag des BMLFUW.
- Perzl, F., Huber, A., Fromm, R., 2014c. GRAVIPROFOR. Verbesserung der Erfassung der Schutzwaldkulisse für die forstliche Raumplanung. *Methodik - Prozessmodellierung Schneelawine*. Technische Hilfe im Rahmen des österreichischen Programms LE 07-13. Projektbericht, Projekt-Teilbericht im Auftrag des BMLFUW.
- Renard, K., Foster, G., Weesies, G.A., McCool, D., 1996. Predicting soil erosion by water. A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). (No. Agric. Handbook 703 US Govt Print Office). Washington, DC.
- Rogger, M., 2017. Land use change impacts on floods at the catchment scale: Challenges and opportunities for future research. *Water Resource Research* 53, 5209–5219. <https://doi.org/10.1002/2017WR020723>.
- Sankhua, R., Kadam, D., Umrikar, B., 2018. Assessment of soil loss using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) A Remote Sensing and GIS Approach, *National Journal of Remote Sensing of Land*.
- Schwarzbauer, P., Braun, M., Stern, T., 2015. Klimaschutz durch den Aufbau eines Harvested Wood Product Pools: Von der Berechnung von THG-Emissionseinsparungen bis zur Steuerung der Speicherwirkung durch Harvested Wood Products.
- Strimitzer, L., Höher, M., Nemostothy, K., 2017. Holzströme in Österreich. *Holzflussdiagramm*. Ausgabe.
- TEEB (Ed.), 2010. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*.
- Umweltbundesamt, 2014. *Ökologische Innovationspolitik – Mehr Ressourceneffizienz und Klimaschutz durch nachhaltige stoffliche Nutzungen von Biomasse*. Dessau-Roßlau.
- Umweltbundesamt, 2017. *Austria's national inventory report 2017*, Submission

under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the. Kyoto Protocol, Wien.

Umweltbundesamt, 2015. Ökosystemleistungen des Waldes. Erstellung eines Inventars für Österreich. Umweltbundesamt, Wien.

Weiss, P., Braun, M., Fritz, D., Gschwantner, T., Hesser, F., Jandl, R., Kindermann, G., Koller, T., Ledermann, T., Ludvig, A., Pölz, W., Schadauer, K., Schmid, B.F., Schmid, C., Schwarzbauer, P., Weiss, G., 2020. Zusammenschau der Treibhausgasergebnisse des waldbasierten Sektors für verschiedene CareforParis Szenarien. BFW Praxisinformation 51, 20–24.

Wieser, G., A., H., G, W., R., G., B.J., K., C., 2008. The water balance of grassland ecosystems in the Austrian Alps. Arctic, Antarctic, and Alpine Research 40, 2, 439-445 ,.

Zemke, J.J., 2016. Runoff and Soil Erosion Assessment on Forest Roads Using a Small-Scale Rainfall Simulator. Hydrology 3)25.

9 ANHANG

9_1 C-Faktoren für die Corine Landcover Klassen

(Panagos et al., 2015)

CLC class	Description	C-factor values (C _{landuse})
221	Areas planted with vines	0.15–0.45
222	Parcels planted with fruit trees or shrubs: single/mixed fruit species, fruit trees associated with permanently grassed surfaces.	0.1–0.3
223	Areas planted with olive trees	0.1–0.3
231	Dense, predominantly graminoid grass cover, of floral composition, not under a rotation system. Mainly used for grazing.	0.05–0.15
241	Non-permanent crops (arable land or pasture) associated with permanent crops on the same land parcel (non-associated annual crops represent less than 25 %)	0.07–0.35
242	Juxtaposition of small parcels of diverse annual crops, pasture and/or permanent crops (arable land, pasture and orchards each occupy less than 75 % of the total surface area of the land unit)	0.07–0.2
243	Areas principally used for agriculture, interspersed with significant natural areas (agricultural land occupies between 25 and 75 % of the total surface of the land unit)	0.05–0.2
244	Annual crops or grazing land under the wooded cover of forest species	0.03–0.13

311	Vegetation formation composed principally of trees, including shrub and bush understories, where broadleaved species predominate.	0.0001–0.003
312	Vegetation formation composed principally of trees, including shrub and bush understories, where coniferous species predominate	0.0001–0.003
313	Vegetation formation composed principally of trees, including shrub and bush understories, where broadleaved and coniferous species co-dominate.	0.0001–0.003
321	Low productivity grassland. Often situated in areas of rough and uneven ground	0.01–0.08
322	Vegetation with low and closed cover, dominated by bushes, shrubs and herbaceous plants (heath, briars, broom, gorse, laburnum)	0.01–0.1
323	Bushy sclerophyllous vegetation. Includes maquis (dense vegetation composed of numerous shrubs) and garrige (oak, arbutus, lavender, thyme, cistus)	0.01–0.1
324	Bushy or herbaceous vegetation with scattered trees. Can represent either woodland degradation or forest	0.003–0.05
	Regeneration/colonisation.	
331	Beaches, dunes and expanses of sand or pebbles in coastal or continental areas	0
332	Scree, cliffs, rocks and outcrops	0
333	Includes steppes, tundra and badlands. Scattered high-altitude vegetation	0.1–0.45
334	Areas affected by recent fires, still mainly black	0.1–0.55
335	Land covered by glaciers or permanent snowfields	0