



# DAS FORSTSTRASSENNETZ IN ÖSTERREICH

JÄNNER 2024

**Herausgeber:**

WWF Österreich  
Ottakringer Straße 114 – 116  
A-1160 Wien  
Tel: +43 1 488 17 – 0  
Fax: +43 1 488 17 – 44  
Mail: [wwf@wwf.at](mailto:wwf@wwf.at)

**Inhaltliche Bearbeitung:**

Jasmine Feldbacher-Freithofnig BSc (E.C.O.)  
Larissa Posch MSc (E.C.O.)  
Mag. Raphael Süßenbacher (E.C.O.)  
Dr. Hanns Kirchmeir (E.C.O.)

**Grafische Bearbeitung:**

DI Anneliese Fuchs (E.C.O.)

Die grafische Aufbereitung des technischen Berichts wurde durch den WWF Österreich beauftragt.

**Fotos:**

Christian Lendl  
Anton Vorauer  
Hanns Kirchmeir



Hanns Kirchmeir,  
E.C.O. Institut für Ökologie  
[kirchmeir@e-c-o.at](mailto:kirchmeir@e-c-o.at)

**Zitiervorschlag:**

Feldbacher-Freithofnig J., Kirchmeir H., Posch L.,  
Süßenbacher R., Fuchs, A., 2024: Das Forststraßennetz in  
Österreich. Bearbeitung: E.C.O. Institut für Ökologie im  
Auftrag des WWF Österreich, Klagenfurt, 62 S.



# INHALTSVERZEICHNIS

1 EINLEITUNG	4	3.6 Waldstraßenerschließung in Schutzgebieten	36
1.1 Begriffserklärung Waldstraße / Forststraße	4	3.7 Vergleich mit Forststraßendichte der Nachbarländer	37
2 PROJEKTBE SCHREIBUNG	6	3.7.1 Forststraßennetz Deutschland	37
2.1 Definition Forststraße und rechtlicher Rahmen	6	3.7.2 Forststraßennetz Schweiz	37
2.1.1 Waldeigentum	6	3.7.3 Forststraßennetz Slowakei	37
2.1.2 Begriffsdefinition	7	3.7.4 Forststraßennetz Tschechien	37
2.1.3 Bewilligungsverfahren	7	4 BEURTEILUNG DER WIRKUNG VON FORSTSTRASSEN AUF	
2.1.4 Betretungsrecht	8	WALDÖKOSYSTEME	38
2.1.5 Haftung	8	4.1 Auswirkung auf die Naturnähe der Waldflächen	38
2.2 Auszug aus dem Forstgesetz aktuelle Novelle 2023	10	4.2 Direkter Verlust an Waldfläche durch Forststraßen	40
2.3 Informationsstand zum Forststraßennetz in Österreich im Rahmen		4.3 Auswirkung auf das Mikroklima in den angrenzenden	
der Waldinventur 1992/96	10	Waldflächen von Forststraßen	40
2.4 Aufbau einer Forststraße, Rückeweg, Rückegasse	10	4.4 Auswirkungen auf das hydrologische Verhalten von Waldflächen	
3 AKTUELLE RÄUMLICHE VERTEILUNG VON WALDSTRASSEN		(Hydrologie)	43
IN ÖSTERREICH	14	4.5 Fragmentierungseffekte	43
3.1 Vorgehensweise bei dem Zusammenstellen des Datenpools /		4.6 Die Auswirkungen von Bodenverdichtung	44
Methodik	14	4.7 Verbreitung von Neobiota entlang von Forststraßen	45
3.2 Analyse der Datenqualität OSM	22	4.8 Auswirkungen auf bestimmte Artengruppen	46
3.3 Quantitative und qualitative Auswertung des österreichischen		4.9 Fahrbahnränder – ein Sonderhabitat ?	47
Waldstraßennetzes	25	5 ZUSAMMENFASSUNG UND EINORDNUNG	48
3.3.1 Distanz zur nächsten Waldstraße	25	6 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN UND -VORSCHLÄGE	50
3.3.2 Laufmeter pro Hektar	27	6.1 Rechtsrahmen vereinheitlichen	50
3.3.3 Fläche der Waldstraßen	28	6.2 Forststraßen klima- und naturverträglich gestalten	50
3.4 Zerschneidung durch Waldstraßen	30	6.3 Wald-Forschung verstärken	50
3.5 Zusammenhang Waldstraßenerschließung und		7 LITERATURVERZEICHNIS	52
Hangneigung/Höhe	34	8 ANHANG	56

# 1 EINLEITUNG

Österreich ist ein Wald-Land. Wälder sind ein wichtiger Lebensraum für Mensch und Natur. Ihre Bedeutung geht über eine rein forstwirtschaftliche Rolle weit hinaus: sie speichern und filtern Wasser, sie sind Lebensraum für Tier- und Pflanzenarten und Erholungsraum für uns Menschen, Klimaregulierung und Kohlenstoffspeicherung sind essenzielle Funktionen von Wäldern. Gleichzeitig erleben Wälder heute eine gesteigerte Beliebtheit als Rückzugsort für Erholungssuchende und Sportbegeisterte. Es ist jedoch ebenfalls von Bedeutung, die traditionelle Funktion des Waldes als Arbeitsplatz und Ressourcenlieferant anzuerkennen.

Die Errichtung von Forststraßen zur Erschließung des Waldes gilt aus forstwirtschaftlicher Sicht als eine notwendige Voraussetzung für eine angemessene und ökonomisch nachhaltige Bewirtschaftung des Waldes. Die Auswirkungen solcher Infrastrukturen auf die Lebensräume sind jedoch ambivalent, da ihr Bau zu einer Beeinträchtigung der Lebensräume für waldgebundene Organismen führt.

Die letzte statistische Erfassung der Forststraßendichte im Österreichischen Wald erfolgte in der Waldinventurperiode 1992-1996. Es bedarf daher einer neuen quantitativen Erfassung des österreichischen Straßennetzes mit Waldbezug, um die Auswirkungen auf die Waldökosysteme beurteilen zu können.

Die Frage ob und wo in Österreich noch unerschlossene Wälder zu finden sind, ist eng mit der Suche nach geeigneten Flächen für die Sicherung der letzten „Old Growth Forests“, also der letzten Natur- und Urwaldflächen in Österreich verbunden. Diese sind laut EU-Biodiversitätsstrategie 2030 für den Erhalt der waldbezogenen Artenvielfalt dringend zu sichern und als strenge Schutzgebiete auszuweisen. In diesem Kontext ist die Frage der aktuellen Erschließungsdichte der Waldökosysteme in Österreich von entscheidender Bedeutung.

In dieser Studie soll das Netzwerk an Forststraßen und deren Einflüsse auf die Natur untersucht werden. Aber auch die qualitativen Auswirkungen der Erschließung des Waldes durch Anlage von Forststraßen und die damit verbundenen Effekte auf Waldlebensräume werden näher betrachtet.

So soll auch die Frage beantwortet werden, ob sich bestehende Schutzgebiete hinsichtlich ihrer Erschließungsdichte signifikant von Waldflächen außerhalb der Schutzgebiete unterscheiden und ob die Naturnähe von Waldbeständen mit zunehmender Erschließung zu- oder abnimmt.

## 1.1 BEGRIFFSERKLÄRUNG WALDSTRASSE/ FORSTSTRASSE

In dieser Studie kommen immer wieder die Begriffe „Forststraße“ und „Waldstraße“ vor. In diesem kurzen Abschnitt soll erläutert werden, warum zwischen den beiden Begriffen unterschieden wird.

Forststraßen sind im Forstgesetz als Bringungsanlage definiert und können allgemein von klassischen Straßen für Verkehrszwecke unterschieden werden. Gemeinsam ist ihnen, dass sie eine ökologische Auswirkung auf das Waldökosystem haben und eine Nutzung ermöglichen. Aus diesem Grund und in Anlehnung an die Ergebnisse der Wegeinventur des BfW 1992/96 wird unter Waldstraßen die gesamte Straßeninfrastruktur im Wald und am Waldrand (außer den temporären Rückegassen und -wegen), also sowohl Forststraßen nach Forstgesetz als auch klassische Straßen für Verkehrszwecke, zusammengefasst.

Bei den in der Studie analysierten Straßen handelt es sich sowohl um Forststraßen laut Forstgesetz als auch um öffentliche Straßen für klassische Verkehrszwecke – alle diese Straßenanlagen werden nachfolgend als Forststraßen bzw. Waldstraßen bezeichnet.



© Christian Lendl

# 2 PROJEKT BESCHREIBUNG

Die österreichischen Waldökosysteme sind durch ein dichtes Forststraßennetz erschlossen. Laut Forstgesetz (1975)<sup>b</sup> darf die Erschließung des Forstwegenetzes nur soweit, wie erforderlich, erfolgen und den Bewuchs und den Waldboden möglichst wenig schädigen. Die Fragmentierung von Lebensräumen durch die Erschließung der Forst- und Waldwege ist in den letzten Jahrzehnten stark angestiegen. Die Errichtung von Forststraßen führt nicht nur zum Rückgang der Ausbreitungsaktivität von Waldarten (durch Fragmentierung der Flächen) sondern auch zum Verlust von Lebens- und Produktionsraum (KIRCHMEIR et al., 2020).

Seit der Waldinventur 1992/96 (Bundesforschungszentrum für Wald, n.d.) gab es keine statistische Erfassung der Forststraßen in Österreich. Da jedoch der Forststraßenbau in den vergangenen drei Jahrzehnten stark von der öffentlichen Hand gefördert wurde, ist damit zu rechnen, dass die Forststraßendichte in Österreich deutlich zugenommen hat.

Neue digitale Datensätze ermöglichen nun, die Entwicklung der letzten Jahrzehnte nachzuvollziehen und die Auswirkungen des aktuellen Straßennetzes auf die Waldökosysteme abzuschätzen.

In dieser Studie für den WWF wurden vorhandene Daten genutzt und ein aktueller Überblick über das Erschließungsnetz von Forststraßen geliefert. Weiters wurde eine qualitative Analyse der Beeinträchtigung der Lebensräume durch Bau und Erhalt der Forststraßen erarbeitet.

Basierend auf der Thematik der Forstwege wurde relevante Literatur gesammelt und ausgewertet, die verfügbaren Daten analysiert und aufbereitet. Die Fragmentierung etwaiger Lebensräume wurde mittels Fernerkundungsmethoden analysiert und dargestellt. Im Vergleich mit der Erschließungsdichte der Forststraßen

mit den Nachbarländern wurde ausgearbeitet. Anhand der verfügbaren, wissenschaftlichen Studien erfolgte eine qualitative Beurteilung und Aufbereitung etwaiger Beeinträchtigungen der unterschiedlichen Nutzungsformen wie Forstwirtschaft, Sport und Erholungsnutzung. Der daraus resultierende Bericht gibt den aktuellen Stand der Erschließung und Fragmentierung der Forststraßen in Österreich wieder.

## 2.1 DEFINITION FORSTSTRASSE UND RECHTLICHER RAHMEN

### 2.1.1 WALDEIGENTUM

Aus Sicht der Waldeigentümer:innen und -bewirtschafter:innen wird der Wald oftmals in erster Linie als Wirtschaftsraum gesehen und behandelt. Eigentumsrechte spielen daher im österreichischen Wald eine entsprechend große Rolle. Das Eigentumsrecht ist in Österreich stark verwurzelt. Es gilt als das umfassendste Herrschaftsrecht an einer Sache. Dazu zählen auch der Grundbesitz und folglich auch der Waldbesitz. Mit dem Wald kann der/die Waldeigentümer:in grundsätzlich nach Belieben verfahren und andere Personen davon ausschließen (§ 354 Allgemeines bürgerliches Gesetzbuch, ABGB). Dies umfasst beispielsweise das Recht, Bäume zu fällen, das Holz zu veräußern, neue Bäume zu pflanzen oder Anlagen zu errichten. Allerdings gilt das Eigentumsrecht nicht unbeschränkt. Öffentliche Interessen beschränken das Eigentumsrecht. So auch unter anderem die Bestimmungen des Forstgesetzes, das Regelungen enthält, um die darin festgelegten Zielsetzungen sicherzustellen.



## 2.1.2 BEGRIFFSDEFINITIONEN

Die für die Waldbewirtschaftung erforderliche Beförderung von Holz aus dem Wald zu einer öffentlichen Verkehrsanbindung ist im Forstgesetz unter dem Tatbestand der Bringung geregelt (§ 58 ForstG). Die Bringung umfasst auch die in Folge der notwendigen Zwischenlagerung der Forstprodukte sowie den Transport der mit der Bringung befassten Personen und der für diese notwendigen Geräte zum und vom Gewinnungsort.

Die Bringung hat so zu erfolgen, dass der Waldboden möglichst wenig beschädigt wird, keine neuen Runsen oder Wasserläufe entstehen und die Wasserführung in bestehenden Runsen oder Wasserläufen nicht beeinträchtigt wird (§ 58 Abs. 3 ForstG). Weiters muss der Bewuchs möglichst wenig Schaden erleiden, die Bringung die rechtzeitige Wiederbewaldung nicht behindern und im Zuge der Bringung im Hochwasserbereich gelagerte Hölzer müssen raschestmöglich weggeschafft und als mögliches Hindernis für den Hochwasserabfluss beseitigt werden. Etwaige Schädigungen an der Verjüngung oder dem Bestand sind nur insoweit zulässig, als sie unvermeidbar und behebbare sind. Die Behebung hat sogleich nach Beendigung der Bringung zu erfolgen.

Die Beförderung bzw. Bringung von Holz aus dem Wald erfolgt über die forstlichen Bringungsanlagen (§ 59). Die Forststraße stellt hierbei die zentrale Infrastruktur dar, um das Holz aus dem Wald zu befördern. Im Detail handelt es sich bei einer Forststraße nach dem Forstgesetz um eine für den Verkehr von Kraftfahrzeugen oder Fuhrwerken bestimmte nicht öffentliche Straße samt den in ihrem Zuge befindlichen, dazugehörigen Bauwerken (z. B. Brücken, Durchlässe),

- die der Bringung und dem wirtschaftlichen Verkehr innerhalb der Wälder sowie deren Verbindung zum öffentlichen Verkehrsnetz dient und
- die für eine Dauer von mehr als einem Jahr angelegt wird und
- bei der die mit der Errichtung verbundenen Erdbewegungen eine Änderung des bisherigen Niveaus von mehr als einem halben Meter ausmachen oder
- die mehr als ein Drittel der Länge geschottert oder befestigt (Definition: Verdichtung und Bearbeitung des Untergrundes vgl. 2.3.1) ist.

Nur geringfügige Eingriffe in das Gelände, die durch das Befahren mit Rückemaschinen entstehen, sind nicht als „Forstweg“ zu qualifizieren. Denn durch die Begrenzung der mit der Errichtung von Rückewegen verbundenen Änderung des bisherigen Niveaus auf 0,5 m sollen mehr als geringfügige Eingriffe hintangehalten werden. Bei Überschreiten dieser Grenze liegt eine Forststraße im Sinne des Forstgesetzes vor, sodass die diesbezüglichen Anmelde- bzw. Bewilligungstatbestände nach dem ForstG greifen (ErläutRV 970 BlgNR 21. GP 36).

Bringungsanlagen sind so zu planen, zu errichten und zu erhalten, dass unter Berücksichtigung technischer und wirtschaftlicher Gesichtspunkte Waldboden und Bewuchs möglichst wenig Schaden erleiden. Insbesondere darf in den Wald nur so weit eingegriffen werden, als es dessen Erschließung erfordert (§ 60 ForstG).

Durch die Errichtung, Erhaltung und Benützung von Bringungsanlagen darf jedenfalls nicht

- eine gefährliche Erosion herbeigeführt,
- der Hochwasserabfluss von Wildbächen behindert,
- die Entstehung von Lawinen begünstigt oder deren Schadenswirkung erhöht,
- die Gleichgewichtslage von Rutschgelände gestört oder
- der Abfluss von Niederschlagswässern so ungünstig beeinflusst werden, dass Gefahren oder Schäden landeskultureller Art heraufbeschworen oder die Walderhaltung gefährdet oder unmöglich gemacht werden.

Im Zusammenhang mit der Errichtung oder Erhaltung von Bringungsanlagen sind die genannten Eingriffe allerdings zulässig, sofern sie unvermeidbar sind, möglichst gering und kurzfristig gehalten werden und durch sie verursachte Gefährdungen jederzeit behoben werden können. Die Eingriffe müssen jedoch raschestmöglich wieder beseitigt oder abgesichert werden (§ 60 Abs. 2 ForstG).

Soweit eine Forststraße nicht gesperrt (durch Schranken) ist, gilt sie als Straße mit öffentlichem Verkehr und die StVO 1960 findet in vollem Umfang Anwendung, auch wenn die Straße gegen allgemeines Befahren gesperrt ist (OGH 12.10.1978, 2Ob143/78). Jede:r kann sie unter den gleichen Bedingungen nützen, weshalb zum öffentlichen Verkehr auch der allgemeine Fußgängerverkehr zählt. Selbst wenn das allgemeine Befahren auf einer Forststraße verboten ist, kommt die Straßenverkehrsordnung daher in vollem Umfang zur Anwendung.

Im Gegensatz zur Forststraße ist der Waldweg ein nicht öffentlicher Weg, der zwar der forstlichen Bewirtschaftung dient, allerdings nicht einmal zeitweise mit einem Kraftfahrzeug befahren werden kann. Gemeint sind damit beispielsweise Reit- und/oder Fußwege.

## 2.1.3 BEWILLIGUNGSVERFAHREN

Die Errichtung einer Forststraße ist dann bewilligungspflichtig, wenn sie durch ein Arbeitsfeld der Wildbach- und Lawinenverbauung oder durch Schutzwald oder Bannwald führt (§ 62 Abs. 1 lit c ForstG). Weiters, wenn durch das Bauvorhaben öffentliche Interessen der Landesverteidigung, der Eisenbahnverwaltungen, des Luftverkehrs, des Bergbaues, der Post- und Telegraphenverwaltung, der öffentlichen Straßen und der Elektrizitätsunternehmen berührt werden (§ 62 Abs. 1 lit d ForstG). Treffen die genannten Punkte nicht zu, ist die Errichtung von Forststraßen nur meldepflichtig. Die geplante Errichtung ist demnach spätestens sechs Wochen vor dem Trassenfreihieb der Behörde zu melden (§ 64 ForstG).

Nach Erteilung der Errichtungsbewilligung oder nach erstatteter Meldung bedarf es zur Fällung eines bestehenden Bewuchses auf der Fläche, die zur Errichtung einer Forststraße erforderlich ist, keiner weiteren besonderen Bewilligung oder Anzeige nach dem ForstG. Dasselbe gilt für die entlang einer Forststraße liegenden Flächen, die für die Materialgewinnung zur Errichtung dieser Anlage in Anspruch genommen werden. Solche Flächen bleiben per Definition auch weiterhin Waldboden. Die Verpflichtung zur Aufforstung ruht jedoch bis zum Zeitpunkt der Auflassung der Forststraße oder bis zur Beendigung der Materialgewinnung. Wird der Bau einer Forststraße endgültig eingestellt oder eine bestehende Forststraße aufgelassen, ist die für diese Anlage beanspruchte Waldfläche wieder in ertragsfähigen Waldboden überzuführen und rechtzeitig wiederzubewalden. Werden die Flächen in der Folge nicht wiederbewaldet, ist eine Rodungsbewilligung zu beantragen (ForstG § 65).

Eine naturschutzrechtliche Bewilligungspflicht richtet sich nach dem jeweiligen Landesnaturschutzgesetz. Das Forstgesetz selbst sieht keine dementsprechende Prüfung bzw. spezifische Berücksichtigung der naturschutzfachlichen Interessen vor.

So schreibt beispielsweise das Kärntner Naturschutzgesetz in § 5 lit. b vor, dass Abgrabungen und Anschüttungen auf einer Fläche von mehr als 2.000 m<sup>2</sup>, wenn das Niveau überwiegend mehr als einen Meter verändert wird (und ähnlich weitreichende Geländeänderungen) in der freien Landschaft einer naturschutzrechtlichen Bewilligung bedürfen.

Auch bedürfen beispielsweise in Oberösterreich die Neuanlage, die Umlegung und die Verbreiterung von Forststraßen in Auwäldern, Moorwäldern, Schluchtwäldern, Schneeheide-Föhrenwäldern, Geisklee-Traubeneichenwäldern, in Landschaftsschutzgebieten und geschützten Landschaftsteilen sowie in den Gemeinden, die gemäß der Anlage zum Übereinkommen zum Schutz der Alpen (Alpenkonvention) liegen, zu ihrer Ausführung gemäß § 5 Ziffer 1 Oö. Natur- und Landschaftsschutzgesetz einer naturschutzrechtlichen Bewilligung. Außerhalb von Schutzwäldern (im Sinn des § 21 Forstgesetz 1975) bedarf die Verbreiterung von bestehenden Forststraßen um höchstens einen Meter keiner Bewilligung.

## 2.1.4 BETRETUNGSRECHT

Eine der prominentesten Beschränkungen des Waldeigentums ist das allgemeine Betretungsrecht des Waldes zu Gunsten der Allgemeinheit (§ 33 ForstG). Damit wird der Erholungszweck des Waldes als öffentliches Interesse definiert. Dementsprechend darf grundsätzlich jede:r den Wald zu Erholungszwecken betreten und sich dort aufhalten. Dies beinhaltet das Gehen, Wandern und Laufen und gilt auch abseits von markierten Wegen. Davon ausgenommen sind Waldflächen, für die ein Betretungsverbot verfügt wurde:

- Waldflächen mit forstbetrieblichen Einrichtungen wie Forstgärten und Saatkämpe, Holzlager-

und Holzausformungsplätze, Material- und Gerätelagerplätze,

- Gebäude, Betriebsstätten von Bringungsanlagen
- sowie Neubewaldungsflächen, solange deren Bewuchs eine Höhe von drei Metern noch nicht erreicht hat.

Das Betretungsrecht zu Erholungszwecken gilt also auch für Forststraßen, da sie ein Bestandteil des Waldes sind.

Der Umfang des Betretungsrechtes gliedert sich in zwei Benützungsarten. Einerseits gibt es die Aktivitäten, die jederzeit frei ausgeübt werden können (Betreten und Aufhalten) und andererseits brauchen darüberhinausgehende Aktivitäten wie Lagern bei Dunkelheit, Zelten, Befahren oder Reiten die Zustimmung des/der Waldeigentümer:in. Davon umfasst ist insbesondere das Befahren des Waldes bzw. von Forststraßen mit Mountainbikes.

## 2.1.5 HAFTUNG

Die Mehrfachnutzung des Waldes für Freizeitaktivitäten und Wirtschaftszwecke bzw. die verschiedenen gelagerten Interessen rücken das Thema der Haftung regelmäßig in den Fokus. Hier enthält das Forstgesetz, neben den allgemeinen Haftungsregelungen des ABGB, spezielle Haftungsbestimmungen, welche den Konflikt zwischen Waldeigentümer:innen und Erholungssuchenden bei Unfällen mit Personen- und Sachschäden umfassend sowie abschließend regeln sollen. Die zentralen Bestimmungen im ABGB sind die allgemeinen Schadensersatzregelungen nach §§ 1295 ff ABGB und hier insbesondere die Bestimmung zur Wegehalterhaftung (§ 1319a ABGB). Bestehen dagegen vertragliche Beziehungen zwischen dem/der Waldeigentümer:in und dem/der Geschädigten, habe diese Anwendungsvorrang.

In Bezug auf Haftung für den Zustand einer Forststraße oder eines sonstigen Weges im Wald verweist das Forstgesetz ausdrücklich auf die Anwendung des § 1319a ABGB (§ 176 ForstG). Zu der dort vorgeschriebenen Vermeidung von Gefahren durch den mangelhaften Zustand eines Weges sind der/die Waldeigentümer:in und sonstige an der Waldbewirtschaftung mitwirkenden Personen jedoch nur bei Forststraßen sowie bei jenen sonstigen Wegen verpflichtet, die der/die Waldeigentümer:in durch eine entsprechende Kennzeichnung der Benützung durch die Allgemeinheit ausdrücklich gewidmet hat. Wird ein Schaden auf Wegen durch den Zustand des danebenliegenden Waldes verursacht, so haftet der/die Waldeigentümer:in, sonstige an der Waldbewirtschaftung mitwirkende Personen und deren Leute keinesfalls strenger als der Wegehalter.

Ein Weg im Sinne des § 1319a ABGB ist eine Landfläche, die von Allen unter den gleichen Bedingungen benutzt werden darf. So auch Forststraßen. Der/Die Halter:in eines Weges ist, wer die Kosten für die Errichtung bzw. den Betrieb trägt und Verfügungsmacht über den Weg hat. Eine Haftung tritt nur ein, wenn sich der Weg in einem mangelhaften Zustand befunden hat und den/die Halter:in ein grobes Verschulden trifft. Ein mangelhafter Zustand liegt vor, wenn die Instandhaltung und Betreuung des Weges vernachlässigt, offensichtliche Gefahrenquellen nicht beseitigt wurden

oder (ausreichende) Sicherungseinrichtungen fehlten. Ob der Zustand eines Weges mangelhaft ist, richtet sich insbesondere danach, was für seine Anlage und Betreuung zumutbar ist. Bei einer Autobahn ist dementsprechend eine andere Erhaltung zumutbar als bei einem Wanderweg. Ist der Schaden bei einer unerlaubten Benützung eingetreten, so kann sich der/die Geschädigte nicht auf den Schaden berufen, wenn die Unerlaubtheit der Benützung erkennbar war, also beispielsweise der Weg abgesperrt war (RIEDLER, 2018).

Im Forstgesetz enthält § 176 spezielle Haftungsregelungen zu Schäden, welche sich abseits von öffentlichen Straßen und Wegen ereignen. Diese Spezialnorm des Forstgesetzes verdrängt dabei in seinem Anwendungsbereich die allgemeinen Regeln des Schadenersatzrechts nach §§ 1295 ff ABGB. Wer sich demnach im Wald abseits von öffentlichen Straßen und Wegen aufhält, hat selbst auf alle ihm durch den Wald, im Besonderen auch durch die Waldbewirtschaftung drohenden Gefahren zu achten. Den/Die Waldeigentümer:in trifft keine Pflicht zur Abwendung der Gefahr von Schäden, die abseits von öffentlichen Straßen und Wegen durch den Zustand des Waldes entstehen könnten. Es besteht insbesondere keine Verpflichtung, den Zustand des Waldbodens und dessen Bewuchses so zu ändern, dass dadurch solche Gefahren abgewendet oder vermindert werden.

Die theoretisch von Haftungsfragen betroffene Waldfläche in Österreich beträgt insgesamt 39.745 km<sup>2</sup>. Das entspricht rund 24,1 % der Waldfläche Österreichs (SCHWARZL et al., 2019). Diese Zahlen beziehen sich nur auf Waldflächen, es käme hier das Haftungsregime des § 176 Forstgesetz zum Tragen. Für die Bedeutung der Baumhaftung in Österreich ist daher immer zu bedenken, dass noch viel mehr Baumhalter:innen vom durchaus strengeren Haftungsregime des ABGB betroffen sind.

Die ÖNORM L 1122 ist insbesondere für die Praxis der Wegesicherung durch Pflege und Kontrolle von Gehölzen relevant. Diese hat zum Ziel, Bäume möglichst lange zu

erhalten. Die vielfach aus Gründen der Haftungsvermeidung durchgeführten Fällungen sollten jedoch nur das letzte Mittel der Baumsicherung sein, wenn die Gefahr für Menschen und Sachwerte nicht mehr beherrscht werden kann (SCHWARZL et al., 2019).

Die Aufklärung aller Akteur:innen, verbessertes Risikomanagement und Klarheit in der Rechtsprechung bzw. Änderungen der aktuellen Rechtssituation können dazu beitragen, „vorsorgliche“ Fällungen zu verhindern bzw. deren Ausmaß zu minimieren. Die ÖNORM L 1122 fordert die Entfernung von Totholz und Dürrästen bereits ab geringen Dimensionen. Hier widerspricht das Sicherheitserwarten der Menschen am auffälligsten der Biodiversitätsfunktion von Bäumen: Totholzäste müssen ab einer bestimmten Größe entfernt werden und abgestorbene, ganze Bäume, sind aus Verkehrssicherungsgründen nicht akzeptabel. Damit werden Lebensräume für eine Vielzahl von Lebewesen a priori entfernt oder vernichtet. Besondere Bedeutung erreichen diese Bestimmungen im Falle von Schutzgebieten (z. B. Nationalparks), deren Ziel es u. a. ist, natürliche Entwicklungen nicht zu verhindern (Prozessschutz, Außer-Nutzung-Stellung). Bezeichnend für die aktuelle Situation der Baumsicherung sind die folgenden zentralen Aussagen aus einer Umfrage (SCHWARZL et al., 2019) mittels eines digitalen Fragebogens: 95 % der Antworten geben Fällungen als „Mittel der Baumsicherung“ an. Der (finanzielle) Aufwand für Baumsicherungen ist in den letzten Jahren signifikant gestiegen (88 % der Antworten). Mehr als der Hälfte der Antwortenden ist die (rechtliche) Haftungssituation in ihrem Zuständigkeitsbereich unklar. In der genannten Studie wird angeführt, dass sich im Zuge der Baumsicherungsarbeiten 309 Arbeitsunfälle ereignet haben. Im Vergleich dazu werden 89 Personenschäden durch Bäume verursacht. Damit weist die Studie darauf hin, dass vermutlich erheblich mehr Personen bei Baumsicherungsmaßnahmen verletzt werden (durch Schadereignisse, die von gefährdenden Bäumen entlang von Wegen ausgehen). Die Anzahl bzw. das Verhältnis von tödlichen Unfällen ist allerdings aus der Studie nicht abzuleiten.



## 2.2 AUSZUG AUS DEM FORSTGESETZ AKTUELLE NOVELLE 2023

Die 2023 beschlossene Novelle des Forstgesetzes sieht unter anderem folgende relevante Änderungen vor :

- Die Bedeutung des Waldes als Lebensraum soll als Aspekt der Wohlfahrtsfunktion wie auch in den Zielsetzungen der forstlichen Förderung verankert werden.
- Anhörungsrecht der Naturschutzbehörde in Verwaltungsverfahren betreffend Biotopschutzwälder: In bestimmten Rodungs- und Fällungsverfahren, die Waldflächen in Biotopschutzwäldern betreffen, soll die Berücksichtigung der Interessen des Naturschutzes durch die verpflichtende Anhörung der Naturschutzbehörde sichergestellt werden.

## 2.3 INFORMATIONENSTAND ZUM FORSTSTRASSENNETZ IN ÖSTERREICH IM RAHMEN DER WALDINVENTUR 1992/96

Im Rahmen der Waldinventur im Jahr 1992/96 wurden 35 lfm/ha (Laufmeter pro Hektar) LKW-Straßenanlagen im Ertragswald mittels einer systematischen Stichprobeinventur erhoben (B.F.W., o.J.). Eine Verortung der Lage aller Waldstraßen erfolgte aber nicht.

Nach heutigen Schätzungen wird der LKW befahrene Anteil auf ca. 45 lfm/ha geschätzt (B.F.W., 2018; GREUTTER, 2019). Die Gesamtlänge beläuft sich nach der Österreichischen Waldinventur auf insgesamt 118.500 km. Nach MAYRHOFER et al. (2015) beträgt die Durchschnittsentfernung zur nächsten Straße im österreichischen Wald nur 55,6 m (ÖWI ERGEBNISSE von 1992/96).

Die Breite der LKW-Straßenanlagen variierte 1992/96 zwischen 2–3 m (54 %), 3–5 m (41 %) und > 5 m (5 %) (B.F.W., o.J.). Daraus ergibt sich eine mittlere Breite von ca. 3,5 m. Es ist anzunehmen, dass die Forststraßenbreite in den vergangenen 25 Jahren sukzessive an die größer gewordenen

Fahrzeuge angepasst wurde. Im Vergleich zur Waldinventur von 1986/90 wurden 2 % der 2–3 m breiten Fahrbahnen auf 3–5 m erweitert. Der Fahrstreifen war in der Waldinventur von 1992/96 zu 50 % nicht bewachsen. Leider wird die Erfassung des Forststraßennetzes seit 1996 nicht mehr durchgeführt und daher fehlen aktuelle präzise Daten über die Entwicklung der letzten 25 Jahre (B.F.W., o.J.).

## 2.4 AUFBAU EINER FORSTSTRASSE, RÜCKEWEG, RÜCKEGASSE

Der Bau einer Forststraße darf nur so weit in das Ökosystem eines Waldes eingreifen, als es dessen Erschließung erfordert. Ein Längsneigungsbereich zwischen 2 % und 8 % ist aus Gründen der Sicherheit anzustreben (EIPNER, 2014). Die Linienführung der Straße ist dem Gelände anzupassen, die Kehren und Grabenquerungen sollten geringgehalten werden. Ein Entwässerungskonzept zur schadlosen Ableitung der Oberflächenwässer ist erforderlich.

Wie in Abbildung 1 ersichtlich sollte der Querschnitt des Weges einem Uhrglasprofil ähneln, welches die beidseitige Neigung nutzt, um Regen- und Schmelzwasser abzuleiten. Durch diese Bauweise wird verhindert, dass Wasser in den Wegkörper eindringen kann und diesen aufweicht (WAAS, 2019).

Die Breite der Tragschicht (ca. 4,0–4,5 m) sollte der Kronenbreite entsprechen und beinhaltet die Fahrbahnbreite mit den beiden Seitenstreifen. Die darüber liegende Deckschicht (ca. 3 m) besteht aus verwitterungsbeständigem Wegebaumaterial. Die Deck- und Tragschicht beinhaltet Gesteinskörnungen und ist wassergebunden (WAAS, 2019). Um eine ausreichende und stabile Befahrbarkeit und Straßenoberfläche zu erreichen, werden folgende Maßnahmen ergriffen (ZEMKE, 2016). Die einfachste Methode ist eine Planierung des Weges, in dem ohne Zugabe von weiterem Material eine feste Straßenoberfläche hergestellt wird. Bei steilen Straßenabschnitten oder starkem Verkehr wird eine zusätzliche Befestigung vorgenommen. Diese erfolgt durch einen Unterbau von Split oder Schotter, um die Oberfläche zu stabilisieren (ZEMKE, 2016).

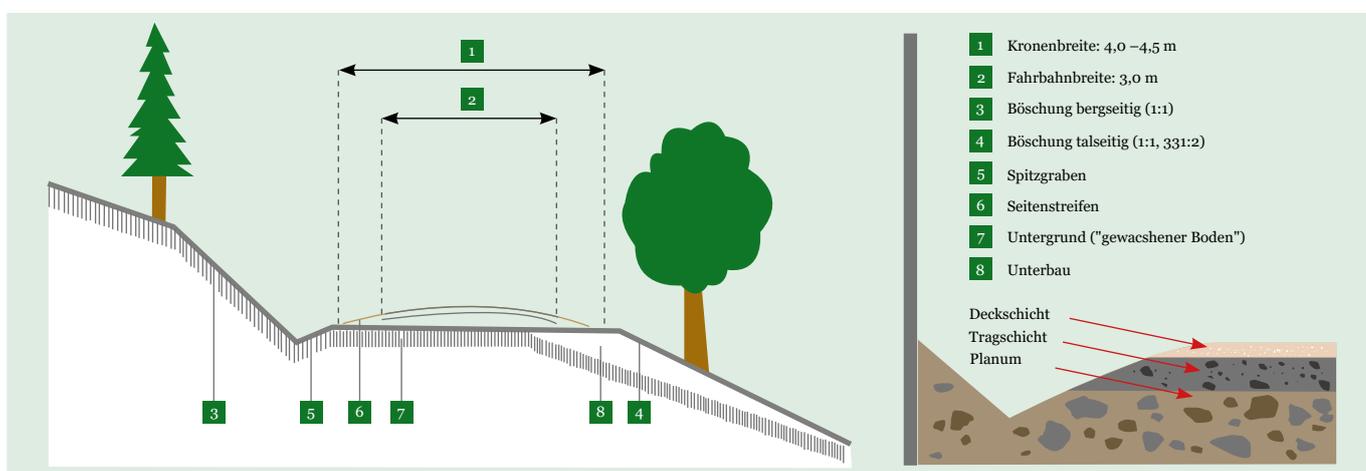


Abbildung 1: Aufbau eines schwerlastfähigen Forstweges (Bildquelle: Waas, 2019)

<sup>1</sup> <https://www.parlament.gv.at/gegenstand/XXVII/1/2205>

Um die Befahrbarkeit und die Tragfähigkeit einer Forststraße zu garantieren, ist eine funktionierende Entwässerung unumgänglich. Eine angemessene Entwässerung wird durch eine ausreichende Querneigung der Straße erreicht (FREUDENSCHUß et al., 2021). Die Entwässerung der Fahrbahn und des umliegenden Geländes wird in Seitengräben abgeleitet, welche das Wasser durch Durchlassrohre ableitet (FREUDENSCHUß et al., 2021; WAAS, 2019). Diese müssen in regelmäßigen Abständen gewartet und gereinigt werden.

Im steilen Gelände sind die Wegböschungen häufig einer starken Erosion ausgesetzt. Diese bilden die Grundlage für eine stabile Forststraße (FREUDENSCHUß et al., 2021). Die bergseitige Böschung wird mit einer Neigung von 45 ° angelegt. Die talseitige sollte aus Gründen der Stabilität immer etwas flacher angelegt werden (WAAS, 2019).

Die Pflege der Seitengräben und des Lichtraumprofils tragen viel zur Instandhaltung der Forststraße bei. Der Lichtraum ist der bewuchsfreie Raum über dem Forstweg und wird bei Bedarf freigeschnitten (WAAS, 2019). Die Seitengräben werden vom Bewuchs, Laub und sonstigen Ablagerungen in regelmäßigen Abständen freigeschnitten. Die Pflegemaßnahmen sollten genau geplant werden, um etwaige Blüh-, Brut- und Wanderzeiten potenziell betroffener Tier- und Pflanzenarten zu berücksichtigen.

Die Feinerschließung wird in Form von Rückegassen und Rückwegen erarbeitet. Waldbestände werden in der Regel bis zu einer Hangneigung von 25 % bis 30 % mit Rückegassen und in steileren Lagen durch Rückewege erschlossen (BAYRISCHE FORSTVERWALTUNG, 2017). Die Anlage der Rückegasse erfolgt in paralleler Anordnung in einem Abstand von 20 bis 40 m. Die Darstellung in Abbildung 2 veranschaulicht die Intervalle zwischen den Rückegassen. Der Abstand richtet sich dabei nach

den Geländeverhältnissen. Die Rückegassen werden ohne zusätzliches Wegbaumaterial, wie Kies oder Sand angelegt. Die im Verlauf liegenden Baumstöcke werden tief abgeschnitten. In steileren Hanglagen stoßen Rückegassen jedoch schnell an ihre Grenzen, da schwere Erntemaschinen zunehmend ihre Traktion und Standsicherheit verlieren (BAYRISCHE FORSTVERWALTUNG, 2017).

Die Anlage von Rückwegen ermöglicht eine boden- und materialschonende, forstliche Bewirtschaftung. Rückwege gelten als Erschließungswege für Harvester, Forwarder und Seilschlepper und werden quer zur Hangneigung gebaut. Durch die fehlende Trag- und Deckschicht ist ein Befahren mit PKW und LKW nicht möglich (BAYRISCHE FORSTVERWALTUNG, 2017). Der Abstand zwischen zwei Rückwegen richtet sich nach den Geländeverhältnissen und beträgt ca. 80 bis 120 m. In den Zwischenfeldern erfolgt die Holzbringung durch Seilschlepper, Seilwindenbagger und Seilkrananlagen (BAYRISCHE FORSTVERWALTUNG, 2017).

Die Hangböschungen von Forststraßen werden oft mit Grobsteinschichtungen oder Krainerwänden gesichert, die talseitigen Böschungen hingegen mit der bewehrten Erde (FREUDENSCHUß et al., 2021).

Die Nutzungsintensität auf den Forststraßen spielt eine große Rolle beim Verschleiß bzw. der Sedimentverschiebung. Eine intensive Nutzung der Forststraßen hat einen grundlegenden Einfluss auf das Erosionsverhalten (nach WESEMANN, 2017). Vor allem bei Kreuzungen von Straßen und Fließgewässern kann es zu einer Förderung des direkten Abflusses und einer Änderung der Gerinnenetzdichte kommen.



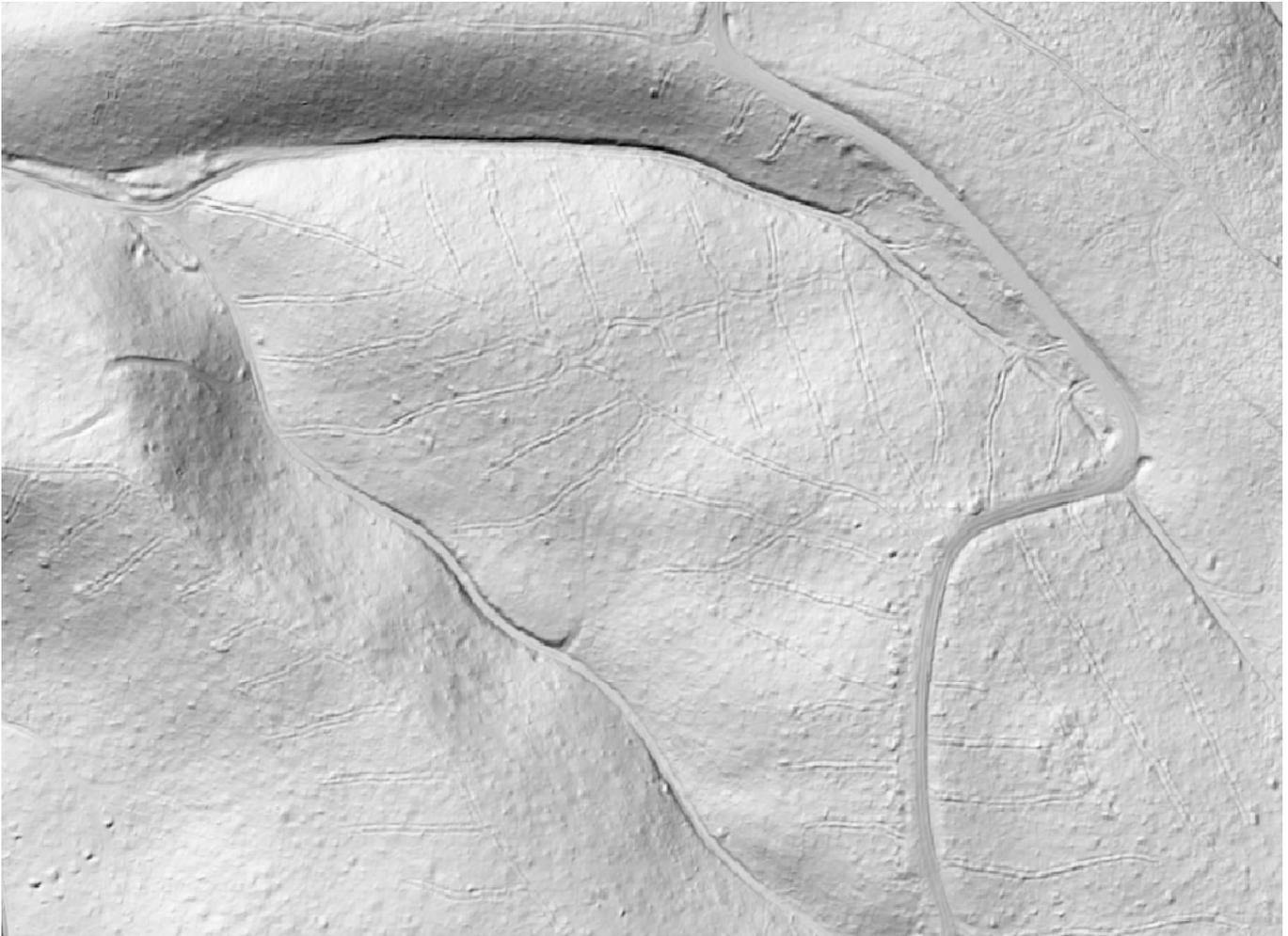


Abbildung 2: Kartenausschnitt mit detaillierter Sicht der Feinerschließung durch Rückewege. (Beispiel Oberösterreich) Die Forststraßen sind durch ein ebenes Planum der Straßenoberfläche erkenntlich, während bei den Rückwegen die zwei Fahrrippen der Reifenpaare ersichtlich sind.



© Christian Lendl

# 3 AKTUELLE RÄUMLICHE VERTEILUNG VON WALDSTRASSEN IN ÖSTERREICH

## 3.1 VORGEHENSWEISE BEI DEM ZUSAMMENSTELLEN DES DATENPOOLS / METHODIK

In diesem Kapitel wird die Zusammenstellung des GIS-Datensatzes als Grundlage für die räumliche Analyse beschrieben. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die akquirierten Daten.

Tabelle 1: Datengrundlage für die räumliche Analyse

Datensatz	Quelle	Datenstand
Waldstraßennetz im LKW befahrbaren Gelände Österreich	OpenStreetMap <sup>2</sup>	Abgerufen September & Oktober 2023
Waldfläche Österreich <sup>3</sup>	BEV (DKM - Waldnutzung) <sup>4</sup>	Stichtag 01.10.2022
Schutzgebiete Österreich	Umweltbundesamt <sup>5</sup>	Juni 2023
Höhenmodell Österreich (10 m Auflösung)	CC-BY-4.0: Land Kärnten - data.gv.at <sup>6</sup>	2015
Verwaltungsgrenzen	BEV <sup>7</sup>	Stichtag: 01.04.2021

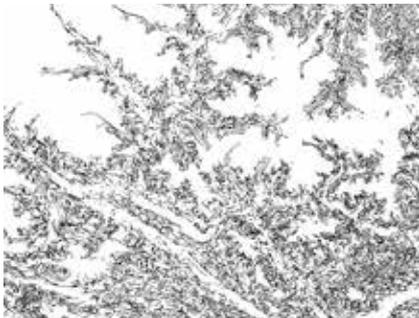


Abbildung 3: Ausschnitt Waldstraßendatensatz, Quelle: OpenStreetMap



Abbildung 4: Ausschnitt Schutzgebiete, Quelle: Umweltbundesamt



Abbildung 5: Ausschnitt Waldfläche, Quelle: BEV

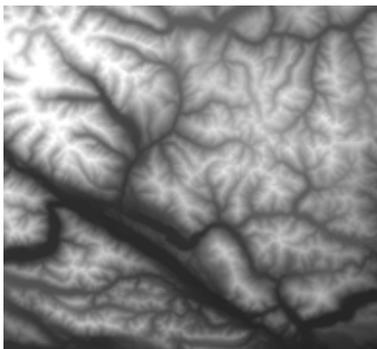


Abbildung 6: Ausschnitt digitales Höhenmodell, Quelle: Land Kärnten

<sup>2</sup> Map data copyrighted OpenStreetMap contributors and available from <https://www.openstreetmap.org>

<sup>3</sup> Das Waldstraßennetz umfasst Straßen im Wald und am Waldrand

<sup>4</sup> BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen: Kataster Grafik Grundstücksverzeichnis GPKG Stichtag 01.10.2022. URL: <https://doi.org/10.48677/d6d8069b-f734-4c5f-b54e-5b1005fd1521> (abgerufen am 19.07.2023).

<sup>5</sup> Zusammenstellung durch Umweltbundesamt basierend auf INSPIRE-Services der Länder: © Land Burgenland, Land Kärnten, Land Niederösterreich, Land Oberösterreich, Land Salzburg, Land Steiermark, Land Tirol, Land Vorarlberg, Stadt Wien

<sup>6</sup> Land Kärnten: Digitales Geländemodell (DGM) Österreich. CC-BY-4.0: Land Kärnten - data.gv.at. URL: <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/b5de6975-417b-4320-afdb-eb2a9e2a1dbf#additional-info> (abgerufen am 01.09.2023).

<sup>7</sup> BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen: Verwaltungsgrenzen (VGD) - Stichtagsdaten 1:50 000. URL: [https://www.data.gv.at/katalog/dataset/bev\\_verwaltungsgrenzenstichtagsdaten150000#resources](https://www.data.gv.at/katalog/dataset/bev_verwaltungsgrenzenstichtagsdaten150000#resources) (abgerufen am 19.07.2023).

Für die Zusammenstellung eines einheitlichen Waldstraßendatensatzes wurden Straßen- und Wegenetze aus verschiedenen Quellen (Graphenintegrations-Plattform Österreich – GIP, Digitale Katastralmappe Österreich und OpenStreetMap) miteinander verglichen. Durch einen visuellen Vergleich der Datensätze (siehe folgende drei Abbildungen) konnte festgestellt werden, dass der OpenStreetMap-Datensatz am wenigsten Datenlücken aufweist. Außerdem sind die Forststraßendatensätze der Graphenintegrations-Plattform zum Erstellungszeitpunkt dieser Studie noch nicht für alle Bundesländer verfügbar. In diesem Zusammenhang wurde Rücksprache mit der zuständigen Behörde (Amt der Kärntner Landesregierung,

Abteilung 7 - Wirtschaft, Tourismus und Mobilität) der aktuelle Datenstand und die Verfügbarkeit abgeklärt. Für manche Bundesländer gibt es noch keine Freigabe, da die gewünschte Datenqualität noch nicht erreicht wurde.

Für die Analyse in dieser Studie sollte ein für das ganze Bundesgebiet einheitlicher Datensatz verwendet werden, ohne dass fehlende Datensätze (sowie ganze Bundesländer im GIP-Sträßennetz) mit anderen ergänzt werden müssen. Aufgrund ihrer einheitlichen und umfassendsten Verfügbarkeit fiel die Auswahl auf die OpenStreetMap-Daten.

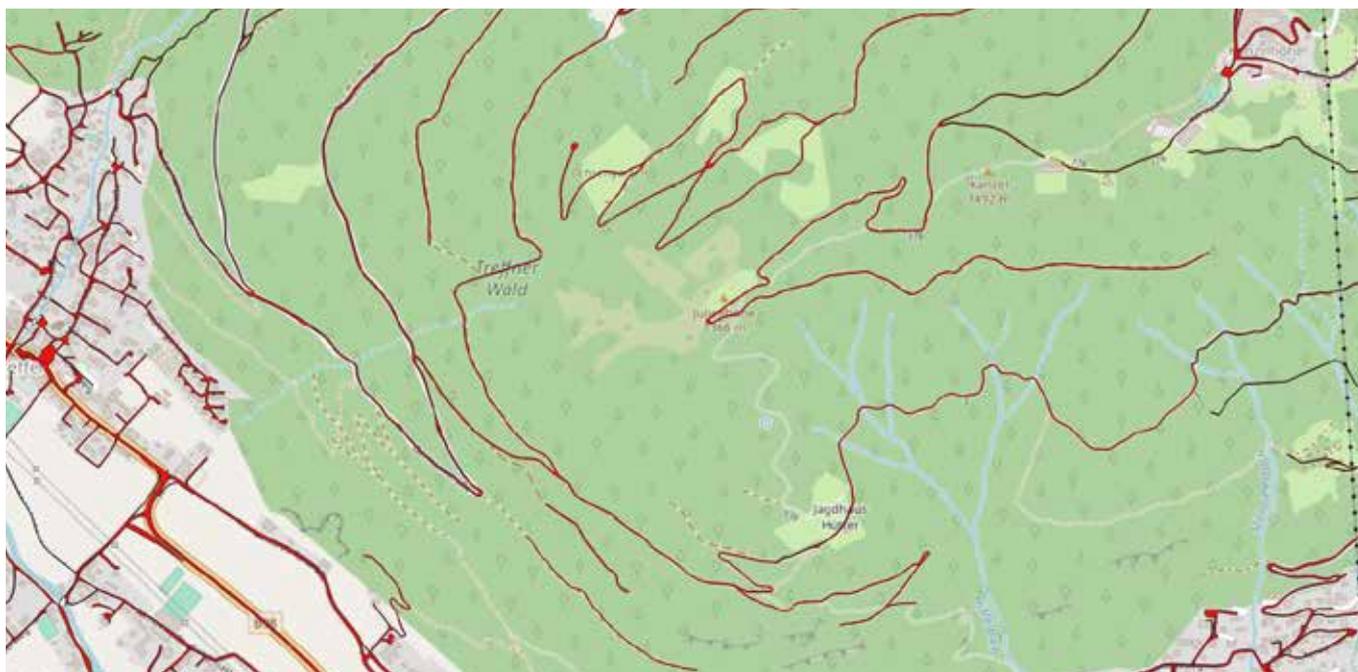


Abbildung 7: Kartenausschnitt mit Daten aus der Digitalen Katastralmappe Österreich. In dieser Grafik ist das gesamte Straßennetz ersichtlich.

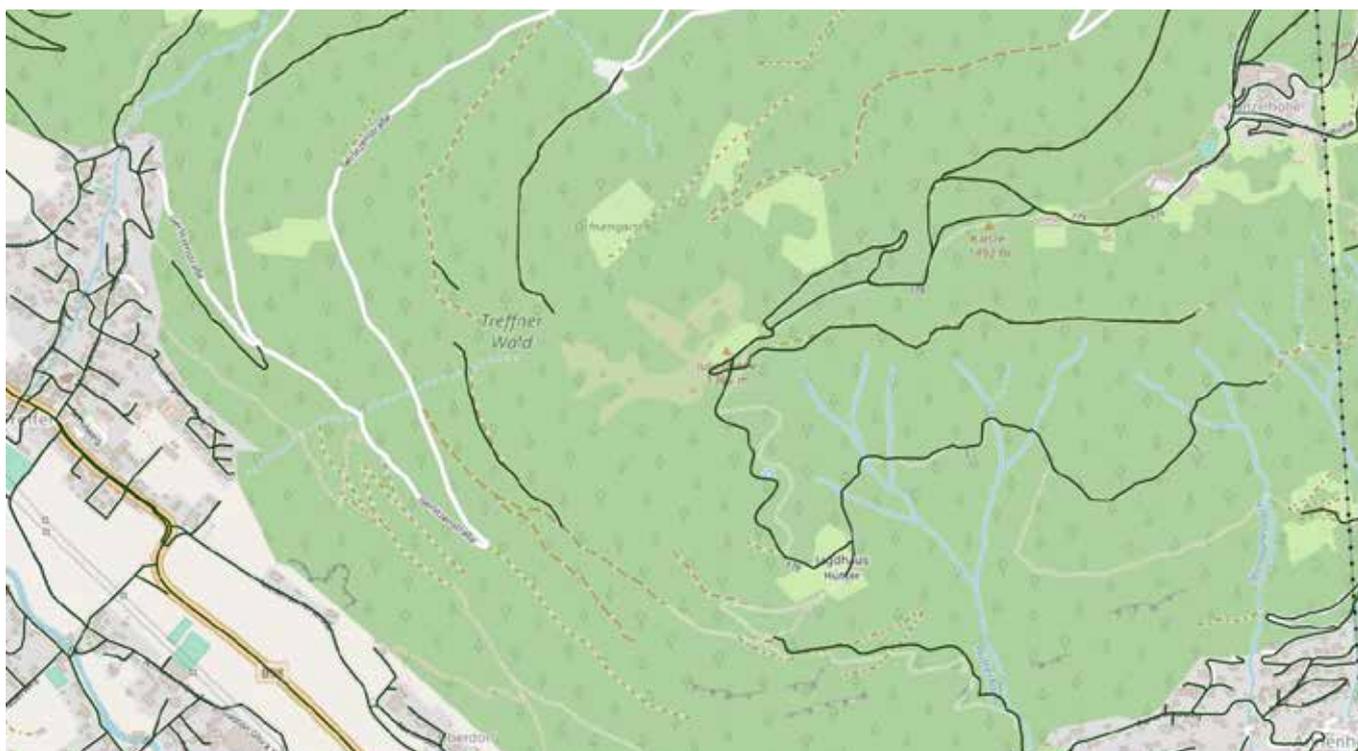


Abbildung 8: Kartenausschnitt mit Daten aus der Graphenintegrations-Plattform. Die grünen Linien definieren das gesamte, bis dato eingepflegte, Verkehrsnetz.

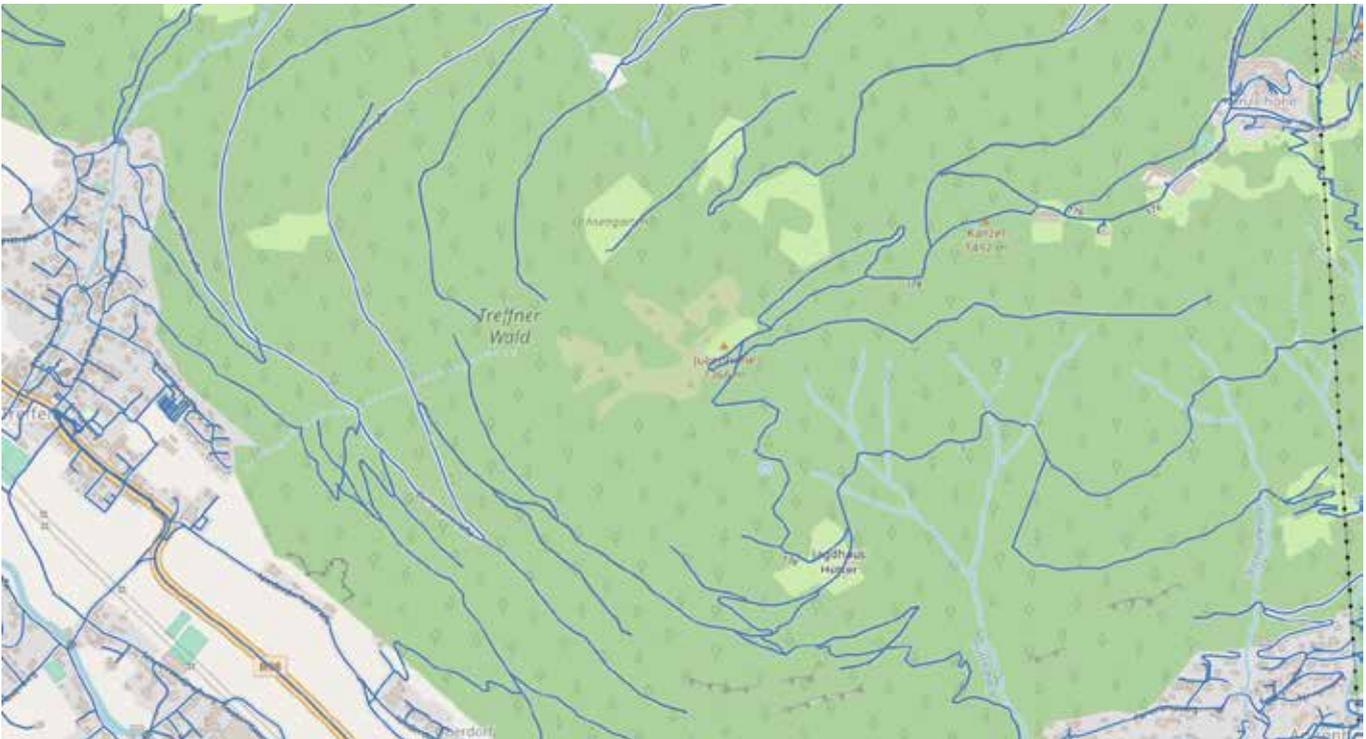


Abbildung 9: Kartenausschnitt mit Daten des gesamten Straßennetzes (Straßen, Forststraßen und Wanderwege) aus der OpenStreetMap

Die OpenStreetMap (OSM)-Daten wurden mit Hilfe des QGIS Plugins QuickOSM heruntergeladen. Durch eine Overpass-API Abfrage, bei der ein Schlüssel und ein Wert angegeben werden, können die OSM-Daten für ein bestimmtes Gebiet oder einen bestimmten Bereich abgerufen werden. Da es keine eindeutige Kategorisierung für Forststraßen im engeren Sinn gibt und außerdem für die Analyse auch Straßen am Waldrand miteinbezogen werden sollten, wurde der Schlüssel "highway" gewählt und alle dazugehörigen Werte wurden mitabgefragt. Aufgrund der großen Datenmenge konnte nicht das gesamte Straßennetz für ganz Österreich auf einmal heruntergeladen werden. Es wurden 16 Download-Kacheln erstellt, für welche die Daten einzeln abgefragt wurden. Anschließend wurden die Straßennetzkacheln auf die österreichische Landesgrenze zugeschnitten (siehe Abbildung 10).

Nach dem Zusammenfügen der einzelnen Kacheln zu einem Gesamtstraßennetz konnten die Waldstraßen extrahiert werden. Der heruntergeladene Datensatz enthielt das gesamte OSM-Straßennetz. Für die Analyse sind aber nur die LKW-befahrbaren Straßen im Wald und die Straßen am Waldrand relevant. Wichtig war es auch, die Wanderwege aus den Datensatz zu entfernen. Dazu wurden alle vorhandenen Werte unter dem Schlüssel "highway" auf ihre Relevanz für die Analyse überprüft und es wurden alle Polylinien mit nicht relevanten Attributen entfernt. Tabelle 2 gibt eine Übersicht, welche Straßen in der Analyse berücksichtigt und welche verworfen wurden.

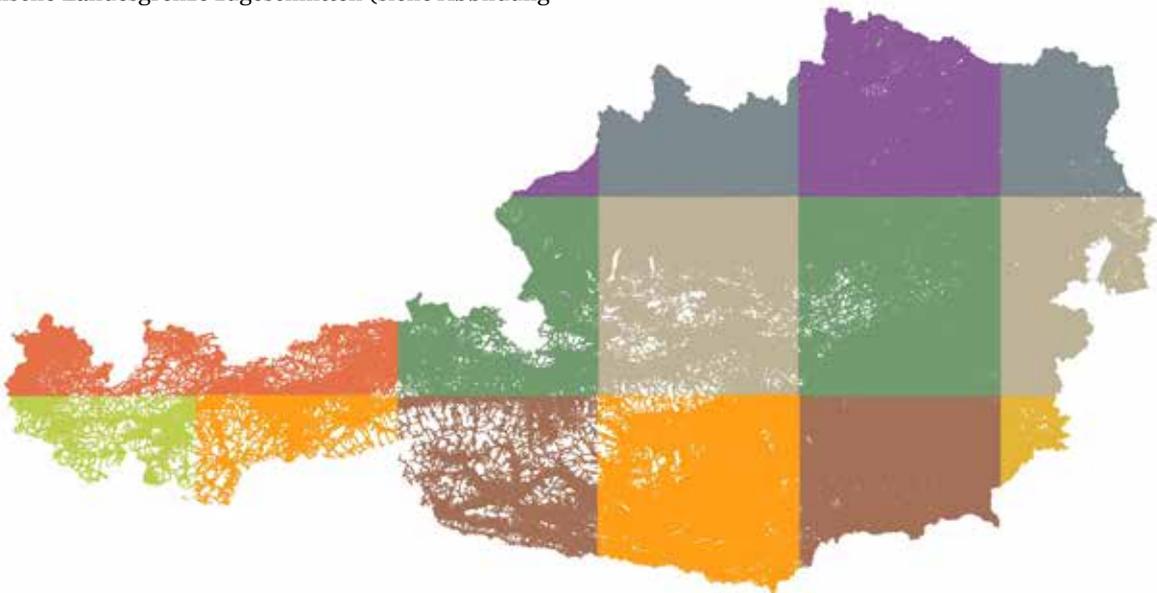


Abbildung 10: Gesamtes OSM Straßennetz - 16 Kacheln, Quelle: OpenStreetMap

Tabelle 2: Auswahl der passenden OSM-Tags für Forststraßen, Quelle: OpenStreetMap Wiki

Value	Beschreibung	Relevanz
abandoned	Der Schlüssel abandoned:highway wird verwendet, um ehemalige Straßen zu kartieren, die stark verfallen sind und nur mit großem Aufwand wieder in Betrieb genommen werden könnten.	nein
bridleway	Reitweg	nein
bus_stop	Bushaltestelle	nein
chain_up_area	Fehlerhafte Klasse, die im OpenStreetMap Wiki nicht erwähnt wird. Vermutlich für Straßen mit Kettenpflicht	nein
construction	Baustelle/im Bau - markiert eine Straße oder Bahnstrecke, die sich gerade im Bau befindet.	nein
corridor	Ein Gang im Inneren eines Gebäudes	nein
cycleway	Radweg (auch Veloweg). Weg zur ausschließlichen Benutzung durch Radfahrer.	nein
disused	Stillgelegte Straßen, die derzeit nicht genutzt werden, aber mit vertretbarem Aufwand wieder in Betrieb genommen werden könnten.	nein
elevator	Aufzug	nein
emergency_bay	Eine „Nothaltebucht“ oder Notrufnische neben einer Straße, auf der ein Fahrzeug bei einem Notfall oder einer Panne sicher angehalten werden kann.	nein
escape	Notbremsweg, findet man vor gefährdeten Ortseinfahrten, an Bergabstrecken	nein
footway	Bürgersteig, der in der Regel entlang einer Wohnstraße verläuft.	nein
living_street	Verkehrsberuhigter Bereich, in Österreich Wohnstraße, umgangssprachlich auch „Spielstraße“.	ja
motorway_link	Autobahn-Zubringer oder Autobahnanschlussstelle	nein
no	Diese Markierung kann verwendet werden, um anzuzeigen, dass ein Weg keine (physische) Straße ist.	nein
motorway	Autobahn. Straße mit baulich getrennten Fahrtrichtungen (im allgemeinen Grünstreifen) und besonderen Nutzungsbeschränkungen	nein
passing place	Weg mit zahlreichen Ausweichstellen.	nein
path	Allgemeiner Weg oder Pfad ohne vorgegebene Nutzungsart und ohne Routing für Motorfahrzeuge (PKW/Krafträder). International üblich für (schmale) Wanderwege oder Trampelpfade	nein
path:scramble	Siehe Tag highway=scramble	nein
pedestrian	Weg, Platz oder Straße auf der nur Fußgänger erlaubt sind (z. B. Fußgängerzone).	nein
platform	Der Bussteig einer Haltestelle bzw. Station	nein
primary	Allgemein: Straßen, die von nationaler Bedeutung sind und Zentren miteinander verbinden. In Österreich für Landesstraßen B (ehemalige Bundesstraßen).	ja
primary_link	Anschlussstelle in Österreich an eine Landesstraße B (ehemalige Bundesstraße)	ja
proposed	Für geplante, noch nicht gebaute Straßen	nein
raceway	Rennstrecke	nein
razed	Nicht im OpenStreetMap Wiki auffindbar. Vermutlich für zerstörte Straßen.	nein
residential	Straße an und in Wohngebieten, die keiner anderen Straßenklasse angehört.	ja
road	Straße unbekannter Klassifikation. Diese Bezeichnung ist gedacht um Straßen vorübergehend zu kennzeichnen, bis ihnen die richtigen Eigenschaften zugewiesen werden können.	ja
scramble	Es wird vorgeschlagen, das Tag highway=scramble als Basis-Tag für Abschnitte von Fußgängerwegen zu verwenden, die nicht durchgängig begehbar sind. Oft ist bei diesen Wegen der Einsatz der Hände erforderlich, um das Gleichgewicht zu halten oder um voranzukommen.	nein
secondary	Allgemein: Straßen, die von überregionaler Bedeutung sind und kleinere Zentren miteinander verbinden. In Österreich für Landesstraßen L mit niedriger Nummer, breite viel befahrene Landesstraßen.	ja
secondary_link	Auf- und Abfahrt in Österreich auf/von einer Landesstraße L mit niedriger Nummer, breite viel befahrene Landesstraße.	ja
service	Erschließungsweg zu oder innerhalb von Einrichtungen wie Sportanlagen, Stränden, Autobahnraststätten oder allgemein zu Gebäuden. Wird auch für den Zugang zu Parkplätzen oder Recyclinghöfen benutzt.	ja

Value	Beschreibung	Relevanz
services	Raststätte, auch Autobahnraststätte mit Tankstelle, Restaurant oder Imbiss	nein
steps	Treppen auf Fuß-/Wanderwegen	nein
tertiary	Allgemein: Straßen, die Dörfer untereinander verbinden bzw. innerstädtische Straßen mit Durchfahrtscharakter. In Österreich für Landesstraßen L mit höherer Nummer, Gemeindeverbindungsstraßen, Straßen mit Verbindungscharakter in einem Wohngebiet	ja
tertiary_link	Auf- und Abfahrt in Österreich auf/von einer Landesstraße L mit höherer Nummer, Gemeindeverbindungsstraße	ja
track	Wirtschafts-, Feld- oder Waldweg (Wikipedia), kann mit tracktype=1-5 näher spezifiziert werden und muss breit genug für ein Fahrzeug sein, anderenfalls ist highway=path zu verwenden.	ja
trunk	Autobahnähnliche Straße (Wikipedia), z.T. auch Kraftfahrstraße (Wikipedia) bzw. Autostrasse (Wikipedia): Autobahnähnlich ausgebaute Straße (aber keine Autobahn) oder andere Straße mit Ausschluss des Langsamverkehrs.	nein
trunk_link	Anschluss- oder Verbindungsrampe einer Schnellstraße, analog zu Autobahnanschlussrampe	nein
unclassified	Öffentlich befahrbare Nebenstraßen mit einfachstem Ausbauzustand, typischerweise keine Mittellinie. Z. B. Gemeindestraße mit Verbindungscharakter, die zu schmal sind, um als highway=tertiary zu gelten.	ja
via ferrata	Klettersteig	nein
rest_area	Ein Rastplatz ohne Tankstelle, aber eventuell mit Picknick-Plätzen oder Toiletten, vergleiche highway=services	nein

Bei Klassen, deren Relevanz für das Waldstraßennetz nicht anhand ihrer Beschreibung eindeutig sind, wurden einzelne Polylinien mit dem betreffenden Attribut näher betrachtet. So wurden die beiden Klassen "service" und "living street" mit in die Analyse einbezogen, da anhand des Luftbildes erkennbar war, dass es Straßen mit diesen Attributen gibt, welche an Forststraßen angebunden sind.

Die Straßen wurden auf die relevanten Attribute reduziert und anschließend auf die Waldmaske (inklusive 30 m Puffer, um Straßen am Waldrand nicht zu verlieren) zugeschnitten.

Tabelle 3 gibt eine Übersicht, welche Straßenkategorien im Datensatz für die Analyse herangezogen wurden und wie groß ihr Anteil an der Gesamtlänge ist. In Abbildung 13 wird noch einmal deutlich, dass der überwiegende

Teil (ca. 80 %) des Straßennetzes in die Kategorie „track“ (definiert als Wirtschafts-, Feld- oder Waldwege, welche breit genug für ein Fahrzeug sind) fällt. Weitere 7 % fallen in die Kategorie „unclassified“. Damit sind öffentlich befahrbare Nebenstraßen im einfachsten Ausbauzustand gemeint, wie z. B. Gemeindestraße mit Verbindungscharakter. Die Klassen „service“ und „residential“ sind großteils halb-öffentliche Zufahrtsstraßen. Die verbleibenden 5 % („tertiary“, „secondary“ und „primary“) sind Teile des klassischen öffentlichen Straßennetzes.

Die daraus entstandenen Begriffe Waldstraßennetz und Waldstraßen beziehen sich in dieser Studie immer auf alle LKW-befahrbaren Wege im Wald und am Waldrand (innerhalb des 30 m Puffers).



Abbildung 11: Beispiel value: service (gelbe Linie), pinke Line value: track, Quellen: OpenStreetMap, Geoland Basemap

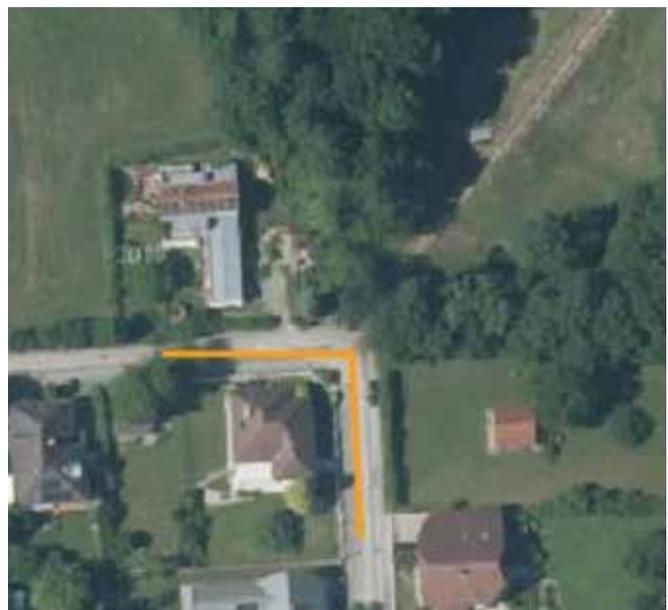


Abbildung 12: Beispiel value: living street (orange Linie), Quellen: OpenStreetMap, Geoland Basemap

Tabelle 3: Straßenkategorien des Waldstraßendatensatzes der Analyse

OSM-Kategorie	Anzahl	Laufmeter	Anteil an Gesamtlänge
Primär Forststraßen zur Holzbringung (nähere Def. siehe Punkt 2.1.2)			
track	446.860	172.151.047	78,8%
Klassische „Verkehrsstraßen“			
service	50.667	15.861.935	7,3%
residential	132.809	10.701.171	4,9%
unclassified	60.053	7 246.871	3,3%
secondary	15.679	4.156.439	1,9%
tertiary	18.164	5.193.175	2,4%
primary	15.266	3.152.322	1,4%
living_street	594	42.275	0%
primary_link	12	1.106	0%
road	511	31.580	0%
secondary_link	71	3.069	0%
tertiary_link	54	1.759	0%
<b>Gesamt</b>	<b>740.740</b>	<b>218.542.751</b>	<b>100 %</b>

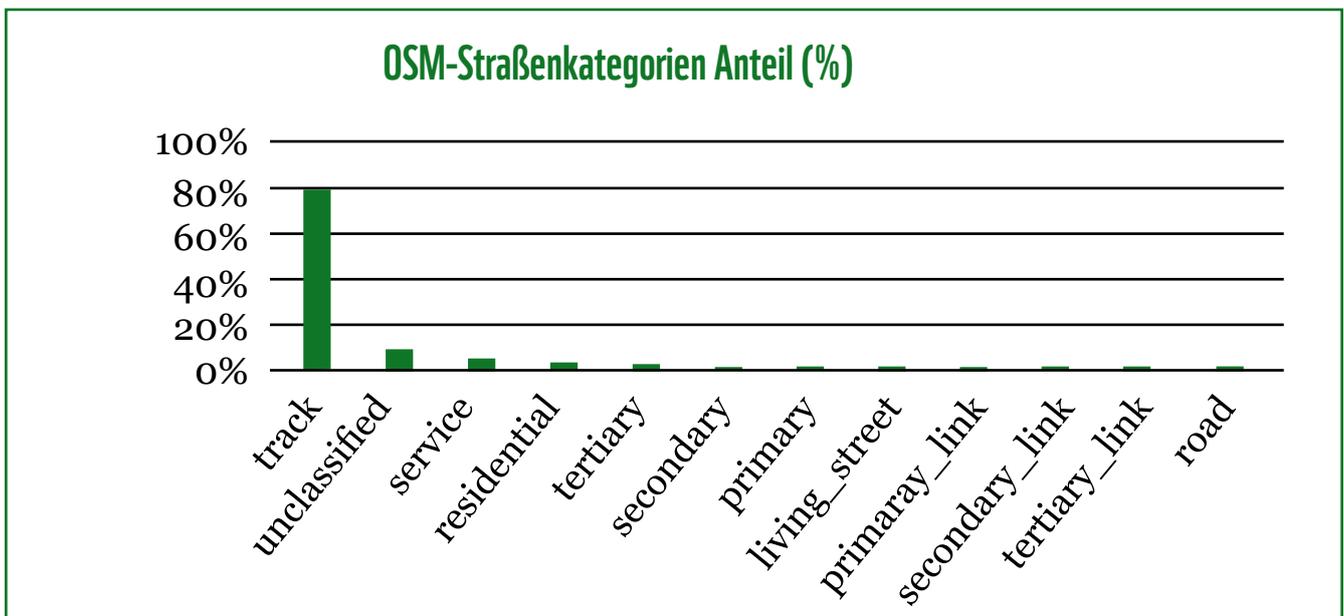
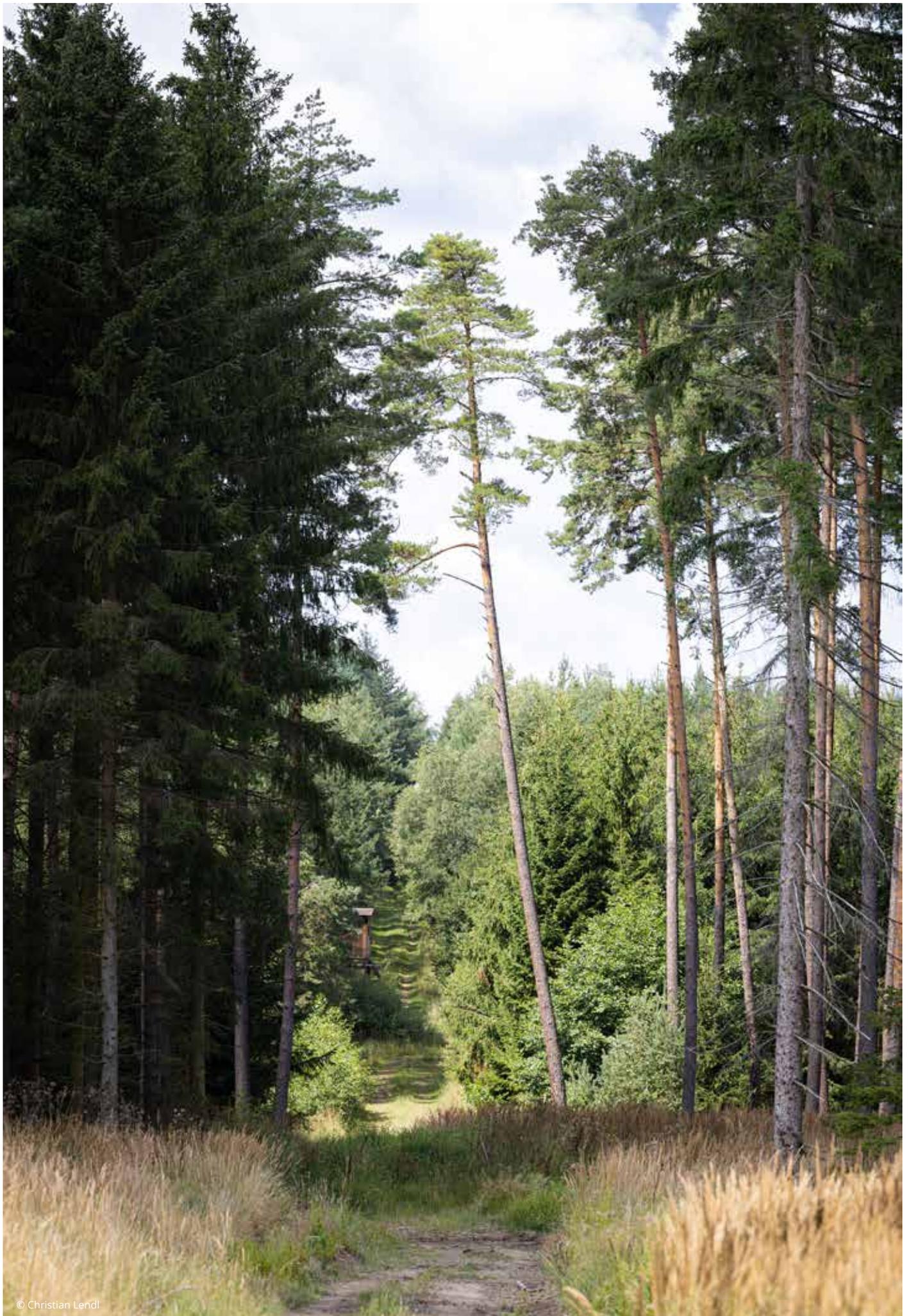


Abbildung 13: Waldfläche je Abstand zur nächsten Straße



Die Walddaten für ganz Österreich wurden aus den Nutzungsflächen der digitalen Katastralmappe (Stand: Oktober 2022, Quelle: BEV) extrahiert. Um die Waldflächen

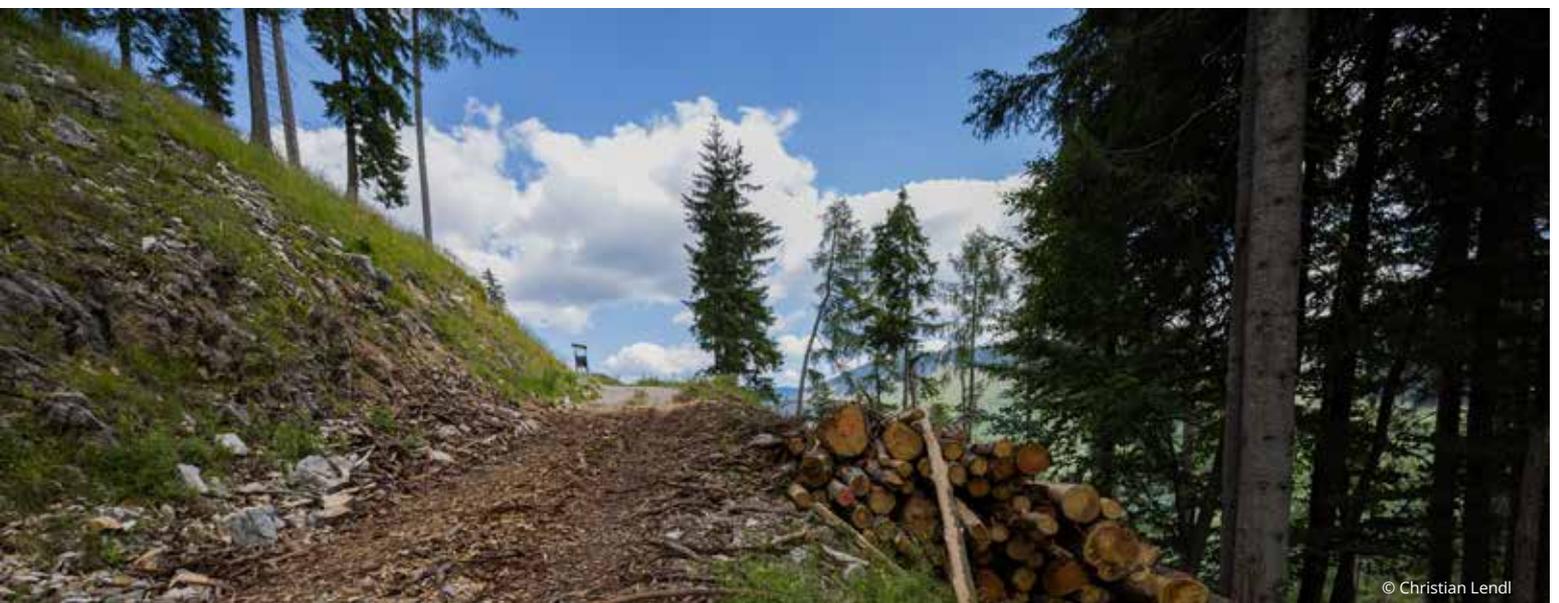
wurde zusätzlich ein 30 m Puffer erstellt, um auch Straßen am Waldrand berücksichtigen zu können (siehe Abbildung 14).



Abbildung 14: 30 m Puffer um Waldlayer

Das digitale Höhenmodell (Quelle: Land Kärnten), die Schutzgebiete (Nationalparke, Biosphärenparke, Natura 2000 Gebiete, Naturschutzgebiete,

Landschaftsschutzgebiete) (Quelle: Umweltbundesamt) und die Verwaltungsgrenzen (Quelle: BEV) wurden von der Open Data Plattform [data.gv.at](https://data.gv.at) bezogen.



## 3.2 ANALYSE DER DATENQUALITÄT OSM

Vor der Auswertung des österreichischen Waldstraßennetzes wurde die Datenqualität der OpenStreetMap-Daten überprüft. Dazu wurden neun Testgebiete (eines in jedem Bundesland) in der Größe von 2 x 2 km festgelegt. Die Auswahl eines Gebietes innerhalb eines Bundeslandes

erfolgte zufällig. Es wurden nur 2 x 2 km Kacheln, welche über 70 % Waldbedeckung aufweisen, berücksichtigt. Dafür wurde ein 2 x 2 km Gitternetz mit der Waldfläche verschnitten. Kacheln im Grenzbereich zu einem anderen Bundesland wurden bei der zufälligen Auswahl vernachlässigt.

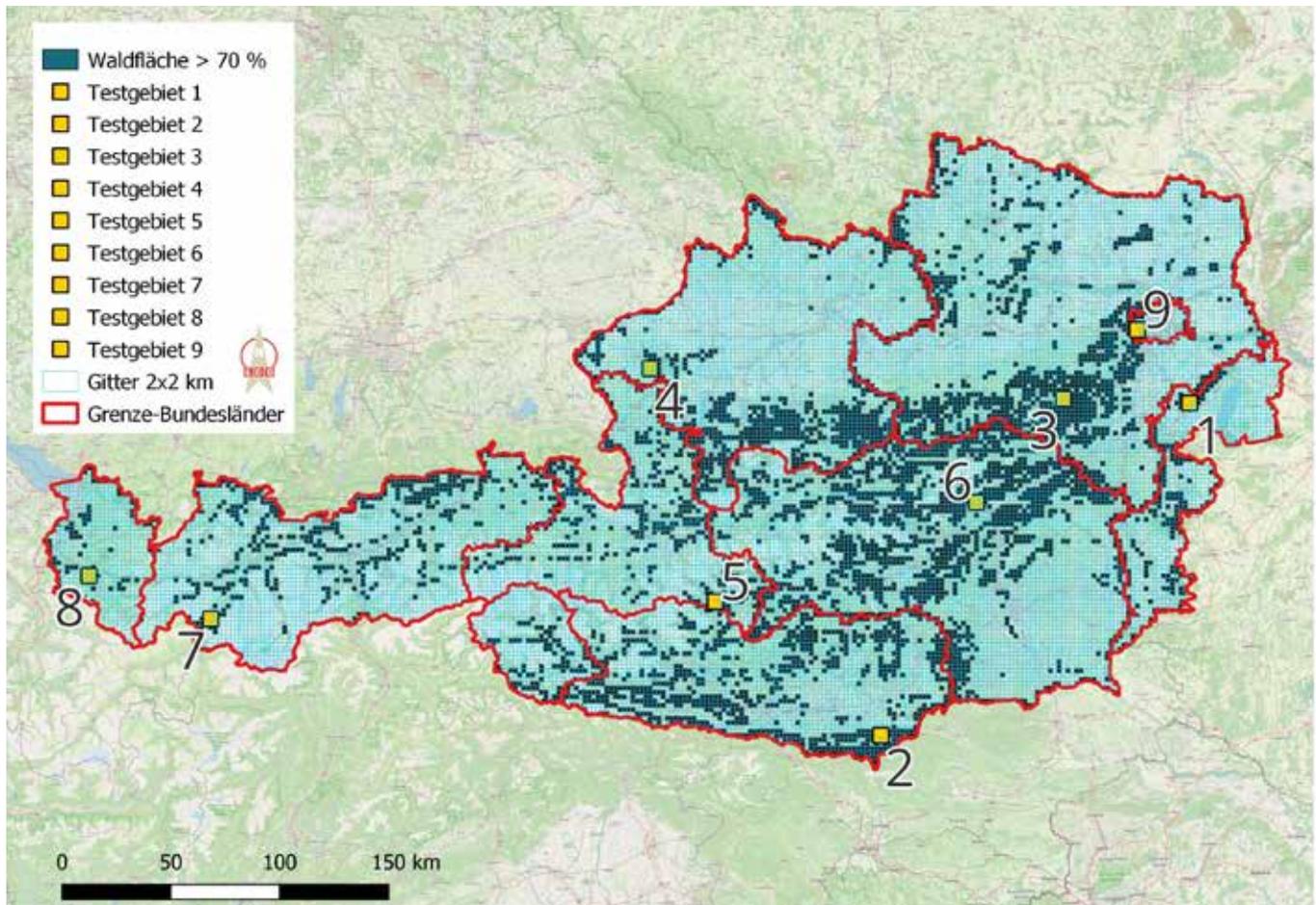


Abbildung 15: Zufällige Auswahl der Testgebiete, dunkle Kacheln weisen über 70 % Wald auf, die gelben Symbole stellen die 9 Testgebiete dar. (Quellen: OSM, BEV)





© Christian Lendl

Die Analyse der Testgebiete ergab, dass der Großteil der OSM-Daten korrekt ist. Ein nur sehr kleiner Teil der Daten (0,15 %) ist falsch (kein Waldweg vorhanden) und ebenfalls ein sehr geringer Teil (0,64 %) der Straßenlinien weisen eine nicht ausreichende Genauigkeit auf (sind geometrisch versetzt). Allerdings sind beinahe 18 % der Straßen im Wald nicht erfasst. Deshalb müsste bei der Berechnung

der gesamten Laufmeter Waldstraßen pro Hektar ein Korrekturfaktor angewendet werden.

Auf Basis des Geländehöhenmodells wurde für jedes Testgebiet die Qualität der Daten untersucht. Dafür wurden die Daten in vier Kategorien unterteilt: richtig, falsch, neu und ungenau.

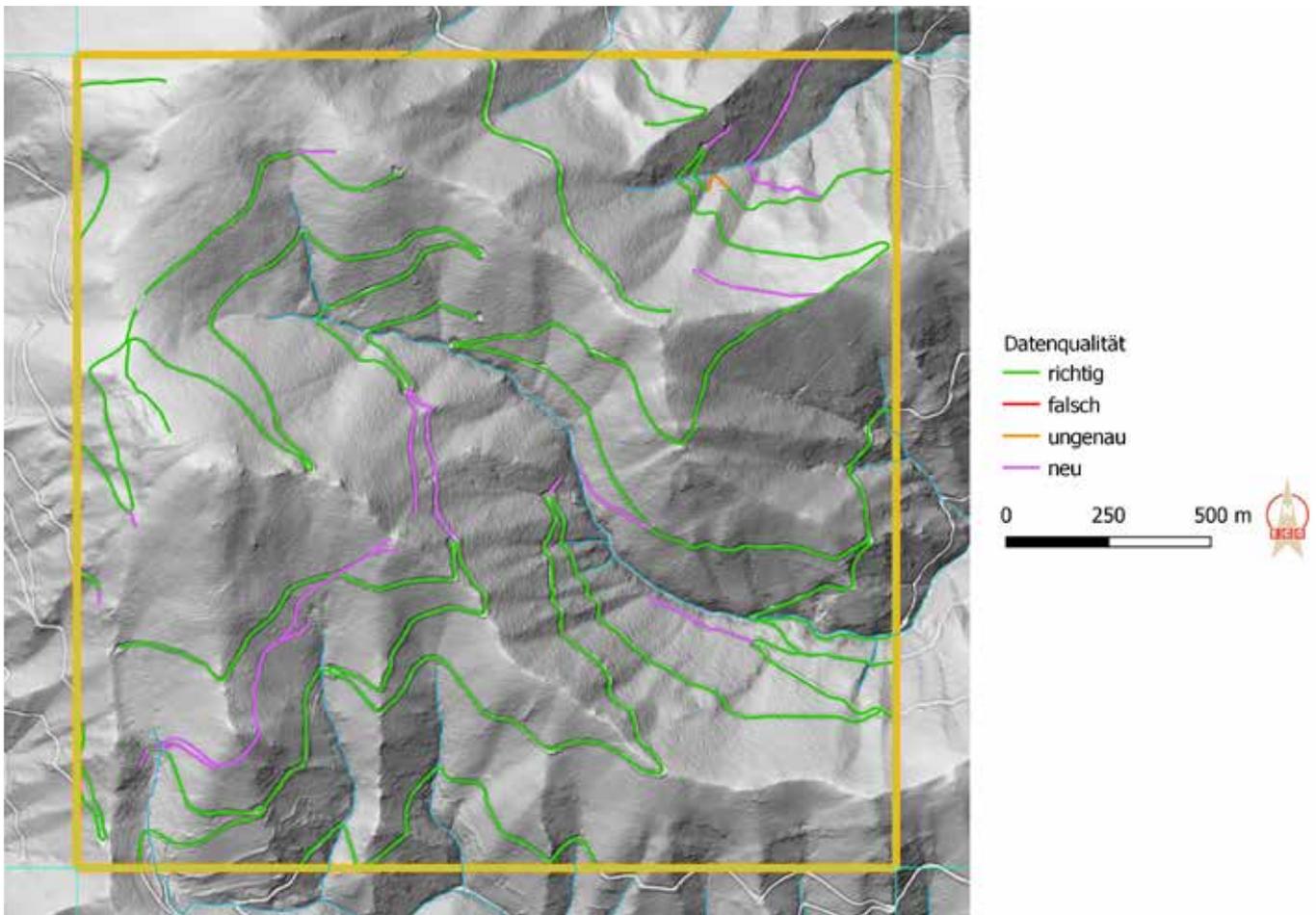


Abbildung 16: Beispiel Testgebiet Steiermark , grün = richtig, lila = neu (im OSM fehlend), orange = ungenau, blau = Gewässer, Quellen: Geoland Basemap Gelände, OSM

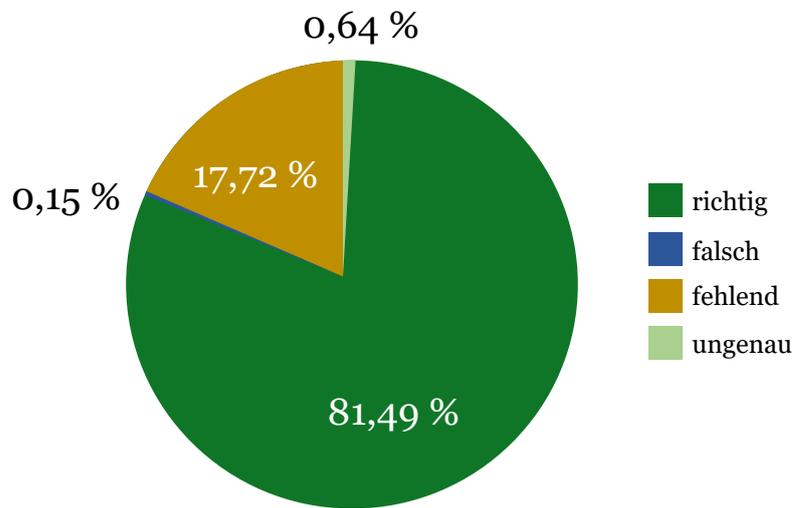
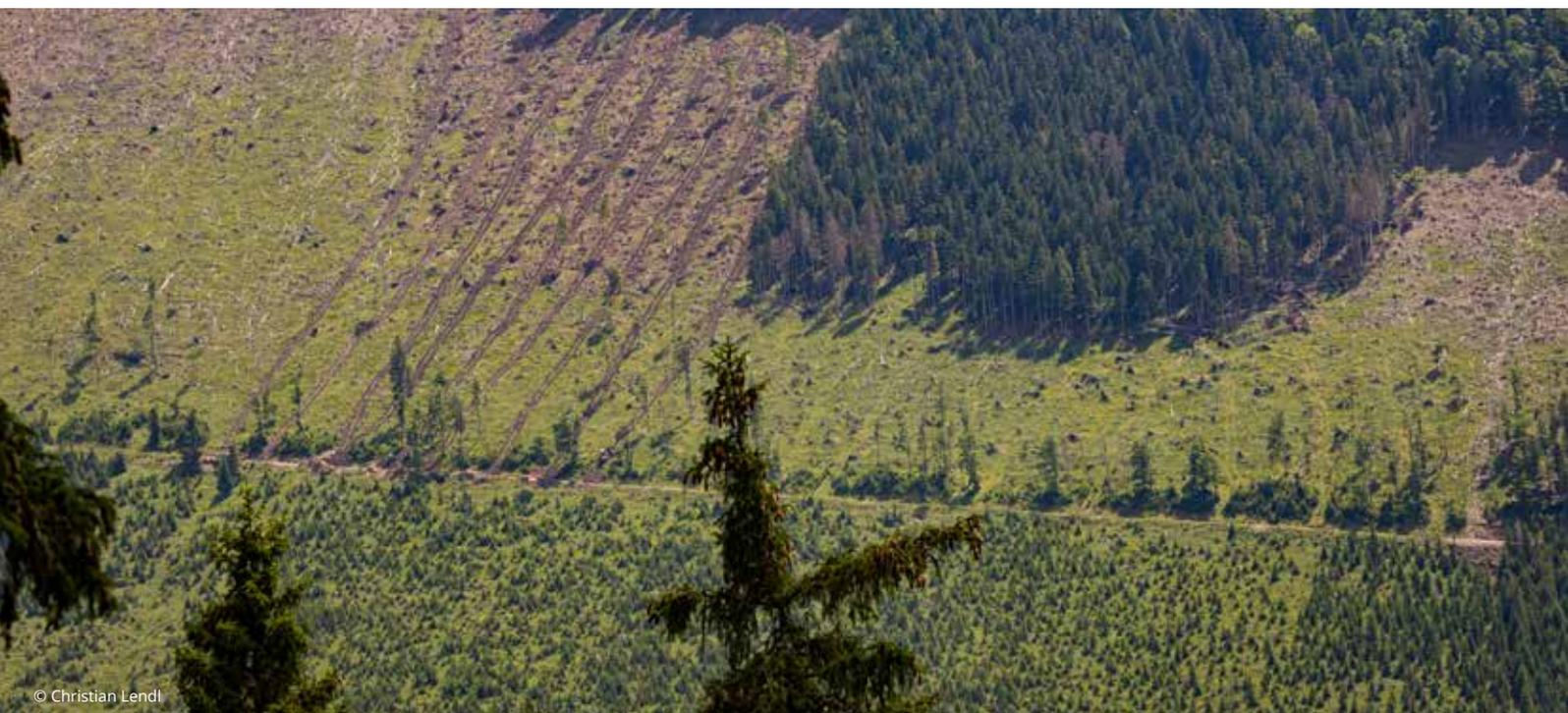


Abbildung 17: Ergebnis Datenqualität OSM Waldstraßen

Tabelle 4: Detaillierte Ergebnisse – Datenqualität OSM Waldstraßen

Testgebiet	richtig	falsch	fehlend	ungenau
TG1: Burgenland	76,81 %	0,00 %	20,94 %	2,26 %
TG2: Kärnten	94,96 %	1,43 %	3,61 %	0,00 %
TG3: Niederösterreich	94,39 %	0,00 %	4,23 %	1,38 %
TG4: Oberösterreich	66,62 %	0,00 %	32,70 %	0,68 %
TG5: Salzburg	61,90 %	0,00 %	38,10 %	0,00 %
TG6: Steiermark	84,63 %	0,00 %	15,00 %	0,37 %
TG7: Tirol	79,79 %	0,00 %	20,21 %	0,00 %
TG8: Vorarlberg	96,72 %	0,00 %	3,28 %	0,00 %
TG9: Wien	92,29 %	0,11 %	7,60 %	0,00 %
<b>Gesamt</b>	<b>81,49%</b>	<b>0,15%</b>	<b>17,72%</b>	<b>0,64%</b>





© Vorauer Anton

### 3.3 QUANTITATIVE UND QUALITATIVE AUSWERTUNG DES ÖSTERREICHISCHEN WALDSTRASSENNETZES

Für die Auswertung des Waldstraßennetzes wurden verschiedene Vektor- und Rasteranalysen in den Programmen ArcGIS und QGIS durchgeführt. Im folgenden Kapitel werden diese näher erläutert und die Ergebnisse dargestellt.

#### 3.3.1 DISTANZ ZUR NÄCHSTEN WALDSTRASSE

Mit Hilfe des räumlichen Analysetools „euklidische Distanz“ wurde der Abstand der Waldflächen zur nächsten Waldstraße ermittelt. Ergebnis aus dieser Untersuchung ist ein Rasterdatensatz, aus welchem die durchschnittliche und maximale Distanz zur nächsten Forststraße berechnet werden konnte (siehe Tabelle 5).

Der durchschnittliche Abstand zur nächsten Straße im

Wald oder am Waldrand beträgt für Österreich 130 m. Niederösterreich hat mit einem durchschnittlichen Wert von ca. 103 m Distanz zur nächsten Waldstraße den geringsten Abstand und Tirol mit ca. 202 m den höchsten (siehe Abbildung 19).

Der maximale Abstand zur nächsten LKW-befahrbaren Straße im Wald oder am Waldrand beträgt in Österreich 5.430 m und befindet sich in Salzburg. Den geringsten maximalen Abstand besitzt Niederösterreich mit 2.173 m. Diese Distanzwerte sind jedoch mit Vorsicht zu betrachten, da die hohen Abstände oft auch anhand von Datenlücken in den OSM-Daten erklärbar sind (siehe Abbildung 20).

Zusätzlich wurde die Waldfläche je Abstandsklasse zur nächsten Waldstraße ermittelt. Die erste Abstandsklasse beschreibt Waldflächen, die maximal 50 m von der nächsten Waldstraße entfernt sind. Die weiteren Klassen umfassen Schritte mit einem Abstand von 100 m (51-150 m, 151-250 m usw.). Dabei fällt auf, dass der größte Anteil an Waldflächen bereits innerhalb von 50 m Entfernung zur nächsten Waldstraße liegt (Abbildung 18). Die Kartendarstellung (Abbildung 21) veranschaulicht noch einmal, dass der größte Teil der österreichischen Waldflächen innerhalb von 100 m erreicht werden kann.

Tabelle 5: Statistische Auswertung Distanz zur nächsten Waldstraße

Bundesland	Waldfläche (ha)	maximale Distanz (m)	Mittlere Distanz (m)
Burgenland	121.832	2.297	110
Kärnten	515.349	2.305	113
Niederösterreich	754.418	2.173	103
Oberösterreich	469.727	2.596	132
Salzburg	285.351	5.430	176
Steiermark	927.836	3.529	110
Tirol	445.452	4.345	202
Vorarlberg	82.464	2.244	183
Wien	7.897	2.430	111
<b>Österreich</b>	<b>3.610.326</b>	<b>5.430</b>	<b>130</b>

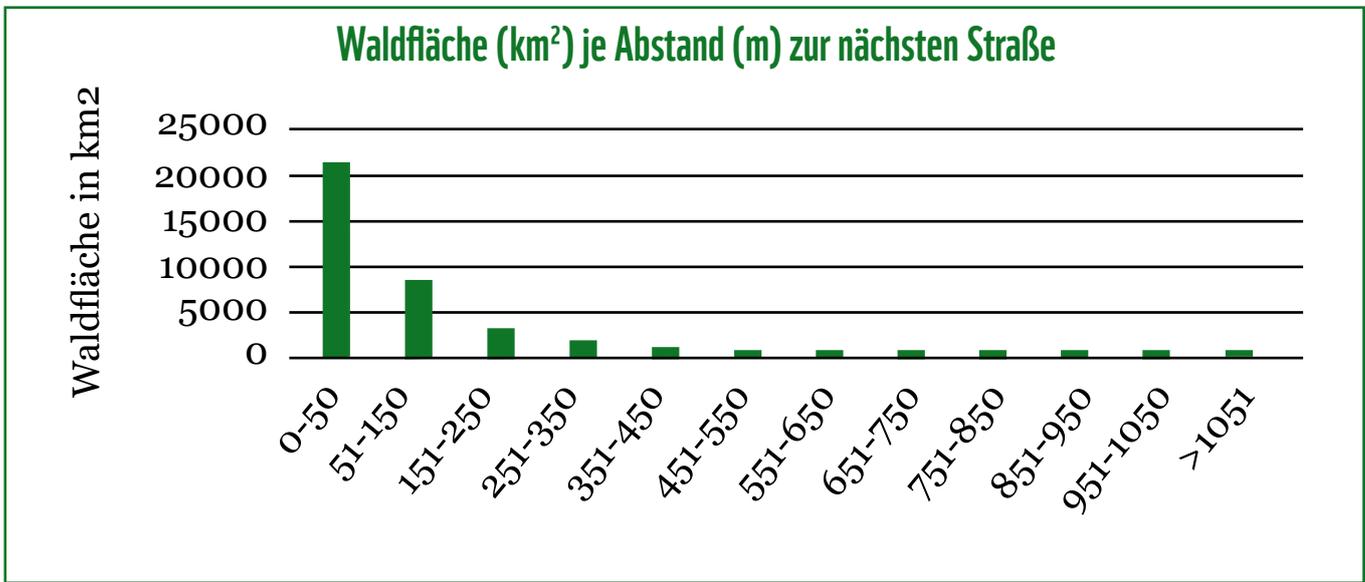


Abbildung 18: Waldfläche je Abstand zur nächsten Straße

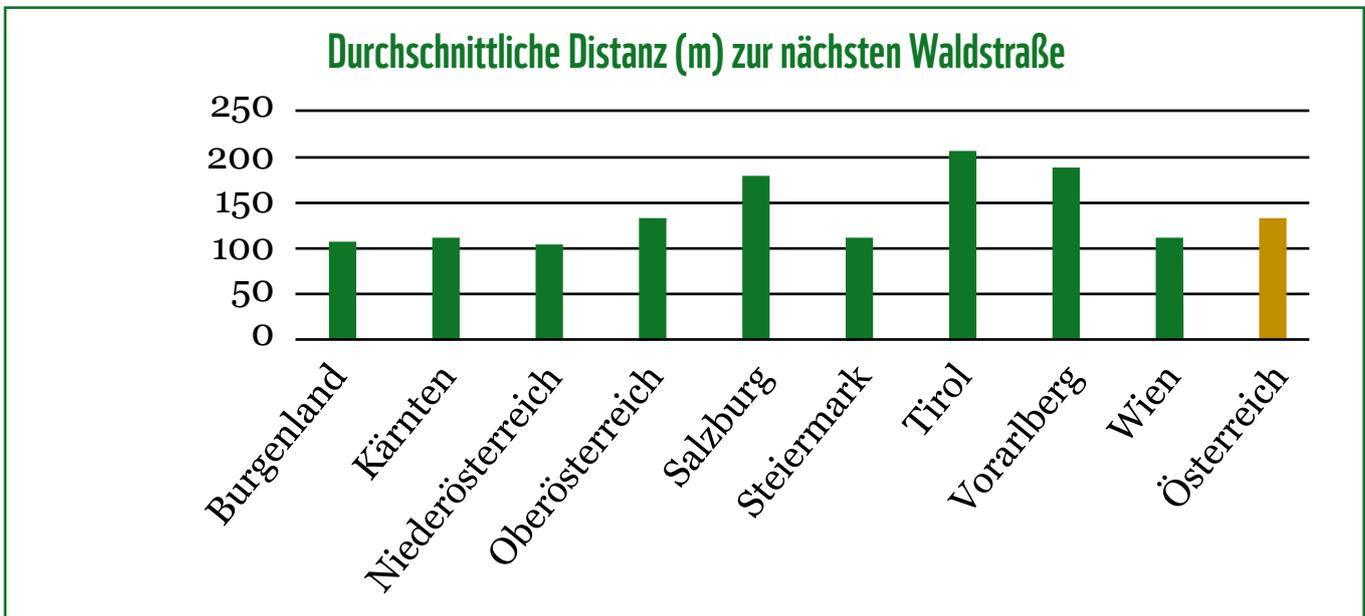


Abbildung 19: Durchschnittlicher Abstand zur nächsten Waldstraße

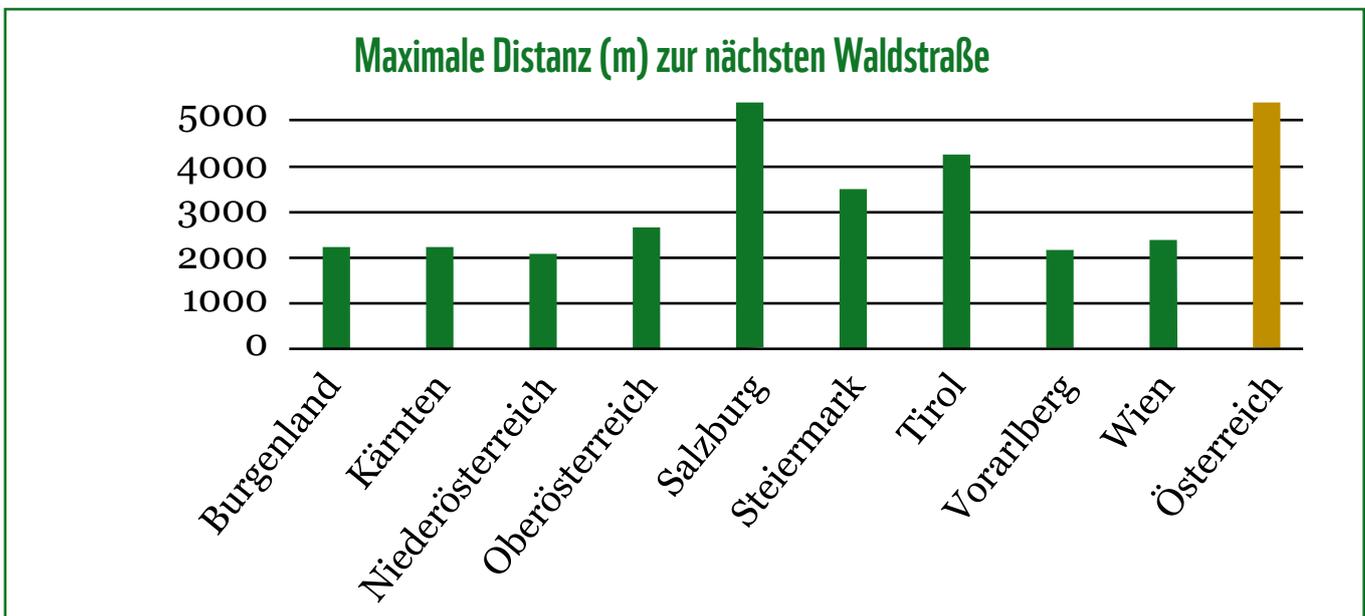


Abbildung 20: Maximaler Abstand zur nächsten Waldstraße

### Distanz zur nächsten Waldstraße

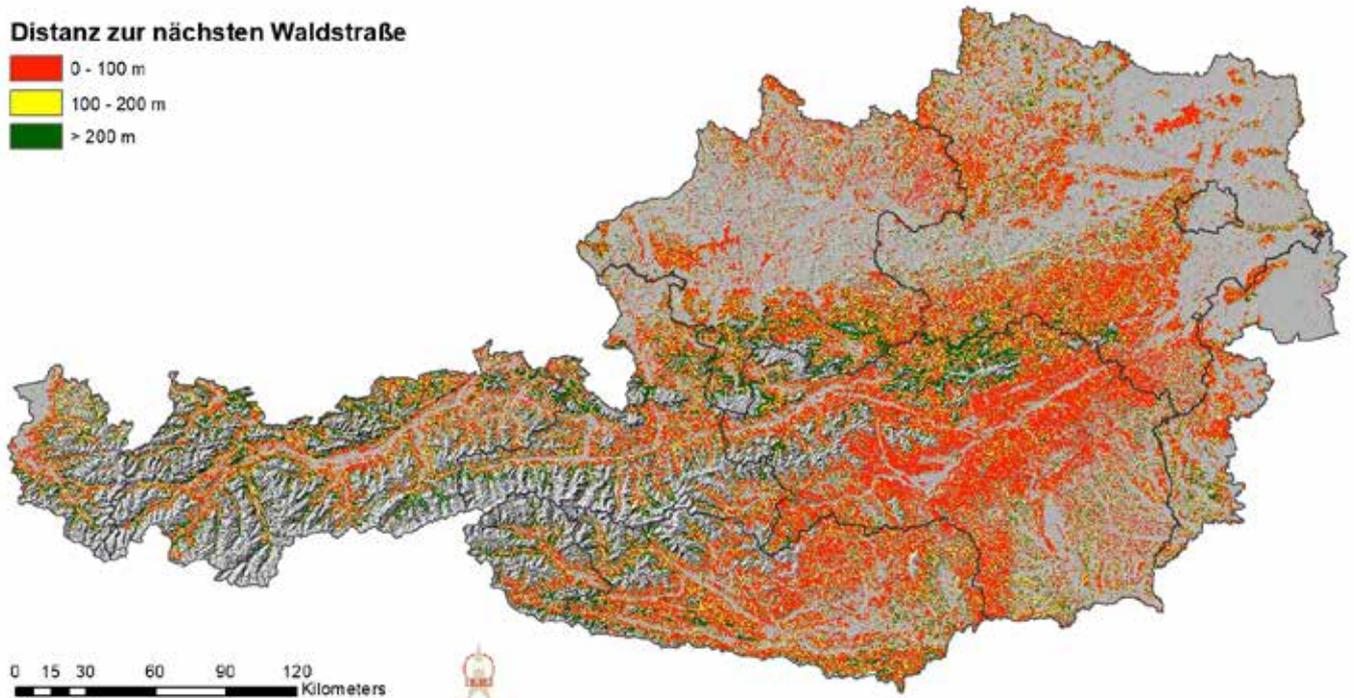


Abbildung 21: Abstand zur nächsten Waldstraße, Quellen: OpenStreetMap-Straßendaten, BEV: Waldnutzung und Verwaltungsgrenzen, Land Kärnten: DHM

Die Distanz zur nächsten Waldstraße wurde nicht anhand der Laufmeter pro Hektar ermittelt, da bei dieser Berechnungsart von einer gleichmäßigen Verteilung der Straßen ausgegangen wird. Bei der Berechnungsmethode in dieser Studie wird die räumliche Verteilung der Straßen berücksichtigt, wodurch ein genaueres Ergebnis erzielt werden kann.

Um den Einfluss der räumlichen Verteilung auf die Distanz zur nächsten Waldstraße zu verdeutlichen, wurde innerhalb einer 1 x 1 km Fläche ein regelmäßiges Straßennetz (mit 5 km Länge) eingezeichnet. Für die gleiche Flächengröße wurden 5 km Waldstraßen in ihrer natürlichen, räumlichen Verteilung untersucht. Für beide Straßennetze wurde eine Distanzkarte berechnet (siehe Abbildung 22 und Abbildung 23) und der durchschnittliche Abstand zur nächsten Straße berechnet.

Für das künstlich erzeugte, regelmäßige Straßennetz wurde eine durchschnittliche Distanz von ca. 50 m zur nächsten Straße berechnet, während die Berechnung mit dem natürlichen Waldstraßennetz eine mittlere Distanz von 86 m

zur nächsten Straße ergab. Das Ergebnis zeigt deutlich den Einfluss der räumlichen Verteilung des Straßennetzes auf den Distanzwert.

### 3.3.2 LAUFMETER PRO HEKTAR

Anhand einer Vektordatenanalyse wurden die Laufmeter Waldstraße pro Hektar Wald (lfm/ha) für alle österreichischen Bundesländer berechnet. In gesamt Österreich gibt es ca. 49 lfm/ha. Den niedrigsten Wert weist Tirol mit ca. 36 lfm/ha und den höchsten Wert Wien mit ca. 64 lfm/ha auf.

Es ist zu beachten, dass bei der Analyse der Datenqualität festgestellt wurde, dass nicht alle Waldstraßen im OpenStreetMap-Datensatz erfasst wurden. Dies könnte zu einer Erhöhung der Laufmeter pro Hektar führen, wenn die Berechnung durch einen Korrekturfaktor berücksichtigt wird.



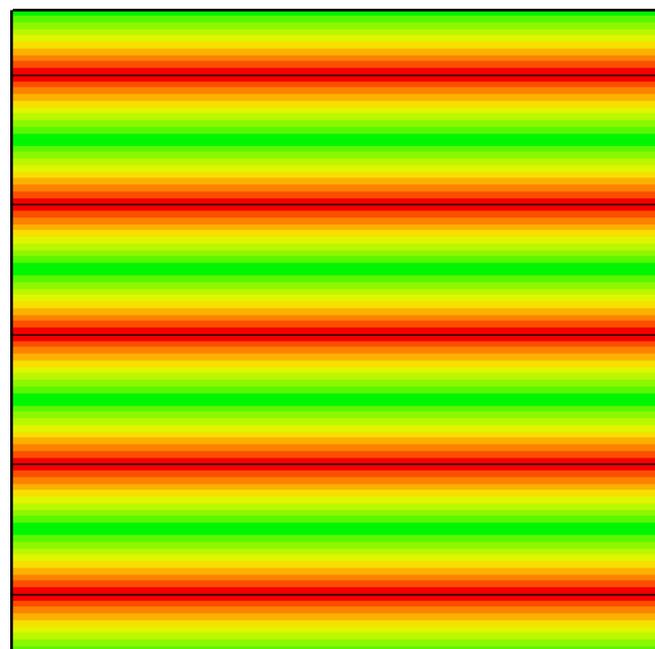
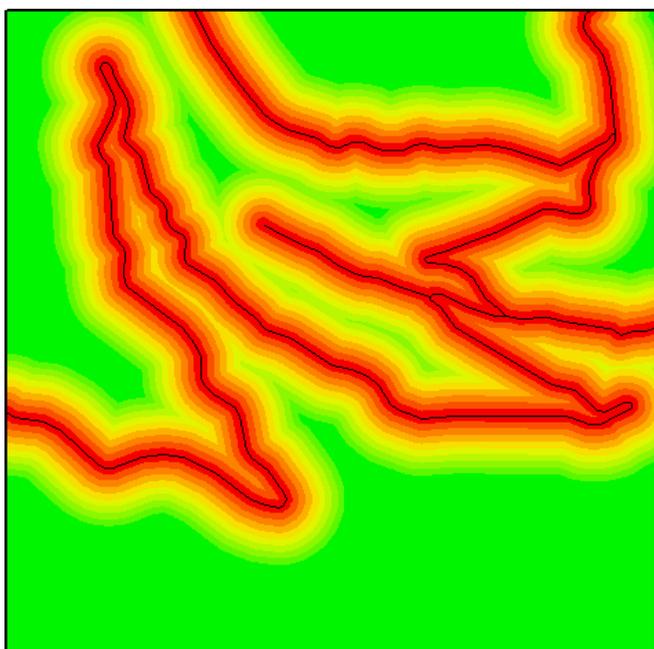


Abbildung 22: Distanzkarte – natürliche Waldstraßen

Abbildung 23: Distanzkarte – regelmäßiges Straßennetz



Tabelle 6: Laufmeter pro Hektar Waldstraße

Bundesland	Waldfläche inkl. 30m Puffer (ha)	lfm	lfm/ha
Burgenland	153.300	8.200.418	53
Kärnten	618.415	29.947.742	48
Niederösterreich	951.661	50.814.042	53
Oberösterreich	608.176	30.540.836	50
Salzburg	342.752	13.445.461	39
Steiermark	1.116.035	60.596.996	54
Tirol	550.188	19.963.027	36
Vorarlberg	112.062	4.340.701	39
Wien	10.846	693.528	64
<b>Gesamt</b>	<b>4.463.434</b>	<b>218.542.751</b>	<b>49</b>

### 3.3.3 FLÄCHE DER WALDSTRASSEN

Multipliziert man die Länge (ca. 218 Millionen Meter, also 218.000 Kilometer) der waldbezogenen Straßen mit einer (vorsichtig) angenommenen mittleren Waldstraßenbreite von 3 m, ergibt sich eine beeindruckende Fläche von 65.562 ha, die dauerhaft unbestockt bleibt (siehe dazu auch Tabelle 7 und Tabelle 8). Das entspricht ca. 1,5 % der gesamten Waldfläche Österreichs.

Aus den Daten der Hemerobiestudie (GRABHERR et al., 1998) wurden aus 1.025 Wegschnittpunkten der Straßen mit Fahrbahnbefestigungen, die Böschungsbreiten ausgewertet.

Tabelle 7: Häufigkeit der Böschungsbreiten an befestigten Straßen im Wald aus der Hemerobiestudie (GRABHERR et al. 1998)

Böschungsbreite	Häufigkeit
0-0,5 m	10 %
0,5-3 m	20 %
3-6 m	32 %
>6 m	38 %

Die mittlere Böschungsbreite (unter der Annahme, dass Böschungen > 6 m im Durchschnitt 8 m breit sind) liegt bei 5,7 m.

Basierend auf diesen Daten zu den durchschnittlichen

Böschungsbreiten wurden auch die Flächen der Straßenböschungen berechnet. Die berechnete Fläche der Straßenböschungen macht mit 124.569 ha beinahe 3 % der gesamten österreichischen Waldfläche aus.

Tabelle 8: Waldstraßenfläche inklusive Böschung Österreichs

	Lfm	Ø Breite (m)	Fläche (ha)	Anteil an Waldfläche (%)
Böschung	218.542.751	5,70	124.569	2,79
Straße	218.542.751	3,00	65.562	1,47

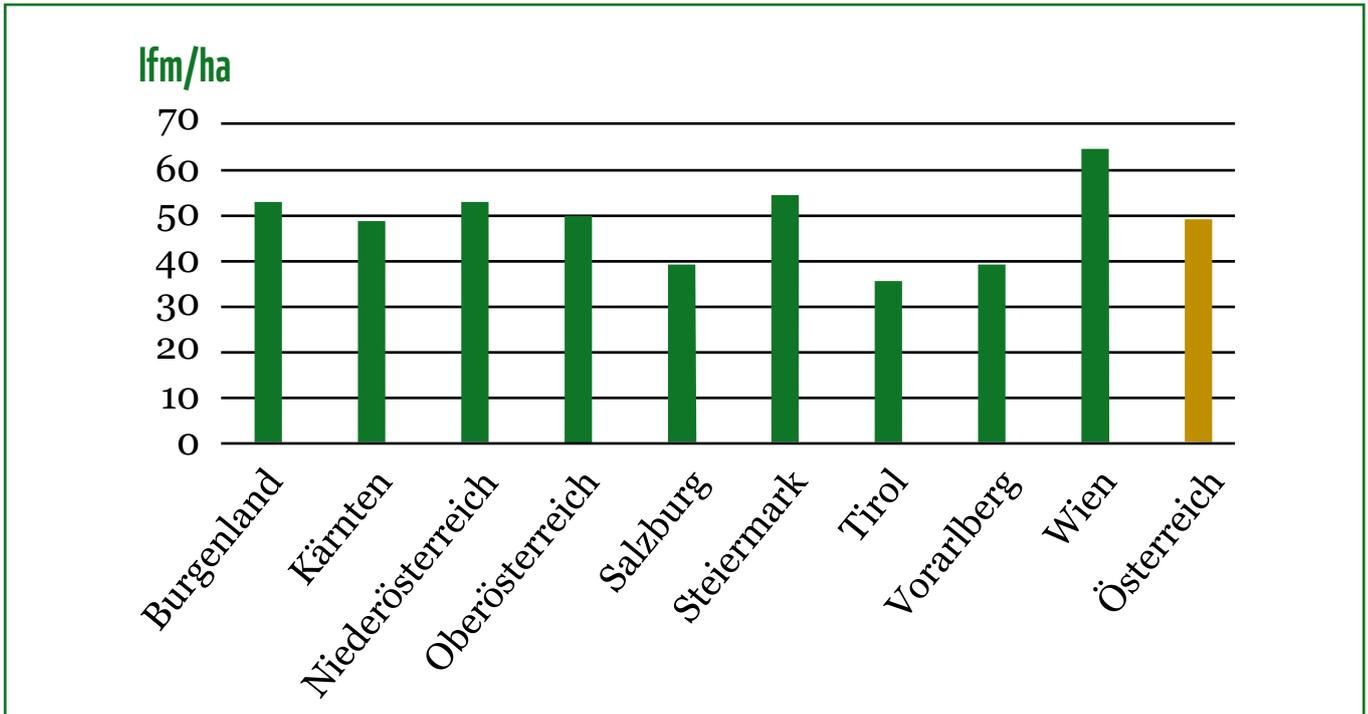


Abbildung 24: Laufmeter pro Hektar Waldstraße



Abbildung 25 gibt eine Übersicht über die Waldstraßendichte in Österreich. Eine besonders hohe Dichte an Waldstraßen ist in der Steiermark und im Nordosten Oberösterreichs erkennbar.

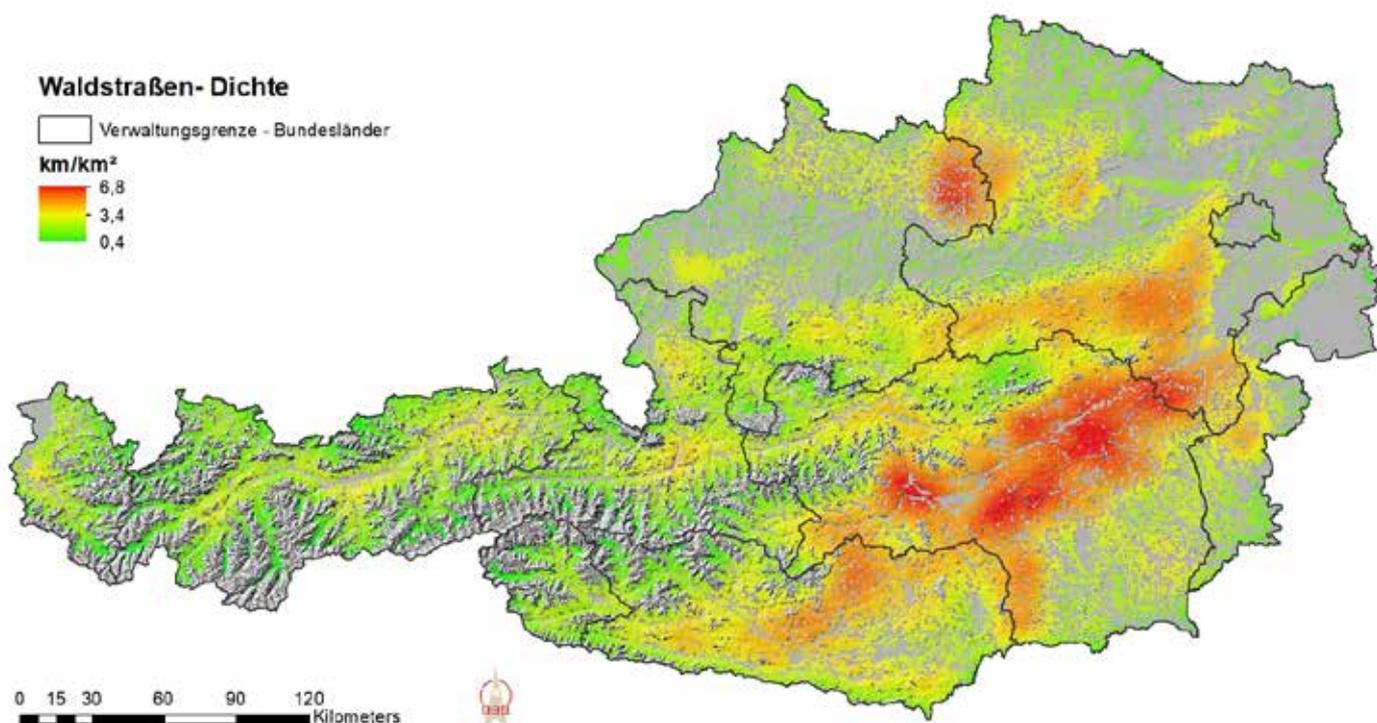


Abbildung 25: Waldstraßendichte

### 3.4 ZERSCHNEIDUNG DURCH WALDSTRASSEN

Bei der Untersuchung der entstehenden Fragmentierung des Waldes durch LKW-befahrte Straßen im Wald wurde festgestellt, dass das Straßennetz so dicht ist, dass es kaum größere nicht zerschnittene Waldflächen

in Österreich gibt. Die räumliche Analyse ergab eine maximale zusammenhängende Waldfläche von 27,6 km<sup>2</sup>. Die Waldstraßen in diesem Gebiet enden innerhalb der Waldfläche, daher entstehen keine eigenständigen Polygone, obwohl auch diese Fläche mehrmals zerschnitten ist (siehe Abbildung 26).

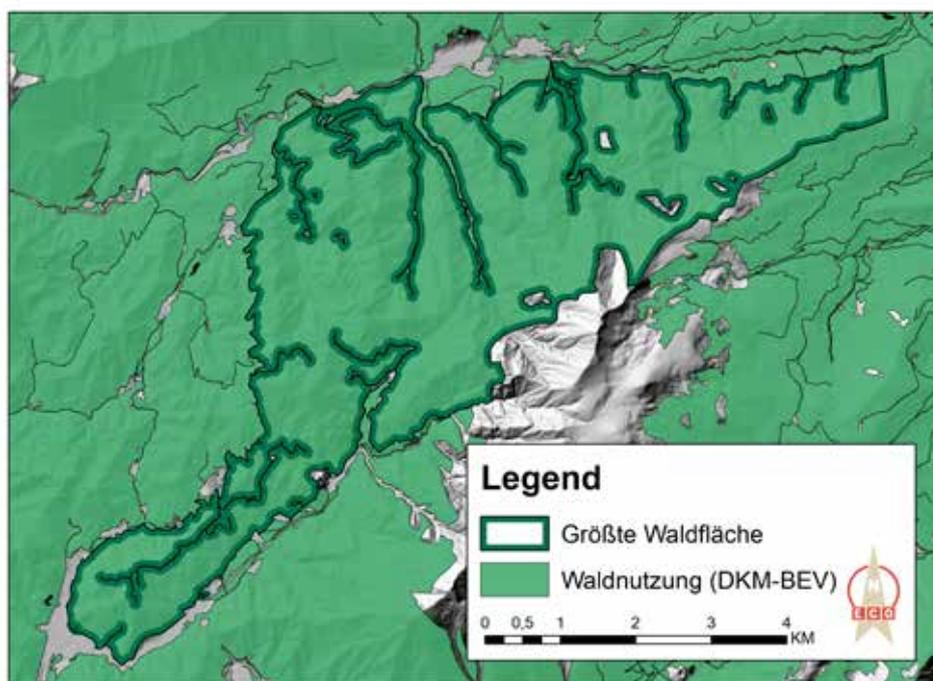


Abbildung 26: Größte „zusammenhängende“ Waldfläche, Quelle: BEV-Waldnutzung, Schummerung: BY-4.0: Land Kärnten - data.gv.at

Abbildung 27 verdeutlicht mit einem Beispiel, dass auch in dieser Waldfläche nur kleine Bereiche mit größeren Distanzen zur nächsten Waldstraße vorhanden sind.

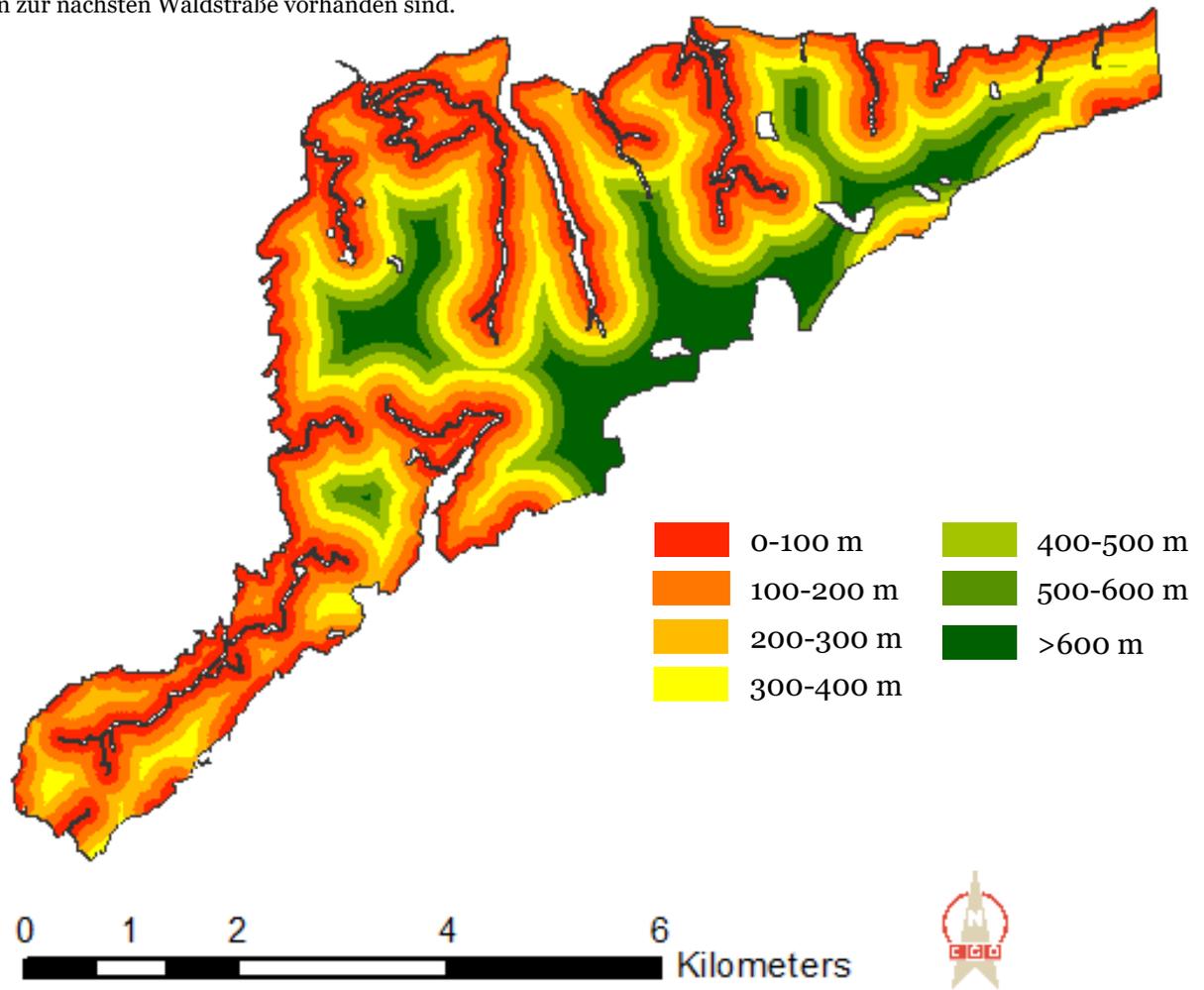


Abbildung 27: GröÙte „zusammenhängende“ Waldfläche und Distanz zur nächsten Waldstraße , Quelle: BEV-Waldnutzung

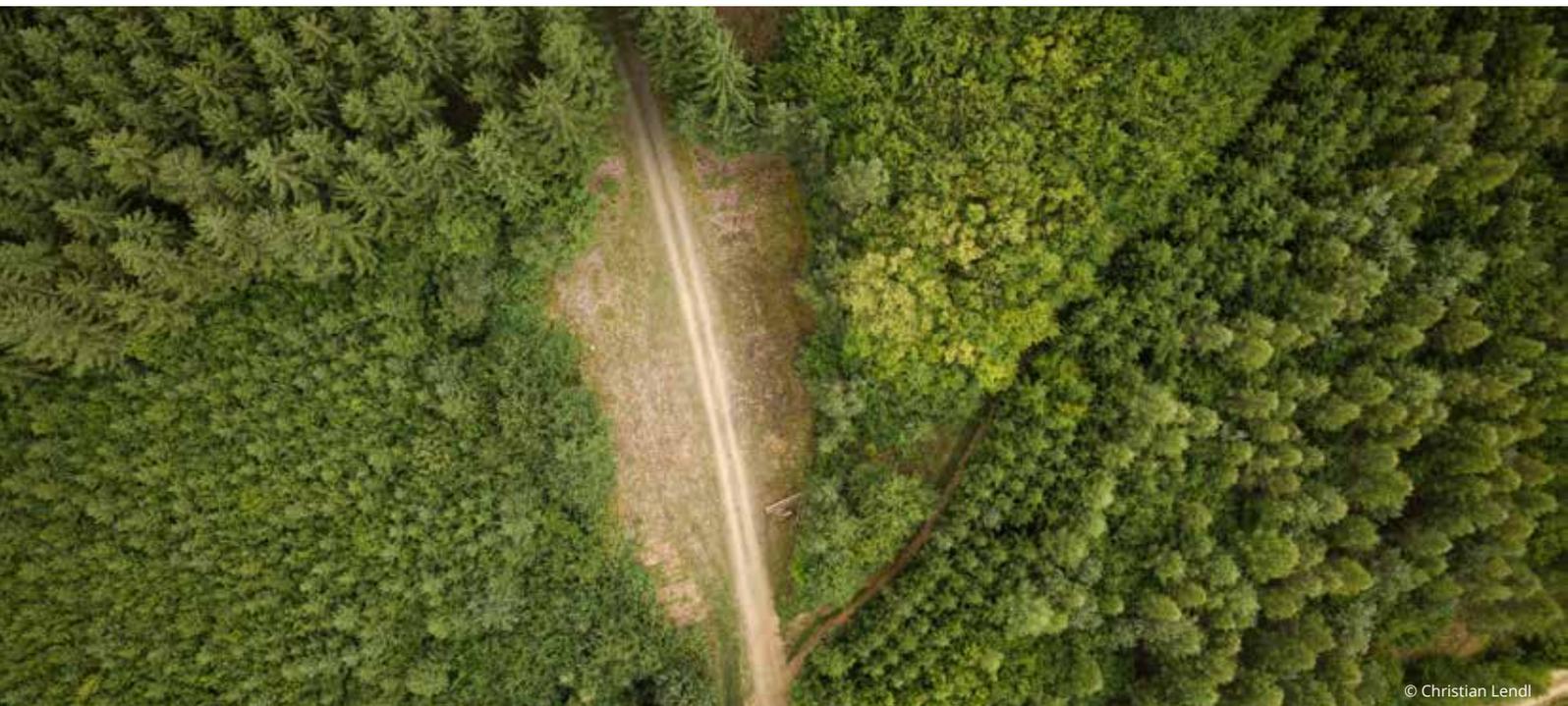


Tabelle 9: Zehn größte zusammenhängende Waldflächen, Quelle: BEV-Waldnutzung

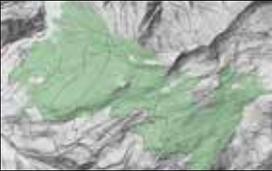
Waldfläche (km <sup>2</sup> )	Schutzgebietname	Typ	Bundesland	Geometrie
27,6	Wildalpener Salzatal	Naturschutzgebiet	Steiermark	
	Steirische Eisenwurzten	Naturpark		
21,5	Wildalpener Salzatal	Naturschutzgebiet	Steiermark	
	Steirische Eisenwurzten	Naturpark		
18,4	/	/	Niederösterreich	
14,2	Wildalpener Salzatal	Naturschutzgebiet	Steiermark	
	Steirische Eisenwurzten	Naturpark		
12,8	Ötscher-Dürrenstein	Europaschutzgebiet	Niederösterreich	
	Wildnisgebiet Dürrenstein	Naturschutzgebiet		
	Ötscher-Dürrenstein	Landschaftsschutzgebiet		
11,8	Wildalpener Salzatal Steirische Eisenwurzten	Naturschutzgebiet	Steiermark	
11,0	Wildalpener Salzatal	Naturschutzgebiet	Steiermark	
10,7	/	/	Oberösterreich	
10,2	Wildalpener Salzatal	Naturschutzgebiet	Steiermark	
10,0	Wildalpener Salzatal Steirische Eisenwurzten	Naturschutzgebiet	Steiermark	

Tabelle 9 gibt eine Übersicht über die zehn größten zusammenhängenden Waldflächen. Alle außer zwei dieser Flächen liegen innerhalb oder in der Umgebung von Großschutzgebieten in den nördlichen Kalkalpen, bestehend aus dem Wildalpeiner Salzatal, der Steirischen

Eisenwurzten und dem Wildnisgebiet Dürrenstein. Die Karte (Abbildung 28) gibt eine gute Übersicht über die räumliche Verteilung dieser Waldflächen. Mit Ausnahme einer Fläche in Oberösterreich befinden sich alle Waldflächen im Grenzbereich zwischen Niederösterreich und der Steiermark.

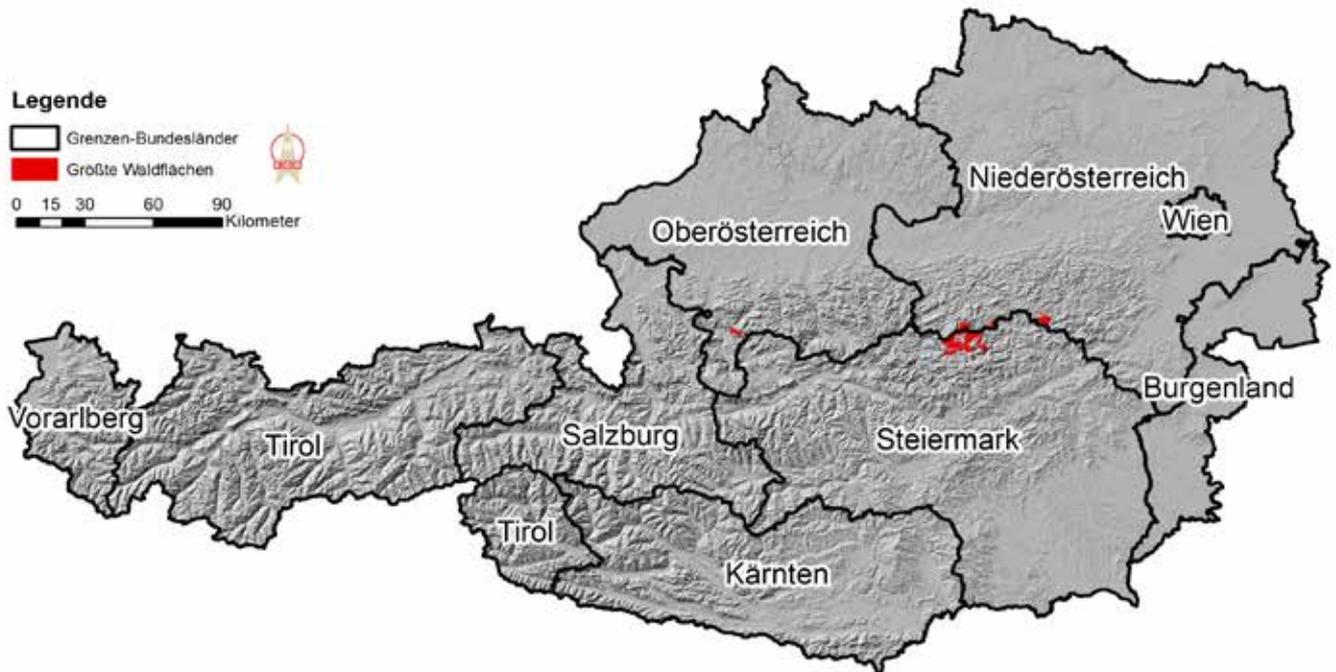


Abbildung 28: Die zehn größten zusammenhängenden Waldflächen innerhalb von Österreich, Quellen: BEV: Waldnutzung und Verwaltungsgrenzen, Land Kärnten: Schummerung



### 3.5 ZUSAMMENHANG WALDSTRASSENERSCHLIESSUNG UND HANGNEIGUNG/HÖHE

Zur Analyse des Zusammenhanges von Waldstraßen-Entfernung und Seehöhe bzw. Hangneigung wurden generalized linear models (glm) mit einer negativ binomial Verteilung verwendet.

Die Ergebnisse zeigen, dass bis ca. 1.500 m Seehöhe die durchschnittliche Distanz zur nächsten Waldstraße konstant bleibt und annähernd einen linearen Zusammenhang widerspiegelt. Ab 1.500 m Seehöhe nimmt mit der Höhe auch die Distanz zur nächsten Straße nicht-linear zu. Je höher die

Waldfläche, desto größer ist auch die Streuung der Daten (Abbildung 29a).

Selbiges gilt für die Hangneigung, wo bis ca. 40° Hangneigung eine relativ konstante Zunahme der Entfernung zur Waldstraße feststellbar ist. Bei Neigungen > 40° nimmt die Entfernung, ähnlich wie bei der Seehöhe, nicht-linear zu (Abbildung 29b). Letzteres hängt auch mit der Korrelation aus Seehöhe und Hangneigung zusammen, wobei höher gelegene Flächen durchschnittlich steiler und weiter entfernt von Straßen sind. Generell ist der Zusammenhang statistisch schwach, was sich aus der flachen Steigung der an die Datenverteilung angepassten Linie ablesen lässt. Dies lässt darauf schließen, dass es noch andere Faktoren neben Seehöhe und Hangneigung gibt, die für ein Vorhandensein von Waldstraßen wichtig sind.

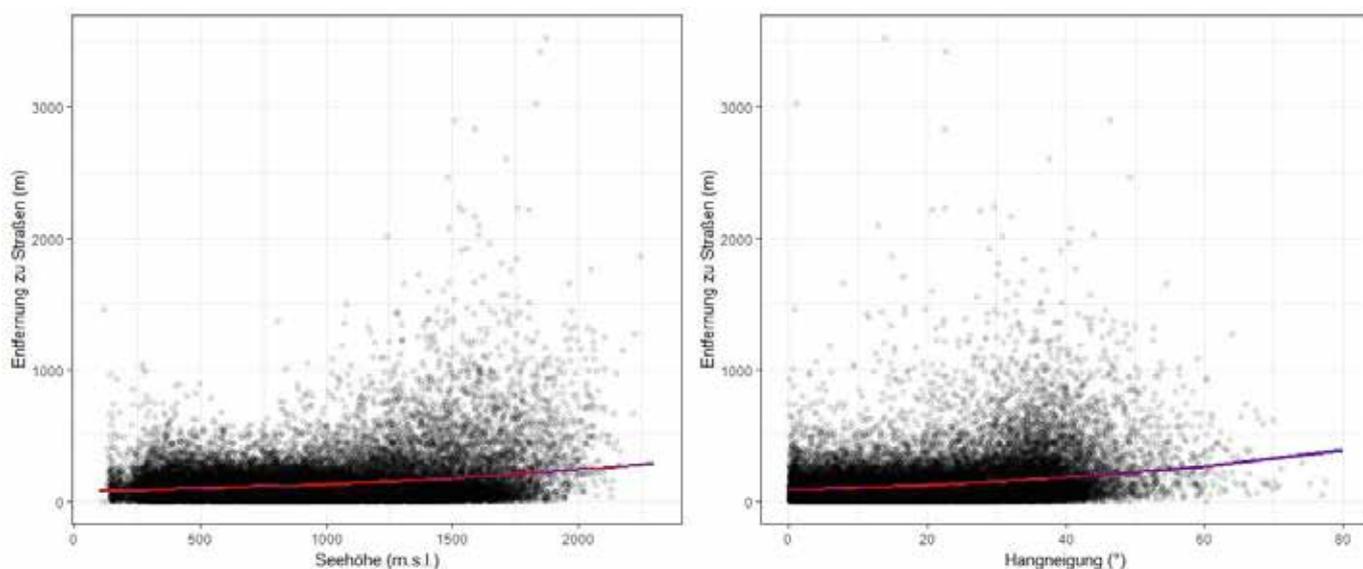


Abbildung 29: Abhängigkeit der Distanz von Waldstraßen von der Seehöhe (a) und der Hangneigung (b)

Folgende Grafik (Abbildung 30) zeigt, dass die Distanz zur nächsten Waldstraße mit steigender Hangneigung zunimmt. Ab 30° - 40° nimmt die Distanz scheinbar wieder ab. Es ist

jedoch zu berücksichtigen, dass beinahe keine Waldstraßen mehr in Waldgebieten mit einer Hangneigung von über 35° existieren.



© Christian Lendl

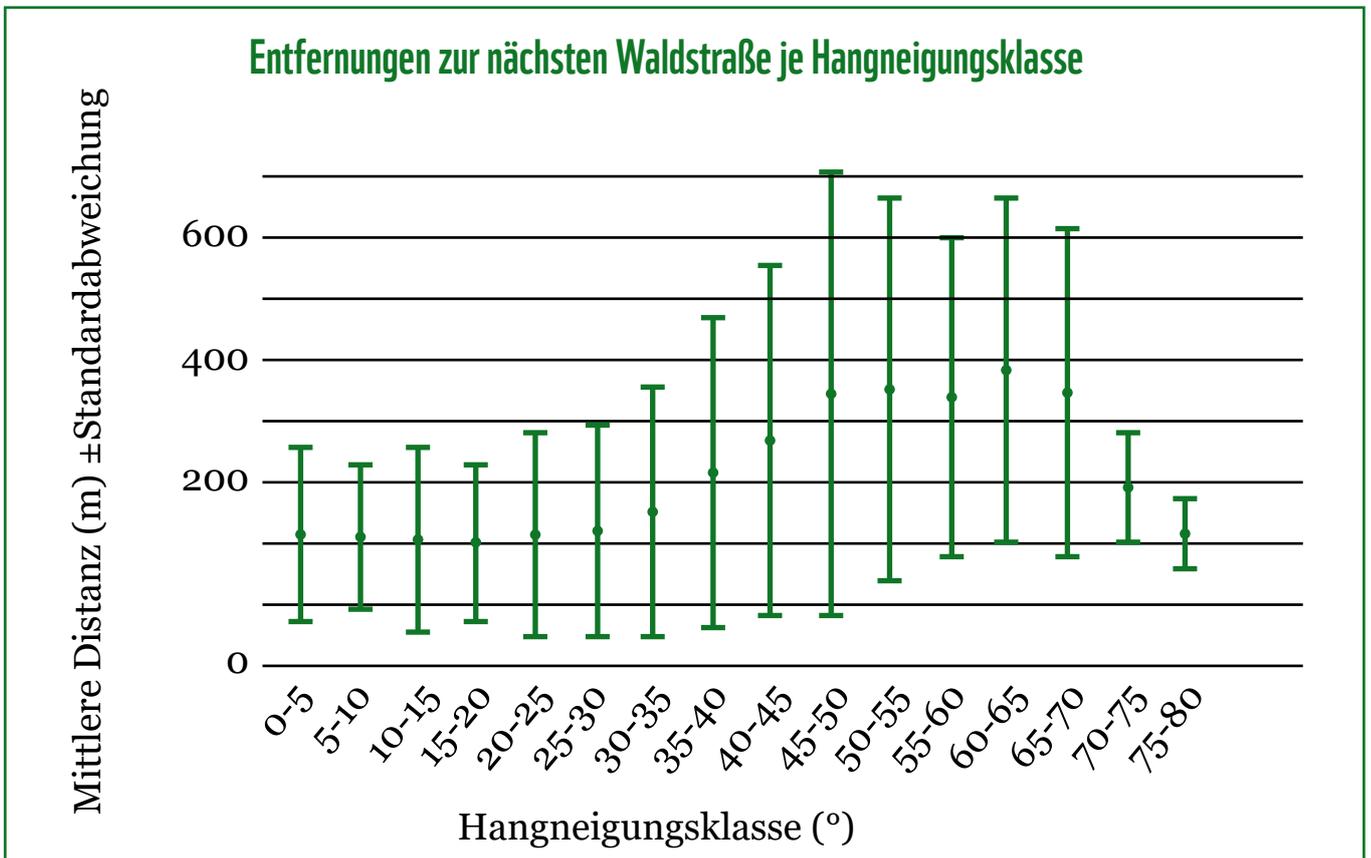


Abbildung 30: Entfernung zur nächsten Waldstraße je Hangneigungsklasse



Abbildung 31: Klippe (grauer Bereich) mit geringer Distanz zu nächsten Waldstraße

## 3.6 WALDSTRASSENERSCHLIESSUNG IN SCHUTZGEBIETEN

Es wird angenommen, dass Schutzgebiete tendenziell in schlecht zugänglichen Flächen eingerichtet werden, nämlich, wo menschliche Nutzung ohnehin erschwert ist. Dementsprechend sollten topographische Faktoren wie Seehöhe und Hangneigung in Schutzgebieten höher liegen bzw. steileres Gelände aufweisen. Daher sollten aus dem Zusammenhang aus Seehöhe und Hangneigung mit der Entfernung zu Waldstraßen dementsprechend auch die Entfernung zu Waldstraßen in Schutzgebieten größer sein. Um dies zu überprüfen, wurden Mittelwerte und Standardabweichung aller Waldflächenpixel innerhalb der fünf Schutzgebietskategorien Biosphärenpark, Landschaftsschutzgebiet, Nationalpark, Natura 2000 Gebiet und Naturschutzgebiet mit Waldflächen außerhalb von Schutzgebieten in Österreich verglichen (Abbildung 32).

Es zeigt sich, dass Waldflächen in allen fünf untersuchten Schutzgebietskategorien durchschnittlich in höheren Seehöhen liegen als Flächen außerhalb von Schutzgebieten. Dies zeigt sich auch bei der Hangneigung, die mit der Seehöhe korreliert und daher ebenso in Schutzgebietsflächen im Mittel höher ist als außerhalb. Die Entfernung von Waldflächen zu Waldstraßen in den Schutzgebieten fällt zwischen den Schutzgebietskategorien dagegen recht unterschiedlich aus. Nationalparke und Naturschutzgebiete weisen die größte mittlere Entfernung zu Waldstraßen auf. Für Nationalparke ist dies logisch, weil sie meist in sehr abgelegenen Gebieten liegen und zumindest in der Kernzone keine menschliche Aktivität zulassen. Aber auch Naturschutzgebiete sind häufig in schwer zugänglichem Gelände und dementsprechend ist dort die Entfernung zur nächsten Waldstraße höher. In beiden Schutzgebietskategorien ist das Errichten neuer Straßen weitgehend eingeschränkt. Die auffallend breite Amplitude der Standardabweichung zeigt aber, dass auch innerhalb dieser Kategorien, die Entfernungen stark variieren. Biosphärenparks und Landschaftsschutzgebiete weisen dagegen nur eine leicht höhere Entfernung zu Waldstraßen auf als Gebiete außerhalb von Schutzgebieten.

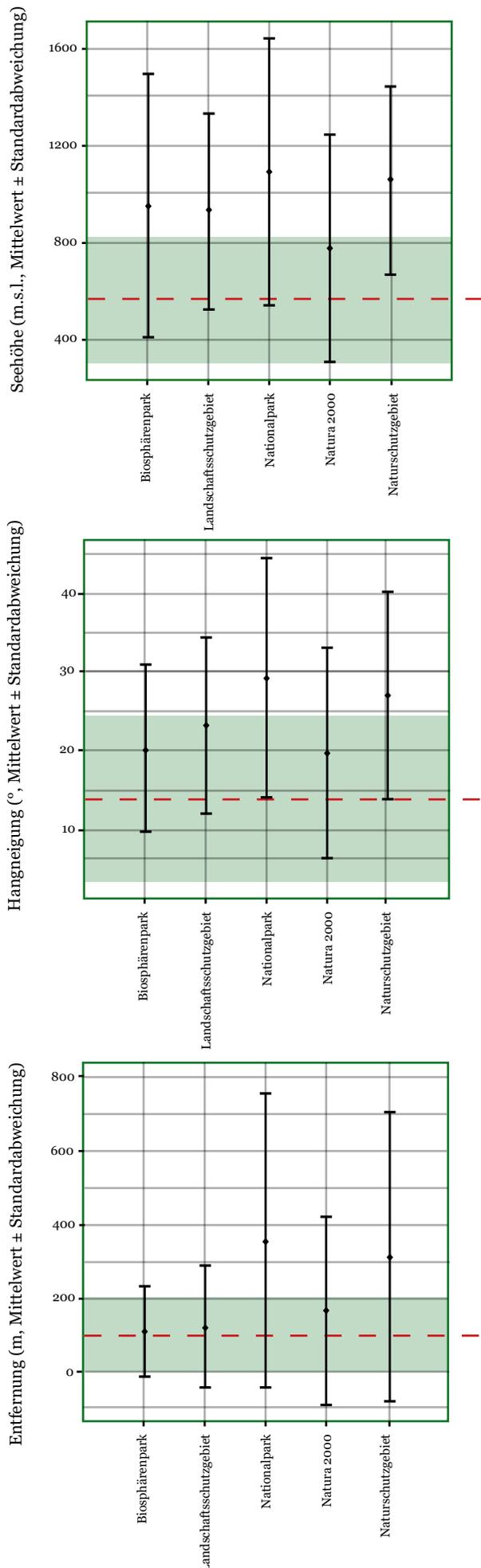


Abbildung 32: Mittlere Seehöhe, Hangneigung und Entfernung zu Waldstraßen von unterschiedlichen Schutzgebietskategorien in Österreich. Zum Vergleich sind mittlere Entfernung (rot-strichlierte Linie) und Standardabweichung (lila) von Waldflächen außerhalb von Schutz

Dies ist nachvollziehbar, da die menschliche Nutzung in den beiden letztgenannten Schutzgebietskategorien großflächig erlaubt ist. Die Natura 2000 Gebiete sind wiederum etwas abgelegener und reihen sich in etwa zwischen Nationalparke/Naturschutzgebiete bzw. Biosphärenparks/Landschaftsschutzgebiete ein. Auch hier zeigt sich wieder, dass es zwar eine klare Tendenz zu größerer Entfernung zu Waldstraßen in Schutzgebieten gibt. Es wirken aber offenbar auch andere Faktoren neben Seehöhe und Hangneigung, die damit in Zusammenhang stehen. Einen Hinweis liefern die Ergebnisse von Biosphärenpark und Landschaftsschutzgebiet, die nahe legen, dass der Grad der menschlichen Nutzung offenbar ein weiterer wichtiger Faktor ist.

Insgesamt sind jedoch die Streuung der Ergebnisse innerhalb der einzelnen Schutzgebietskategorien sehr groß, weshalb anhand der Auswertungen nicht von großen Unterschieden gesprochen werden kann.

## 3.7 VERGLEICH MIT FORSTSTRASSENDICHTE DER NACHBARLÄNDER

### 3.7.1 FORSTSTRASSENNETZ DEUTSCHLAND

Die Waldverteilung in ganz Deutschland beläuft sich laut der deutschen Waldinventur auf eine Fläche von 11.419.124 ha und einem Prozentsatz von 32 % (BUNDESMINISTERIUM and für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), 2014). Die Gesamtlänge der LKW-befahrten Straßen beläuft sich auf 371.009 km. Diese Straßen werden in drei Klassen unterteilt, nämlich in Standard LKW-Weg (178.391 km), in sonstiger LKW-Weg mit Lenkungsfunktion (100.074 km) und sonstiger LKW-Weg ohne Lenkungsfunktion (92.544 km) (NavLog -Gesellschaft für Navigation- und Logistikunterstützung, persönliche Kommunikation, 27. November 2023 ). Aus der Berechnung der Gesamtlänge der Wege und der Waldfläche ergibt sich ein Wert von 33 lfm/ha. Im bayrischen Alpenwald (Bergwald) haben LKW-befahrte Forststraßen eine Gesamtlänge von 3.289 km, was einer Wegdichte von 11 lfm/ha Wald entspricht (BAYRISCHER LANDTAG, 2020).

Die Datenerfassung der vierten Bundeswaldinventur wurde im Dezember 2022 abgeschlossen und befindet sich aktuell in der Datenauswertung .

### 3.7.2 FORSTSTRASSENNETZ SCHWEIZ

Laut der Ergebnisse der vierten Schweizer Landesforstinventur liegen rund 55 % der Schweizer Waldfläche (1,32 Mio. ha) über 1.000 m in Gelände mit mehr als 40 % Hangneigung (SCHWEIZERISCHES LANDESFORSTINVENTAR, 2020). Die Gesamtlänge der LKW-befahrten Waldstraßen (von mindestens 2,5 m Breite) beträgt 31.557 km, was einer Straßendichte von 26 m/ha entspricht. 46 % des Schweizer Waldes sind, unter der Berücksichtigung des Geländes und ihrer Befahrbarkeit, gut erschlossen. Die fünfte Schweizer Landesforstinventur (2018 – 2026) ist aktuell noch in der Datenerfassung.

### 3.7.3 FORSTSTRASSENNETZ SLOWAKEI

Die Fläche des Waldes in der Slowakei beträgt 2.025.500 ha. Die Gesamtlänge der Forststraßen belaufen sich auf 22.309,5 km. Das Wegenetz wird in drei Kategorien unterteilt, in saisonale Nutzung (3.416,9 km), ganzjährige Nutzung (9.442,8 km) und Waldzufahrtsstraßen (9.449,8 km) (NATIONALES FORSTWIRTSCHAFTS-ZENTRUM SLOWAKEI, persönliche Kommunikation, 18. Oktober 2023). Aus der Gesamtlänge der Wege und der Waldfläche ergibt sich ein Wert von 11 lfm/ha.

### 3.7.4 FORSTSTRASSENNETZ TSCHECHIEN

Die Waldfläche in der Tschechischen Republik mit einer Fläche von 2.678.804 ha nimmt stetig zu. Im Vergleich zum Vorjahr verzeichnet man 2021 einen Zuwachs von 1.475 ha (MINISTERSTVO ZEMEDELSTVI, 2021). Die Gesamtlänge der Forstwege beläuft sich auf 47.405 km. Das Waldwegenetz wird in drei Kategorien unterteilt, in saisonale Nutzung (26.150 km), ganzjährige Nutzung (12.378 km) und nominierte Waldwege (8.877 km) (MINISTERSTVO ZEMEDELSTVI, 2021). Aus der Waldfläche und der Gesamtlänge der Wege ergibt sich ein Wert von 18 lfm/ha.

Tabelle 10: Übersicht der Forststraßendichte (lfm/ha), der Straßenlänge (km) und der Waldfläche in den Nachbarländern im Vergleich zu Österreich

Land	lfm/ha	Straßenlänge km (LKW befahrbar)	Waldfläche (ha)
Österreich	49	218.543	4.463.434
Deutschland	33	371.009	11.419.124
Schweiz	26	31.557	1.320.000
Slowakei	11	22.310	2.025.500
Tschechien	18	47.405	2.678.804

# 4 BEURTEILUNG DER WIRKUNG VON FORSTSTRASSEN AUF WALDÖKO-SYSTEME

## 4.1 AUSWIRKUNG AUF DIE NATURNAHE DER WALDFLÄCHEN

Natürliche Waldökosysteme gehören in ihrer räumlichen Struktur, den Energie- und Materialflüssen zu den komplexesten Ökosystemen der Erde (WALTER and BRECKLE, 1999). Sie unterscheiden sich von anderen Ökosystemen wie Steppen, Tundren, Mooren und Sümpfen durch ihre hohe Biomasse, die in lebenden und toten Pflanzenteilen gespeichert sind (KIRCHMEIR et al., 2020). Sie sind in ihrem Bestehen nicht auf menschliche Bewirtschaftung angewiesen. Im Gegenteil, menschliche Einflüsse führen in der Regel zu einer Degradation der Funktionsfähigkeit der Waldökosysteme (KIRCHMEIR et al., 2020).

Die anthropogene Nutzung hat zu einer weitreichenden Veränderung von Waldökosystemen geführt (KIRCHMEIR et al., 2020). Naturnähe wird als ein Zustand bezeichnet, in dem

ein Wald oder andere Ökosysteme weitgehend unbeeinflusst von menschlicher Aktivität sind und die natürlichen Prozesse und Strukturen behalten. Die Hemerobie wird als die Wirkung des anthropogenen Einflusses auf ein Ökosystem bezeichnet und drückt die Belastung der Landschaft aus (LESER and LÖFFLER, 2017).

Laut der Hemerobiestudie von GRABHERR et al., (1998) sind nur 3 % des Waldes in Österreich als natürlich und nur 8 % als sehr naturnah einzustufen.

Aus der Hemerobiestudie zur Naturnähe der Österreichischen Waldökosysteme (GRABHERR et al., 1998) wurde auf einer Stichprobe von ca. 5.000 Flächen der Österreichischen Waldinventur die Naturnähe und der Erschließungsgrad erfasst. Die Österreichische Waldinventur basiert auf einem fixen Stichprobenraster. An den Schnittpunkten des Rasters liegt jeweils ein sogenannter Trakt, der aus einem Quadrat von 200 x 200 m gebildet wird. In den 4 Ecken des Quadrates liegen die





© Christian Lendl

eigentlichen Probeflächen der Waldinventur. Im Zuge der Erhebungen im Gelände wurden die Traktlinien (à 200 m) begangen und alle Weg-Schnittpunkte entlang dieser Traktlinien erhoben.

Da nicht alle Erhebungstrakte an allen vier Eckpunkten im Wald liegen, wurde die Anzahl der Wegschnittpunkte eines Traktes durch die Anzahl der erhobenen Probeflächen dividiert und damit eine mittlere Anzahl an Wegschnittpunkten je Probefläche ermittelt.

Die Analyse der Daten ergibt, dass Erschließungsdichte und Naturnähe negativ miteinander korrelieren (siehe Abbildung 33). Natürliche Waldbestände weisen im Mittel eine deutlich niedrigere Anzahl an Wegschnittpunkten entlang der zugehörigen Traktlinien auf als anthropogen überformte Bestände. Im österreichweiten Durchschnitt kann also anhand dieser Daten die Aussage getroffen werden, dass mit zunehmender Erschließung der menschliche Einfluss auf den Wald zunimmt und die Naturnähe der Waldbestände entsprechend abnimmt.

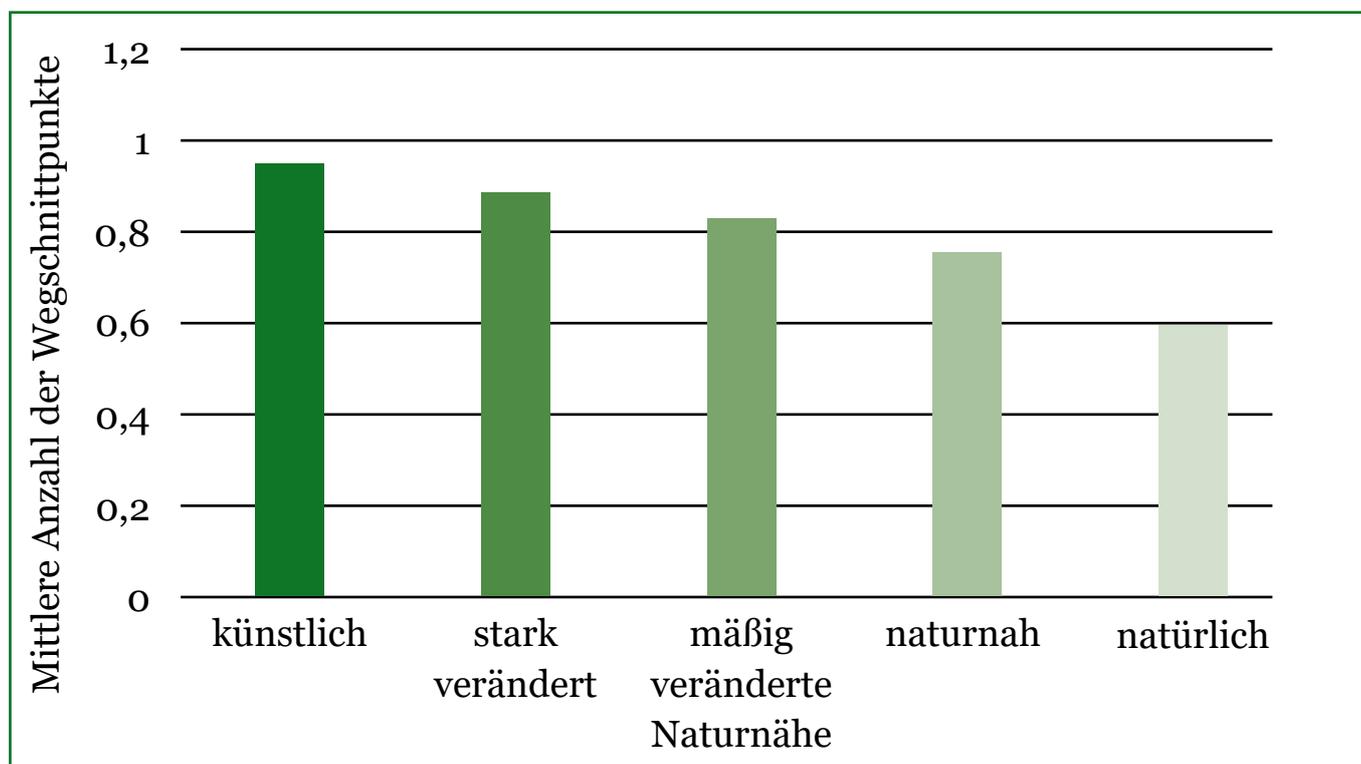


Abbildung 33: Naturnähe der Waldbestände und die mittlere Anzahl der Wegschnittpunkte je Probefläche sind negativ korreliert (Daten aus GRABHERR et. al. 1998).

## 4.2 DIREKTER VERLUST AN WALDFLÄCHE DURCH FORSTSTRASSEN

Durch menschliche Aktivitäten wie die Umwandlung von Wäldern in landwirtschaftliche Flächen und Siedlungsgebiete oder durch den Bau von Infrastrukturen, wurde bereits ein großer Anteil ursprünglicher Waldflächen gerodet. Selbst auf den verbleibenden Flächen, die gemäß dem Forstgesetz als Waldgebiete ausgewiesen sind, bleiben die Forststraßen und Holzlagerplätze dauerhaft unbewaldet, wodurch sie nicht in der Lage sind, viele der wichtigen Funktionen des Waldes zu erfüllen. Straßen und Lagerplätze führen daher direkt zu einem Verlust von Waldhabitaten, die Waldarten Lebensraum bieten und in der Lage sind, Kohlenstoff aus der Atmosphäre in Holzbiomasse zu binden.

Durch Forststraßen (ca. 65.500 ha) und ihre Böschungen (ca. 124.500 ha) in Österreich gingen insgesamt ca. 4 % der intakten Waldböden und produktiver Waldfläche verloren (siehe auch Tabelle 8, Seite 29). Diese Fläche steht als Waldlebensraum nicht mehr zu Verfügung.

## 4.3 AUSWIRKUNG AUF DAS MIKROKLIMA IN DEN ANGRENZENDEN WALDFLÄCHEN VON FORSTSTRASSEN

Durch die Öffnung des Kronendaches durch Forststraßen kommt es zu einer Beeinflussung der Lichtintensität (HAUK, 2013) und des Lokalklimas. Diese Randeffekte wirken 50 bis 100 m in das Waldinnere (KIRCHMEIR et al., 2020). Diese Auswirkungen von Verkehrswegen nehmen mit der Entfernung ab (IBISCH et al., 2016).

Eingriffe in ein bestehendes Habitat, zum Beispiel durch die Erschließung mit Straßen, führen zu einem Wandel physikalischer Faktoren. Neben den direkten Einflüssen auf der Forststraße kommt es auch zur Veränderung von mikroklimatischen Eigenschaften im benachbarten Bestand.

Abbildung 34 zeigt einen Wechsel von einem Waldgebiet mit gemäßigten Temperaturen, begrenztem Sonnenlicht und wenig Wind zu einem Ort, der stark von direkter Sonneneinstrahlung beeinflusst wird. Dieser Bereich, eine Lücke/Lichtung mit einem Randbereich, zeichnet sich durch intensive Luftzirkulation und beträchtliche Temperaturschwankungen aus (SLUITER and SMIT, 2001). Die Waldvegetation trägt maßgeblich zur Modulation des lokalen Wasserhaushalts bei, indem sie einen bedeutenden Anteil des Niederschlages über Interzeption und Transpiration direkt in die Atmosphäre zurückführt. Die Gesamtverdunstung setzt sich aus drei primären Komponenten zusammen: Interzeption, Bodenevaporation und Transpiration (vgl. ZIMMERMANN et al., 2008). Als Transpiration wird der Prozess der Verdunstung von Wasser über Spaltöffnungen der Pflanzen bezeichnet. Interzeption bezeichnet den Prozess, bei dem das Kronendach der Bäume Niederschlagswasser aufnimmt und verdunstet, noch bevor es den Boden erreicht (vgl. ZIMMERMANN et al., 2008). Wasser, welches in Form von Niederschlag nicht mehr durch die Kronenschicht zurückgehalten werden kann, gelangt auf den Waldboden. Dort erfolgt eine weitere Verdunstung, die als Bodenevaporation auf der Oberfläche stattfindet. Der verbleibende Anteil durchdringt den Boden und trägt zur Auffüllung des Bodenwasserspeichers bei (vgl. ZIMMERMANN et al., 2008). Die kombinierten Prozesse der Interzeption, Transpiration und Bodenevaporation im Wald tragen zur effektiven Klimaregulierung bei, indem sie die Feuchtigkeitsverhältnisse stabilisieren und zur Temperaturregulierung beitragen. Abbildung 34 zeigt, dass die Verdunstung im Waldbestand höher ist als in der offenen Umgebung. Dieser Unterschied lässt sich darauf zurückführen, dass die Pflanzen im Wald Wasser durch ihre Wurzeln aufnehmen und es über Transpiration in die Atmosphäre abgeben. Die schützende Vegetation im Wald, die Interzeption und Transpiration, bewirken eine ausgeglichene Temperaturregulierung im Vergleich zu den offenen Landflächen. In den offenen Bereichen, ohne die schützende Vegetationsdecke, führt die erhöhte Strahlungsintensität zu stärkeren Temperaturunterschieden und einer geringeren Transpiration (Abbildung 34). Dies

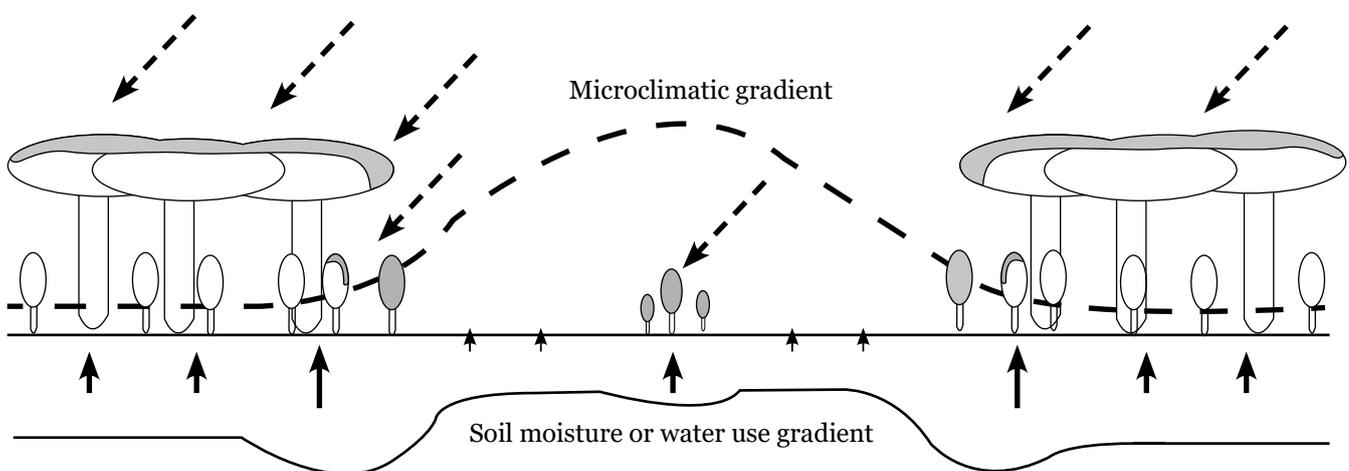


Abbildung 34: Gradient der mikroklimatischen Bedingungen (gestrichelte Linie) bzw. der Bodenfeuchtigkeit/-wasserverbrauch (durchgezogene Linie). Der graue Bereich in der Krone und der Vegetation definiert die direkte Sonneneinstrahlung (strichlierte Pfeile). Die kleinen Pfeile in der Lücke stehen für die Bodenverdunstung (SLUITER and SMIT, 2001).

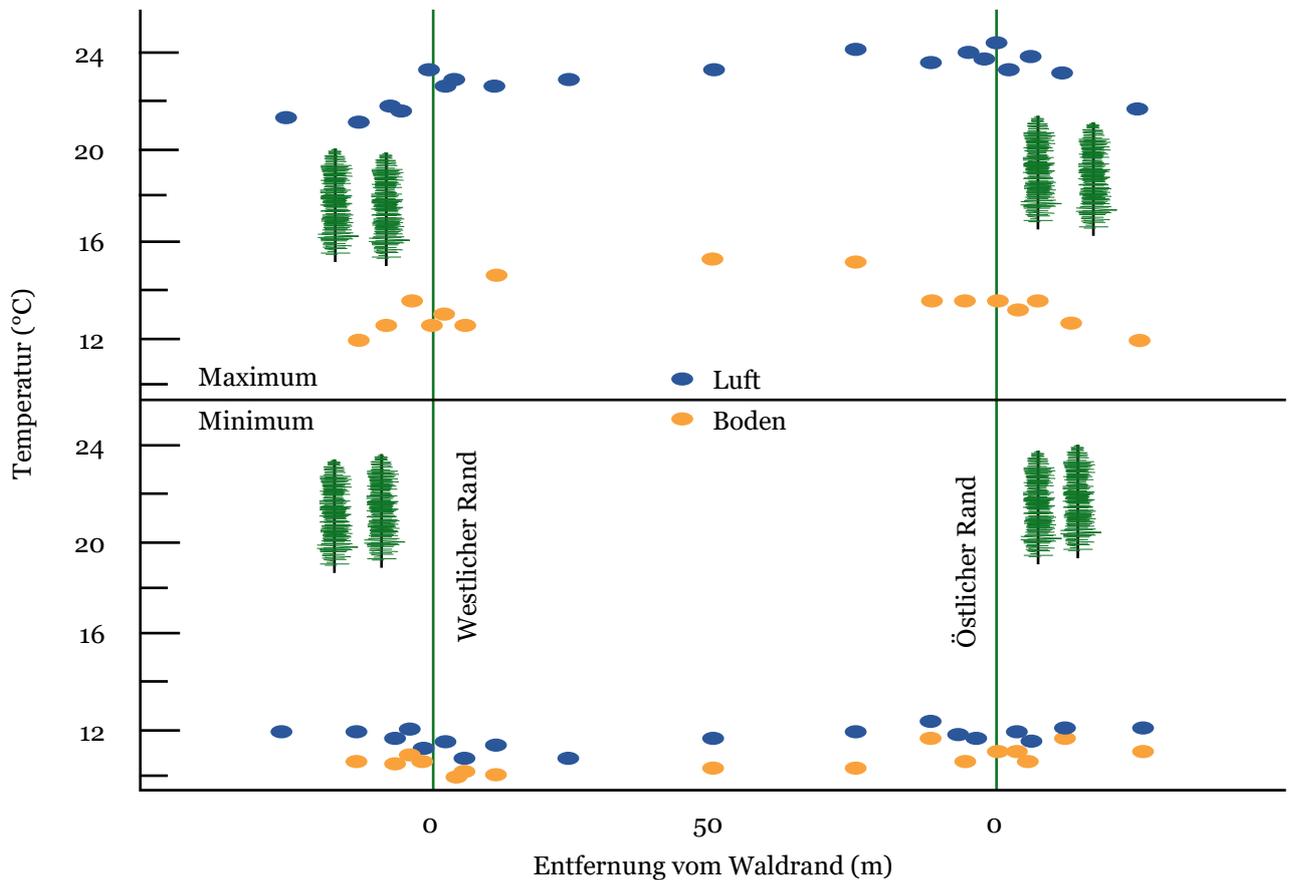


Abbildung 35: Tägliche Mindest- und Maximalwert von Boden- und Lufttemperatur an Waldflächen und ein 1 Hektar offenen Flächen (SPITTLEHOUSE et al, 2004)

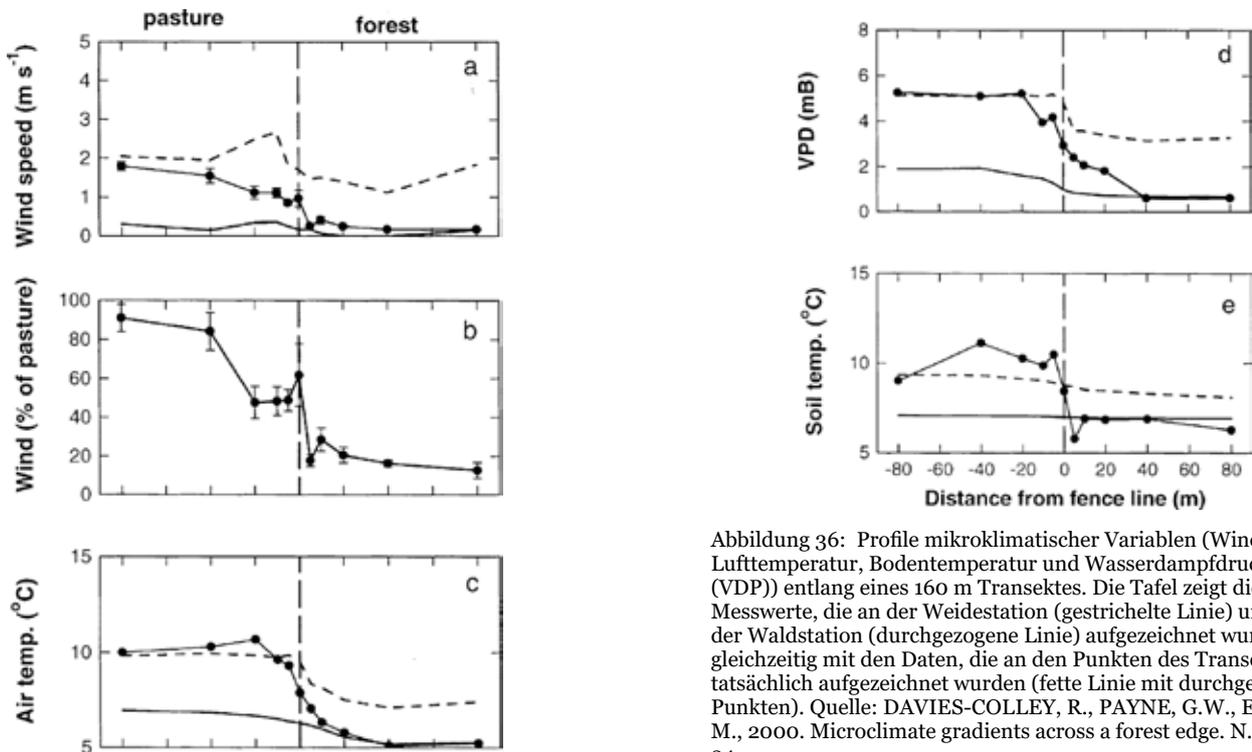


Abbildung 36: Profile mikroklimatischer Variablen (Wind, Lufttemperatur, Bodentemperatur und Wasserdampfdruckdefizit (VDP)) entlang eines 160 m Transektes. Die Tafel zeigt die Messwerte, die an der Weidestation (gestrichelte Linie) und an der Waldstation (durchgezogene Linie) aufgezeichnet wurden, gleichzeitig mit den Daten, die an den Punkten des Transektes tatsächlich aufgezeichnet wurden (fette Linie mit durchgezogenen Punkten). Quelle: DAVIES-COLLEY, R., PAYNE, G.W., ELSWIJK, M., 2000. Microclimate gradients across a forest edge. N. Z. J. Ecol. 24.

ist darauf zurückzuführen, dass in diesen offenen Bereichen wenig bis keine Vegetation vorhanden ist, wie bereits oben erwähnt. Die direkte Sonneneinstrahlung auf die Vegetation am Rand der Lücke/Lichtung sorgt für einen höheren Wasserverbrauch und eine erhöhte Verdunstung in diesem Bereich. Die höchsten Bodentemperaturen kann man auf nicht überschirmten Flächen wie Kahlschlägen, aber auch Forststraßen, Lagerplätzen und Rückegassen

verzeichnen. Zwischen Wald- und Freilandflächen kann ein Temperaturunterschied von 10 bis 15 ° Celsius auftreten (Abbildung 35) (SPITTLEHOUSE et al., 2004). Die niedrigeren Tagestemperaturen im Wald führen zu einer 5-25 % höheren Luftfeuchtigkeit im Vergleich zum Freiland (SPITTLEHOUSE et al., 2004, zitiert nach CHEN et al., 1993). Zusätzlich können Bodeneigenschaften wie Streuabdeckung, Feuchtigkeitsgehalt und Schüttdichte

ebenfalls Einfluss auf die Temperaturunterschiede haben (SLUITER and SMIT, 2001).

Die Sonneneinstrahlung hängt von der Höhe und der Belaubung der Bäume ab. Wie schon im Kapitel 2.3.1 erwähnt, muss der Kronenbereich entsprechend der Fahrbahnbreite freigehalten werden, um eine ungestörte Passierbarkeit zu ermöglichen. Der Rückschnitt der Vegetation, um die Passierbarkeit für Forstmaschinen zu ermöglichen, kann zu folgenden Beeinträchtigungen führen:

- Änderung der Sonneneinstrahlung,
- der Luftfeuchtigkeit und
- einem möglichen Anstieg der Temperaturen in diesen Gebieten

Die natürliche Transpiration/Interzeption von Blättern, die durch ein übliches hohes Verdunstungspotenzial charakterisiert sind, wird durch den Rückschnitt der Vegetation unterbrochen. Die resultierenden Veränderungen der Vegetation im Bereich der Baumkrone, aber auch die Randbereiche (Böschungen, Waldrand), können das Mikroklima stark beeinflussen.

Fläche haben einen direkten Einfluss auf das Mikroklima (SLUITER and SMIT, 2001). Sie beeinflussen die Lichteinstrahlung, Photosyntheseaktivität, Windgeschwindigkeit und die Wirkung Niederschlags (SLUITER and SMIT, 2001; SPITTLEHOUSE et al., 2004) (Abbildung 35). Diese Variablen wiederum beeinflussen die Temperatur, Luftfeuchtigkeit im Bestand und am Waldrand. Auch SPITTLEHOUSE et al. (2004) hat die Auswirkung von Öffnungen eines geschlossenen Bestandes auf das Mikroklima gemessen. Eine Öffnung mit einem Durchmesser von weniger als einer Baumhöhe hat keinen signifikanten Einfluss. Die mikroklimatischen Bedingungen sind auch stark von der Größe der freien Fläche abhängig (SLUITER and SMIT, 2001). Die Größe hat einen beträchtlichen Einfluss auf die Sonneneinstrahlung und die Lufttemperatur. Die Auswirkungen der freien Fläche ragen bis zu 100 m vom Rand ins Innere (SLUITER and SMIT, 2001).

DAVIS-COLLEY et al.(2000) stellten fest, dass die Randeffekte auf das Mikroklima schon ab 40 m in den ursprünglichen Wald hineinreichten (Abbildung 37). Dieses Ergebnis stimmt auch mit dem von YOUNG and MITCHELL (1994) überein, die die Auswirkungen der 50 m breiten Randzone, die sie aus ihren Mikroklimadaten ableiteten. Sie deuten damit an, dass eine Waldfläche unter 9 ha von den mikroklimatischen Bedingungen des Randes dominiert werden.

## 4.4 AUSWIRKUNGEN AUF DAS HYDROLOGISCHE VERHALTEN VON WALDFLÄCHEN (HYDROLOGIE)

Je dichter das Wegenetz (Straßen, Rückewege, Lager- und Umkehrplätze) in einem Waldgebiet, desto höher der Abflusswert bei Niederschlagsereignissen (MARKART et al., 2020). Die Abflusswerte einer Fahrbahn entsprechen einer Bodenversiegelung (1,0) und der verdichtete Teil des Bodens wird auf die Trägerfunktion reduziert (nach MARKART et al., 2020). Der Boden verliert die Fähigkeit, Wasser zu speichern und Schadstoffe zu filtern. Somit resultieren starke Niederschläge in einer erhöhten Abfuhr von Wasser und einer gesteigerten Gefahr der Bodenerosion.

Durch den Bau von Forststraßen und anderen Verkehrsinfrastrukturen kommt es lokal zu Bodenverdichtungen. Dadurch wird die Infiltrationsrate des Bodens deutlich verringert, was die Entstehung von Überlandabflüssen begünstigt, die ebenfalls Bodenerosion verursachen können (ZEMKE, 2016). Die Abflussraten bei Forststraßen sind bis zu 25-mal höher als auf ungestörten Waldflächen.

Der Verlust der Vegetation und die Verdichtung des Bodens führen somit zu einer Beeinträchtigung des Wasserhaushalts und der natürlichen Entwässerungsmuster und können das Ausmaß und die Häufigkeit von Überschwemmungen und Murgängen erhöhen (ROBINSON et al., 2010).

Nach WESEMANN (2017) werden die Auswirkungen des Forststraßenbaus in zwei Haupteinflüsse unterteilt:

- Die Erosion im Waldgebiet sowie der Sedimenteintrag in Gewässer;
- die Veränderung der Gerinnenetzdichte und die damit einhergehende Veränderung des Abflusses und des Wasserhaushaltes (WESEMANN, 2017).

Niederschlag und Oberflächenabfluss haben einen negativen Einfluss auf Forststraßen. Sie führen zu Abnützung, Verschleiß und einem Abbau (Sedimentverschiebung) an der Oberfläche. Daher wird ein schneller Abfluss des Wassers forciert (durch Ableitungen), um etwaige Schäden und Abtragungen an der Forststraße zu verhindern.

Eine verzögernde Wirkung des Abflusses kann man durch Förderung von Bodenvegetation erzielen (MARKART et al., 2007). Hier gilt der Grundsatz: je rauer die Oberfläche und je geringer die Bodenverdichtung, desto geringer ist der Anteil des an der Oberfläche abfließenden Wassers (MARKART et al., 2007). Sträucher und Zwergsträucher erzielen hier die besten Ergebnisse. Die raue Oberfläche reduziert und verzögert die Geschwindigkeit des Abflusses (B.F.W., 2015). Hier kann, im Gegensatz zu offenen Flächen, der stockwerkartige Aufbau (Strauch-Moosschicht, Humusaufgabe, Mineralboden) die Abflussbildung bremsen. Ein Waldbestand ohne Unterwuchs bedeutet eine höhere Abflussrate. Krautige, dichte Vegetation, wie zum Beispiel Heidelbeeren, vermindert die Abflussgeschwindigkeit drastisch (MARKART et al., 2020). Sie verfügen über die beste Infiltrationscharakteristik. Die hydrologische Wirkung der Waldvegetation, insbesondere der Zwergstrauchdecke,

liegt nicht hauptsächlich darin, den Niederschlag oder Starkregen aufzufangen – wie es oft angenommen wird. Vielmehr besteht ihre zentrale Funktion darin, die kinetische Energie des Niederschlags zu brechen und diese Energie dann über die Bodenvegetation und die Humusaufgabe abzuleiten (nach MARKART et al., 2007)

Die Humusaufgabe am Waldboden spielt eine maßgebliche Rolle in der Speicherung des Niederschlags, im Wasser- und Nährstoffkreislauf (FREUDENSCHUß et al., 2021; LANG and LUSTER, 2022). Diese ist direkt proportional zur Masse der Aufgabe. Die Humusaufgaben unter Koniferen haben in der Regel ein größeres Aufnahmevermögen als in Laubmischwäldern. Der Grad der Vorbefeuchtung spielt hier eine maßgebliche Rolle. Der Feuchtegrad zu Beginn des Niederschlags kann bei einem Wert von 20 % einen Strohdacheffekt initiieren. Ein konkretes Beispiel lässt sich aus Fichtenwäldern herleiten. Die Humusaufgabe, bestehend aus der dichten Nadelstreu der Fichten, zeigt bei trockenen Bedingungen hohe Widerstände gegen Benetzung. Dies führt bei Regen zu dem zuvor erwähnten Effekt eines Strohdachs. Dabei entsteht eine ausgeprägte Hysterese in Bezug auf die erneute Befeuchtung. Die Durchwurzelung spielt in der Wasserspeicherung ebenfalls eine große Rolle. Wurzeln sind in der Lage eine große Menge von Wasser zu speichern. Ein großer Teil des Niederschlags sickert entlang der Wurzeln in den Boden ein.

Je dichter das Wegenetz, desto höher ist die Gefahr eines starken Abflusses (insbesondere bei Starkregenereignissen). Vor dem Bau einer Forststraße sollte immer eine gründliche Überprüfung auf alternative Wege durchgeführt werden. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die regelmäßige Wartung der Straßen, besonders nach Erosion und Unwetterereignissen.

## 4.5 FRAGMENTIERUNGSEFFEKTE

Unter Fragmentierung, oder auch Zerschneidung, versteht man die Aufteilung eines Lebensraumes in kleinere Habitate, die von einem neuen Lebensraumtyp umgeben sind (vgl. KÖHLER and EGGERS, 2012). Dieser Prozess führt zum Verlust und zur Zerschneidung von Habitaten (nach VALLADARES et al., 2006). Infrastrukturen, Siedlungen und Industriebaumaßnahmen tragen dazu bei, dass Lebensräume in kleine Resthabitate zerfallen und Subpopulationen von Arten entstehen, die voneinander räumlich isoliert sind (nach KÖHLER and EGGERS, 2012). Der Rückgang der Biodiversität ist auf den Verlust der Lebensräume zurückzuführen (KÖHLER and EGGERS, 2012 zitiert nach FAHRIG, 2003). Die Zerschneidung von Lebensräumen und die damit verbundenen Auswirkungen, wie die Unterbrechung von Interaktionen zwischen den Arten, die Einschränkung der Ausbreitungsfähigkeit und der Verlust genetischer Vielfalt, stellen eine der häufigsten Ursachen für den Rückgang von Arten dar (KÖHLER and EGGERS, 2012 zitiert nach; DEBINSKI and HOLT, 2000). Der Austausch von Individuen zwischen Populationen sichert eine erhöhte genetische Vielfalt, die wiederum langfristig das Überleben der Populationen fördert (vgl. KÖHLER and EGGERS, 2012 zitiert nach FRANKHAM et al., 2010).

Die Hauptantriebskräfte hinter der Waldfragmentierung sind die Veränderungen der Landnutzung und -bedeckung

(TAUBERT et al., 2018). Aber nicht nur Straßen, auch Freiflächen beeinflussen den Waldlebensraum. Unter Freiflächen werden temporär unbestockte, nicht bewaldete Blößen (>500 m<sup>2</sup>), Lücken (30 – 499 m<sup>2</sup>) sowie freistehende Jungwüchse und Strauchflächen verstanden. Die Fragmentierungsprozesse führen zu einer Verringerung der Waldflächen, einer Zunahme der Waldränder und einer Isolierung der verbleibenden Waldflächen (LI et al., 2010). Die Veränderungen der räumlichen Strukturen führen zu Änderungen der ökologischen Eigenschaften und Deckung des Waldes, worauf Tierarten unterschiedlich reagieren (CARRANZA et al., 2015).

Die Konsequenzen des Verlustes von Waldflächen sind vielschichtig und betreffen nicht nur den Rückgang der Artenvielfalt und der Waldfläche, sondern gehen auch mit einem Anstieg der Emissionen und einer Verschärfung des Klimawandels einher. Durch die Habitatfragmentierung ergeben sich auch Randeffekte, die zu einer weiteren Verkleinerung der typischen Waldlebensräume führen (KÖHLER and EGGERS, 2012). So können sich unter anderem auf Flächen mit starken Randeinflüssen Generalisten (tolerant gegenüber schwankenden Umwelteinflüssen) etablieren und stenotope Waldarten (enge Bindung an den jeweiligen Lebensraum) auf die kleinen Kernflächen zurück drängen (KÖHLER and EGGERS, 2012 zitiert nach MAGURA et al., 2001). Die Öffnungen des Kronendaches ermöglicht direkte Sonneneinstrahlung, die zu deutlichen Veränderungen der Bodenvegetation und des Mikroklimas auf den freien Flächen führt.

Die Auswirkungen der Fragmentierung des Waldes werden in den kommenden Kapiteln ausführlich behandelt.

## 4.6 DIE AUSWIRKUNGEN VON BODENVERDICHTUNGEN

Waldboden ist ein wesentlicher Teil des Ökosystems Wald. Generell gesehen ist dieser oftmals nährstoffärmer, trockener, feuchter oder flachgründiger während fruchtbare Böden bereits früh in der Geschichte der Landwirtschaft gerodet wurden (KIRCHMEIR et al., 2020). Durch die langen Umtriebszeiten und der geringen bis nicht vorhandenen Düngung kann sich der Wald naturnah entwickeln.

Es gilt als gesichert, dass der Waldboden Lebensraum für eine Vielzahl von Arten bietet. Durch die Fähigkeit, große Mengen an Wasser aufzunehmen und zu speichern, dient er als Hochwasserschutz und ist zudem noch einer der größten Kohlenstoffspeicher (B.F.W., 2015). Auch wenn Bodenoberflächen den Eindruck von Einheitlichkeit vermitteln, können sich dennoch Unterschiede in ihren Eigenschaften zeigen (nach LÜSCHER et al., 2010). Diese Unterschiede betreffen insbesondere die Körnung, Vernässung und den Skelettgehalt des Bodens (nach LÜSCHER et al., 2010). In den letzten Jahrzehnten erfuhr die Forstwirtschaft eine zunehmend leistungsfähigere und schwerere Mechanisierung (effizientere, breiter einsetzbare Forstmaschinen), wodurch die Verdichtung des Bodens zusehends an Bedeutung gewinnt (DIENSTSTELLE LANDWIRTSCHAFT UND WALD, ABTEILUNG WALD, 2005; NEMESTOTHY, 2015). Der Grad der Beeinträchtigung

des Bodens hängt dabei mit der Breite, dem Gewicht und der Art und Auflagfläche des Fahrwerkes zusammen. Je größer die Kontaktfläche, desto besser verteilt sich der Druck auf den Boden (DIENSTSTELLE LANDWIRTSCHAFT UND WALD, ABTEILUNG WALD, 2005).

Bodenverdichtungen entstehen durch mechanische Belastungen. Diese können im Extremfall zu einer vollständigen Versiegelung des Bodens führen (MARKART et al., 2020).

In erster Linie kommt es bei einer Verdichtung zu einer Minderung des Luftanteils im Boden und einer Schädigung der Porensystems, einem Verpressen von Bodenhohlräumen (z. B. in Wurzeln und Luft in Hohlräumen) und in weiterer Folge zu einer Reduzierung der Bodenfruchtbarkeit (DIENSTSTELLE LANDWIRTSCHAFT UND WALD, ABTEILUNG WALD, 2005; LÜSCHER et al., 2010). Die Folgen der Belastung des Bodens sind eine verminderte biologische Aktivität, und der Zuwachs fällt geringer aus (nach NEMESTOTHY, 2015). Untersuchungen ergaben, dass schon bei der ersten Fahrt auf Waldboden dieser sehr stark verdichtet wird. Ein erneutes Befahren auf der gleichen Spur führt zu einer geringen zusätzlichen Verdichtung. Untersuchungen zeigten auch 25 Jahre nach unregelmäßiger Befahrung noch immer eine deutliche Beeinträchtigung des Wurzelsystems (SCHÄFFER, 2002). Verdichtungen auf sandreichen Boden sind unter Umständen sogar irreversibel (NEMESTOTHY, 2015; SCHÄFFER, 2002).

Bereits ab einer Zunahme von 10 % Bodendichte durch Belastungen kann man einen signifikanten Rückgang der Zuwachsrate feststellen (NEMESTOTHY, 2015). Untersuchungen in Pinus-Beständen, aus den Jahren 1970 bis 1990 haben belegt, dass der Rückgang des Ertrags, abhängig vom Grad der Bodenverdichtung, zwischen 13 % und 69 % des Volumenzuwachses betragen kann, wenn mehr als 10 % des Durchwurzelungsbereichs von Verdichtung betroffen sind (B.F.W., 2015; NEMESTOTHY, 2015). In ihrer Arbeit verglich MARGANNE (1997) mehrere Studien, die sich mit dem Rückgang des Wachstums von Nadelbäumen aufgrund erhöhter Bodendichte befassen. Die Untersuchungen zeigen, dass sowohl die Beschaffenheit des Bodens als auch die Baumart wesentliche Einflussfaktoren sind (vgl. MARGANNE, 1997). Eine Zunahme der Bodendichte von lediglich 10 % kann bereits zu einer um 10 % reduzierten Baumhöhenentwicklung führen.

Um eine zusätzliche Verdichtung zu umgehen, muss die Befahrung strikt nach den Feinerschließungslinien erfolgen und beschränkt bleiben. Um eine Sicherung der Straßen zu garantieren bzw. beizubehalten, müssen Wasserausleitungen und gute Versickerungsmöglichkeiten eingerichtet werden. Eine regelmäßige Pflege und Instandhaltung sollte durchgeführt werden. Die Errichtung einer Forststraße erfordert eine gründliche Überprüfung und sorgfältige Planung.

Die letzte statistische Erfassung wurde im Rahmen der Österreichischen Waldinventur 1996 abgeschlossen. 1996 waren die österreichischen Ertragswälder schon mit ca. 118.500 km LKW-befahrbaren Forststraßen durchzogen, was einer Dichte von 34,5 lfm/ha entspricht (KIRCHMEIR et al., 2020). In der Arbeit von GREUTTER et al. im Jahre

2019 wurde der Anteil der LKW-befahrbaren Straßenanlagen schon auf 45 lfm/ha geschätzt. In dieser Studie wurde ein Wert von 49 lfm/ha ermittelt, was auf eine hohe Erschließung in Österreich hindeutet.

## 4.7 VERBREITUNG VON NEOBIOTA ENTLANG VON FORSTSTRASSEN

Biologische Invasionen durch Neophyten zeigen oft anthropogene Veränderungen der Umgebung auf (KOWARIK and RABITSCH, 2010). Als Neophyten werden Pflanzenarten bezeichnet, die in einem bestimmten Gebiet nicht heimisch sind und mit direkter/indirekter Mithilfe des Menschen in dieses Gebiet eingebracht wurden (ESSL and RABITSCH, 2002; GENOVESI et al., 2012). Aufgrund ihrer speziellen Eigenschaften sind Neophyten in der Lage, sich schnell und effizient auszubreiten. Als invasiv gelten Neophyten, wenn die Verdrängung heimischer Arten belegt ist, die Struktur eines Biotoypes markant verändert wird und die Standorteigenschaften und ökosystemare Prozesse langfristig verändert werden (ESSL and RABITSCH, 2002; GENOVESI et al., 2012). Durch die schnelle und flächige Ausbreitung kommt es langfristig zu ökonomischen Einbußen im Ertrag der Landwirtschaft. Ein weiterer, bedeutsamer Gesichtspunkt betrifft die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Neophyten, wie die Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*), können aufgrund ihrer Pollenbildung starke allergische Reaktionen beim Menschen auslösen, (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, 2020). Durch die fototoxische Wirkung der Substanz Furanocumarine kann der Riesenbärenklau (*Heracleum mantegazzianum*) bei Hautkontakt starke Hautreizungen verursachen, die bis zur Atemnot führen können (SCHMIDT, 2020).

Das Südafrikanische Greiskraut (*Senecio inaequidens*) enthält den Stoff Pyrrolizidin-Alkaloide, der für Weidetiere giftig ist und Leberschäden bei Mensch und Tier verursachen

kann (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, 2020).

Vom Menschen beeinflusste Zonen/Gebiete wie Wege, Holzlagerplätze oder Aufforstungen bieten ein hohes Ansiedlungs- und Ausbreitungspotential für nicht heimische Arten, die in einem natürlichen Bestand nicht Fuß fassen könnten (in SCHACHNER, 2013; zitiert nach HARTMANN et al., 1995). Der Bau von Forststraßen führt zur Zerschneidung der Landschaft und hinterlässt zahlreiche offene, verletzte Flächen. Diese anthropogenen Veränderungen oder Störungen können Standorteigenschaften stark verändern. Die Reaktion des Ökosystems kann unterschiedlich sein. Als stabil gilt ein Ökosystem, wenn es die Änderungen/Eingriffe kompensiert oder eliminiert. Wirkt die Störung jedoch zu stark über einen langen Zeitraum, wird das Ökosystem instabil. In Folge kommt es zur Fluktuation, Sukzession oder zur völligen Zerstörung (SCHMITT et al., 2012). Die Forststraßen und deren Böschungen sind meist erhöhter Sonneneinstrahlung und Temperaturschwankungen ausgesetzt. In dieser Hinsicht bieten diese offenen, warmen Bereiche ideale Bedingungen für die Etablierung und das rasche Wachstum von wärmeliebenden Arten und Neophyten (ESSL and RABITSCH, 2002; GENOVESI et al., 2012; ÖSTERREICHISCHE BUNDESFORSTE, 2020). Die empfindlichen Arten des feucht-kühlen Waldlebensraumes erfahren durch die Öffnung der Flächen und den Temperaturanstieg einen deutlichen Nachteil (ÖSTERREICHISCHE BUNDESFORSTE, 2020).

Auch die illegale Ablagerung von Gartenabfällen an Böschungen und Waldrändern führt zur Ausbreitung von Neophyten. In der Folge können sich neue, artenarme Gesellschaften entwickeln (ÖSTERREICHISCHE BUNDESFORSTE, 2020).

Um die Etablierung der invasiven Pflanze zu verhindern oder zu minimieren, sind gezielte Maßnahmen notwendig.



## 4.8 AUSWIRKUNGEN AUF BESTIMMTE ARTENGRUPPEN

Die Trennung von Habitaten, vor allem durch lineare Elemente, ist mit Auswirkungen auf die Tier- und Pflanzenwelt verbunden. Durch die Teilung kommt es zur Zerschneidung von Lebensräumen. Auf immobile und standortgebundene Arten wirken vegetationsfreie Flächen (Forststraßen, Lagerplätze u.a.) wie eine Barriere und lösen in den meisten Fällen ein Vermeidungsverhalten aus (HERRMANN and MATHEWS, 2007). Durch die meist vegetationsfreie Erscheinung wirkt ein Verkehrsweg auf immobile, stenotope Arten wie eine unüberwindbare Barriere, welche ein klassisches Verhalten (Meideverhalten) initiieren kann.

Das Meiden von Verkehrsstrukturen zeichnet sich in geringerer Artendichte, Abnahme der Arten- und Genvielfalt und das Ausbleiben der Fortpflanzung aus (ROBINSON et al., 2010). Das Fehlen von Deckung, das veränderte Mikroklima (Klima, Wind) im Bereich der Straße sowie Änderungen der Bodenbeschaffenheit werden als Barriere-Effekte bezeichnet (ROBINSON et al., 2010). Ein Verkehrsweg führt zu erhöhtem Stress und Sterblichkeit von Waldtierarten durch die Gefahr von Prädatoren, Mitbewerber und Krankheiten (ROBINSON et al., 2010). Diese werden in ihrer natürlichen Ausbreitung und Fortpflanzung gehindert (ROBINSON et al., 2010). Die Barrierewirkung manifestiert sich in Veränderungen des Genpools bis zur kompletten Abtrennung von Populationen (HERRMANN and MATHEWS, 2007). Die Durchlässigkeit der Barriere Forststraße ist abhängig von der Fahrzeugfrequenz, der Straßenbreite und der Gestaltung der Verkehrsnebenflächen. Eine unfragmentierte Landschaft ermöglicht einen ungehinderten Genaustausch zwischen Arten durch Wanderung/Abwanderung.

Die Einflüsse von Forststraßen auf Tierarten und Ökosysteme beginnen bereits in der Bauphase und bleiben während der gesamten Betriebsphase aufrecht (HAVLICK, 2003 ROBINSON et al., 2010). Hier sorgen Rodungen, Planierungen und anderen Bautätigkeiten für Änderung der Lichtverhältnisse und der Artenzusammensetzung. Die Beeinträchtigungen bleiben aber auch noch nach der Nutzungsaufgabe bestehen (ROBINSON et al., 2010). Die Auswirkungen der Straßeninfrastruktur variieren je nach Verwendungszweck, Verkehrsaufkommen sowie den saisonalen, täglichen und wetterbedingten Zuständen (IBISCH et al., 2016; ROBINSON et al., 2010).

Arten mit einer geringen Ausbreitungsfähigkeit haben Schwierigkeiten, fremde Lebensräume zu überwinden (KÖHLER and EGGERS, 2012). Die Reaktionen auf solche Einflüsse sind artspezifisch. Die Anpassung einer Tierart an den Selektionsdruck, der durch den Bau eine Straße hervorgerufen wird, ist essenziell. Tolerante Arten, die sich leichter an neue ökologische Einflüsse gewöhnen, erweisen sich als klar im Vorteil (PROBST, 2012).

Verhaltensbiologische Untersuchungen zeigen, dass Verkehrswege durchaus eine psychische Barriere (Scheu eines Tieres) bilden, da Individuen in der Lage sind, Gefahren zu erkennen (HERRMANN and MATHEWS, 2007). Für Räuber wie Iltis (*Mustela putorius*) und Dachse (*Meles*

*meles*) sind Flächen- und Biotopverluste durch Bau von Infrastrukturen eine Ursache für Abwanderungen (MADER and PAURITSCH, 1981). Dachse (*Meles meles*) bevorzugen reich strukturierte Kulturlandschaften und entfernen sich nicht weiter als 300 m von Wäldern.

Nur für wenige Artengruppen und Arten sind die Auswirkungen von Forststraßen auf ihr Verhalten wissenschaftlich untersucht. Im Folgenden werden einige Untersuchungen aus diesem Bereich vorgestellt.

Kleinsäuger (Nagetiere, Igelartige u.a.) sind in der Lage, nach wenigen Tagen ihre Mobilitätsmuster an neue Strukturen und Mikroklimasituationen anzupassen (MADER and PAURITSCH, 1981). Forststraßen und Wanderwege nutzen nicht nur der Forstwirtschaft und der Erholungsnutzung, sondern sind auch für spezifische Tiergruppen wie Luchse (*Lynx*), Bären (*Ursidae*) Durchgangswege, um effizienter und schneller voranzukommen (DICKIE et al., 2017).

Ein klares Meideverhalten kann man anhand der Haselmaus (*Muscardinus avellanarius*) erkennen. Diese meidet eine Fortbewegung am Boden und im Offenland. Hier hemmt eine Lücke von bereits 1 m in einer Hecke eine Rückkehr von 45 % der Tiere. Bei einer Lücke von > 3 m kehrten 94% um. Die Haselmaus (*Muscardinus avellanarius*) kann aufgrund der starken Bindung an die Strauchschicht als Leitart für ökologische Vernetzung erachtet werden (HERRMANN and MATHEWS, 2007).

Für die Rötelmaus (*Myodes glareolus*) können schon schmale Straßen Barrieren bedeuten und zur Einschränkung ihrer Ausbreitung führen (IN GLITZNER et al., 1999; zitiert nach BAKOWSKI and KOZAKIEWICZ, 1988). Der Barriereeffekt ist jedoch nicht groß genug, um den Individuenaustausch zwischen den beiden Straßenseiten komplett zu verhindern (KORN and PITZKE, 1988). Kleine Nager sehen offene Flächen (ab 20 m) als signifikante Barriere (RICHARDSON et al., 1997).

Für die Gelbhalsmaus (*Apodemus flavicollis*) kann eine Forststraße eine Barriere darstellen (MADER, 1984). In der Arbeit von BAKOWSKI und KOZAKIEWICZ, wurden Individuen gefangen und umgesetzt. Diese querten die Forststraßen aber häufig (in GLITZNER et al., 1999; zitiert nach BAKOWSKI and KOZAKIEWICZ, 1988). Somit kann hier von keinem vollständigen Barriereeffekt gesprochen werden.

Amphibien mit Laichplatzprägung wie Erdkröte (*Bufo bufo*), Grasfrosch (*Rana temporaria*) oder Springfrosch (*Rana dalmatina*) sind aufgrund von ethologischen Schranken nicht in der Lage, nach dem Verlust des Brutplatzes andere Gewässer aufzusuchen (GLITZNER et al., 1999). Die jährlichen Wanderungen zu den Laichplätzen resultieren oftmals in einem erheblichen Einfluss auf die Mortalität. Somit kann es zu Ausfällen von ganzen Populationen kommen. Diese Routen kreuzen oft Straßen und andere menschliche Infrastrukturen (FAHRIG et al., 1995). Da die Fahrfrequenz auf Forststraßen aber vergleichsweise gering ist, ist hier nur mit geringen Ausfällen zu rechnen.

Die natürlichen Lebensräume der Gelbbauchunke (*Bombina variegata*) sind unter anderem feuchten Wälder, Auengebiete und Rutschgebiete. Zur Fortpflanzung dienen temporäre

Lacken auf Forststraßen oder Wagenspuren (GLANDT, 2018). Diese dienen als Ersatz für die ursprünglichen Habitate in Flussauen. Die Vermehrung geschieht in kleinen Tümpeln, die sich schnell erwärmen und einen geringen Druck durch Prädatoren haben (SCHRELL and DIETERICH, 2023). Die Gelbbauchunke (*Bombina variegata*) und der Bergmolch (*Ichthyosaura alpestris*) erfahren eine deutliche Beeinträchtigung durch den Verlust von Laichgewässern und Fahrrinnen durch den Forststraßenausbau (FELDMANN, 1974; KUHN, 1983).

Die gefleckte Schnirkelschnecke (*Arianta arbustorum*) wurde in mehreren Studien untersucht. Infrastrukturen mit einer Breite von 8 m haben auf Schnirkelschnecken einen gewissen Barriereeffekt, jedoch gibt es Individuen, die einen 3 m breiten Weg überqueren (GLITZNER et al., 1999 zitiert nach BAUR and BAUR, 1990; MARTIN and ROWECK, 1988).

Wie schon in Kapitel 4.5 erwähnt, kommt es durch die Fragmentierung von Lebensräumen zu einer starken Zunahme von Randeffekten. Hier kann es in Flächen mit starken Randeinflüssen zu einer Zunahme der Generalisten unter den Laufkäferarten kommen, im Gegensatz dazu sinkt die Anzahl der stenotopen, ortsgebundenen Waldarten (MAGURA et al., 2001). Diese wandern in das beschattete Waldesinnere ab.

Für den Tribus der Raufußhühner (*Tetraonini*) sind Forstwege in der Regel attraktiv, da kein Flughindernis und ein erhöhtes Nahrungsangebot vorliegen. Der geradlinige Charakter von Verkehrsstrukturen bringt aber auch Nachteile, da dieser für die Jagd von Greifvögel und anderen Prädatoren vorteilhaft ist (REIMOSER and HACKLÄNDER, 2014).

## 4.9 FAHRBAHNRÄNDER - EIN SONDERHABITAT?

Entlang von Forststraßen können sich auch wertvolle, sekundäre Lebensräume entwickeln (BRUNNER et al., 2020). Diese ungedüngten und extensiv genutzten Flächen sind in der intensiv bewirtschafteten Kulturlandschaft selten geworden (KIRCHMEIR et al., 2020). Somit bieten solche Flächen wertvolle Rückzugsorte für Tier- und Pflanzenarten. Nach JEDICKE and JEDICKE (1992) können „Naturstraßen“ im Einzelfall als ökologisch bedeutende Landschaftselemente mit Schutzwert angesehen werden. Obwohl sie als biotopfremd betrachtet werden, integrieren bestimmte Tierarten (Kleinsäuger, Tagfalter, Wirbellose) diese Straßen in ihren Lebensraum. Die abstrahlende Wärme des Bodens und die vermehrte Verfügbarkeit von Nahrung (Insekten) schaffen attraktive Lebensräume für Reptilien und andere Wirbeltiere entlang von Naturstraßen (GLITZNER et al., 1999).

Tierarten mit geringen Lebensraumansprüchen (u. a. Kleinsäuger) etablieren sich an Fahrbahnstreifen. Die Familie der Wühlmäuse (*Arvicolinae*) und der Feldhamster (*Cricetus cricetus*) leben teilweise in isolierten Kleinflächen mit größtmöglicher Deckung und genügend Versteckmöglichkeiten (HERRMANN and MATHEWS, 2007). Auch die Gefahr von bodenlebenden Prädatoren ist

geringer, da diese oftmals ein größeres Gebiet benötigen und abwandern. Viele Arten nutzen Straßenränder zur Nahrungsaufnahme, als Nist- und Brutplatz (BRUNNER et al., 2020). Diese werden aber drastisch durch regelmäßige Pflegemaßnahmen (Mahd, Schnitтарbeiten) gestört. Andere Säugetierarten wie Fuchs (*Vulpes vulpes*), Igelartige (*Erinaceidae*) und marderartige Säugetiere nutzen diese linearen Bereiche (Fahrbahnrand, Böschungen) zur Jagd (GLITZNER et al., 1999) und Fortbewegung (LEBLOND et al., 2013).

Fahrbahn­ränder weisen oft ein maximales Ressourcenangebot mit hoher Artenvielfalt auf. Diese können auch für viele Tierarten als Korridore und Verbindungen zu anderen Habitaten fungieren (GLITZNER et al., 1999). Oft sind es Trockenstandorte, die Lebensräume für viele Arten bilden können. Die sonnigen und wärmegetönten Flächen von Fahrbahnen und -rändern locken eine Vielzahl von Reptilien an.

Durch den Straßenbau kommt es zu einer gesteigerten Wärmeentwicklung und einer optimalen Umgebung zur Thermoregulation (nach GLITZNER et al., 1999). Dadurch suchen wechselwarme Reptilien häufig solche Bereiche auf, sind hier aber auch erhöhten Gefahren ausgesetzt.

Verkehrswege können, wie schon in Kapitel 4.8 erwähnt, ein Abwandern oder das Aussterben einer Population bedingen, aber auch Besiedelungen neuer Lebensräume verhindern. Diese Barrieren können als Grenzen fungieren und eine genetische Isolation bedingen (FAHRIG et al., 1995).

Wie schon zuvor festgestellt, können Straßenränder aber auch eine hohe Artenvielfalt aufweisen und positive Effekte hervorbringen (BRUNNER et al., 2020). Diese fungieren aber nur als Ersatzbiotope und können die Artenvielfalt des Waldes keinesfalls ersetzen. Eine Vielzahl an Tiergruppen sind eng an natürliche Wälder und ihre Strukturvielfalt gebunden (FLADE et al., 2004; WINTER et al., 2016). Solche Arten, die stark von einer dichten Krautschicht als Unterschlupf abhängig sind, tendieren dazu, auch die Überquerung der ruhigeren und vegetationsfreien Forststraßen zu meiden (GLITZNER et al., 1999). Durch die Entnahme von Deckungsstrukturen (Kraut-, Strauchschicht) verlieren diese ihren Lebensraum. Die natürliche Kontinuität und Konnektivität des Ökosystems Wald wird durch den Bau und den Erschließungsgrad der Forststraßen gestört.

# 5 ZUSAMMENFASSUNG UND EINORDNUNG

**Österreich hat ein im internationalen Vergleich dichtes Forststraßen-Netz, das in den vergangenen Jahrzehnten massiv gewachsen ist. Der hohe Erschließungsgrad ermöglicht zwar eine praktisch flächendeckende forstliche Bewirtschaftung der Waldflächen, hat aber einen signifikanten Verlust an mit Bäumen bewachsener Fläche zur Folge. Weiters führt die Erschließung zu einer gesteigerten Nutzungsintensität und einem Verlust von naturnahen und natürlichen Waldbeständen. Dieser Effekt führt zu negativen Folgen für die Biodiversität und Integrität der Wälder. Die direkten (Verlust an mit Bäumen bestockter Fläche) und indirekten Folgen des Forststraßen-Ausbaus (Nutzungsintensivierung) reduzieren die Klimaschutz-Wirkung der österreichischen Wälder, insbesondere ihre Fähigkeit Kohlenstoff der Atmosphäre zu entziehen und im Wald zu speichern.**

Österreich besitzt ein sehr dichtes Waldstraßennetz mit einem durchschnittlichen Abstand von 130 m zur nächsten Straße im Wald oder am Waldrand. Die Berechnung des aktuellen Erschließungsnetzes der Waldstraßen in Österreich ergibt einen Wert von ca. 49 lfm/ha. Wobei die Analyse der Datenqualität (OpenstreetMap Daten) ergab, dass die Daten teilweise Lücken aufweisen und die „realen“ Laufmeter pro Hektar noch höher anzunehmen sind.

Die Laufmeter Waldstraße pro Hektar Wald in Österreich sind deutlich höher als jene der Nachbarländer. Eine Ursache dafür kann die geringere Bewirtschaftungsintensität in den Nachbarländern sein, aber auch anderen Bewirtschaftungskonzepten geschuldet sein. Zu berücksichtigen ist, dass die Analyse der Nachbarländer auf einer Literaturrecherche und gezielter Kontaktaufnahmen mit den zuständigen Abteilungen der Länder und Fachexperten basiert. Eine Berechnung der lfm/ha mit der gleichen Methode wie in dieser Studie könnte ein anderes Ergebnis liefern. Die Berechnungen der einzelnen Ergebnisse sind nicht anhand der gleichen Methodik erfolgt und dienen daher nur einem groben Vergleich zwischen den einzelnen Staaten, der aber aufgrund der großen Unterschiede im Umfang und Ausbau des Straßennetzes ein gültiges Bild ergibt.

Bei der Analyse des Waldstraßendatensatzes wurde erwartet, dass mit steigender Hangneigung und Seehöhe auch das Waldstraßennetz an Dichte abnimmt. Im Gegensatz zu den Erwartungen wurde kein starker Zusammenhang zwischen Distanz zur nächsten Waldstraße und Hangneigung bzw. Seehöhe festgestellt.

Die Untersuchung der Dichte des Waldstraßennetzes in Schutzgebieten ergab geringfügig unterschiedliche

Ergebnisse je nach Schutzgebietstyp. Nationalparke und Naturschutzgebiete weisen die größte mittlere Entfernung zu Waldstraßen auf. Obwohl diese Schutzgebiete meist in höheren und steileren Lagen liegen, hängt die geringere Waldstraßendichte nicht an diesem Faktor. Eine Erklärung für die geringere Dichte des Straßennetzes könnte sein, dass in Naturschutzgebieten und auch in der Kernzone von Nationalparks keine menschlichen Aktivitäten/Eingriffe erlaubt sind. Biosphärenparks und Landschaftsschutzgebiete weisen dagegen nur eine leicht geringere mittlere Wegedichte auf als Gebiete außerhalb von Schutzgebieten. In diesen Schutzgebietstypen ist aber auch menschliche Nutzung auf großen Flächen erlaubt. Insgesamt sind jedoch die Vertrauensbereiche der einzelnen Schutzgebietskategorien sehr groß, weshalb anhand der Auswertungen nicht von großen Unterschieden gesprochen werden kann.

Ein weiteres Ziel der Studie war, die Auswirkungen der Erschließungsdichte auf das Ökosystem Wald zu untersuchen. Barriere-Effekte von Infrastrukturen konnten durch eine Analyse der einschlägigen Literatur nur für wenige Arten konkret nachgewiesen werden. Diese Störungen zeigen sich vor allem auf stark befahrenen Verkehrswegen wie Autobahnen und mehrspurigen Straßen. Verhaltensbiologische Forschungen haben gezeigt, dass Verkehrswege nicht nur physische Hindernisse darstellen, sondern auch mentale Barrieren bilden. Tiere (Kleinsäuger und Säugetiere u.a.) sind in der Lage, potenzielle Gefahren zu erkennen und diese dann geschickt zu umgehen.

Bei Tierarten (insbesondere Kleinsäuger) mit einem erhöhten Bedarf an Deckungsmöglichkeiten konnte ein Meideverhalten nachgewiesen werden. Aufgrund des Fehlens von Bewuchs wirkt eine Fahrbahn wie eine unüberwindbare Barriere. Arten wie die Haselmaus (*Muscardinus avellanarius*) mit einer geringen Ausbreitungsfähigkeit überwinden fremde Lebensräume nur selten. Diese eng an die Strauchschicht gebundenen Arten tendieren auch in den meisten Fällen dazu, ruhige Forststraßen zu meiden (GLITZNER et al., 1999). Bestimmte Tiergruppen, wie Luchse oder Bären nutzen Forststraßen und Wanderwege als Durchgangswege, um ihre Wanderungen effizienter und zügiger durchzuführen.

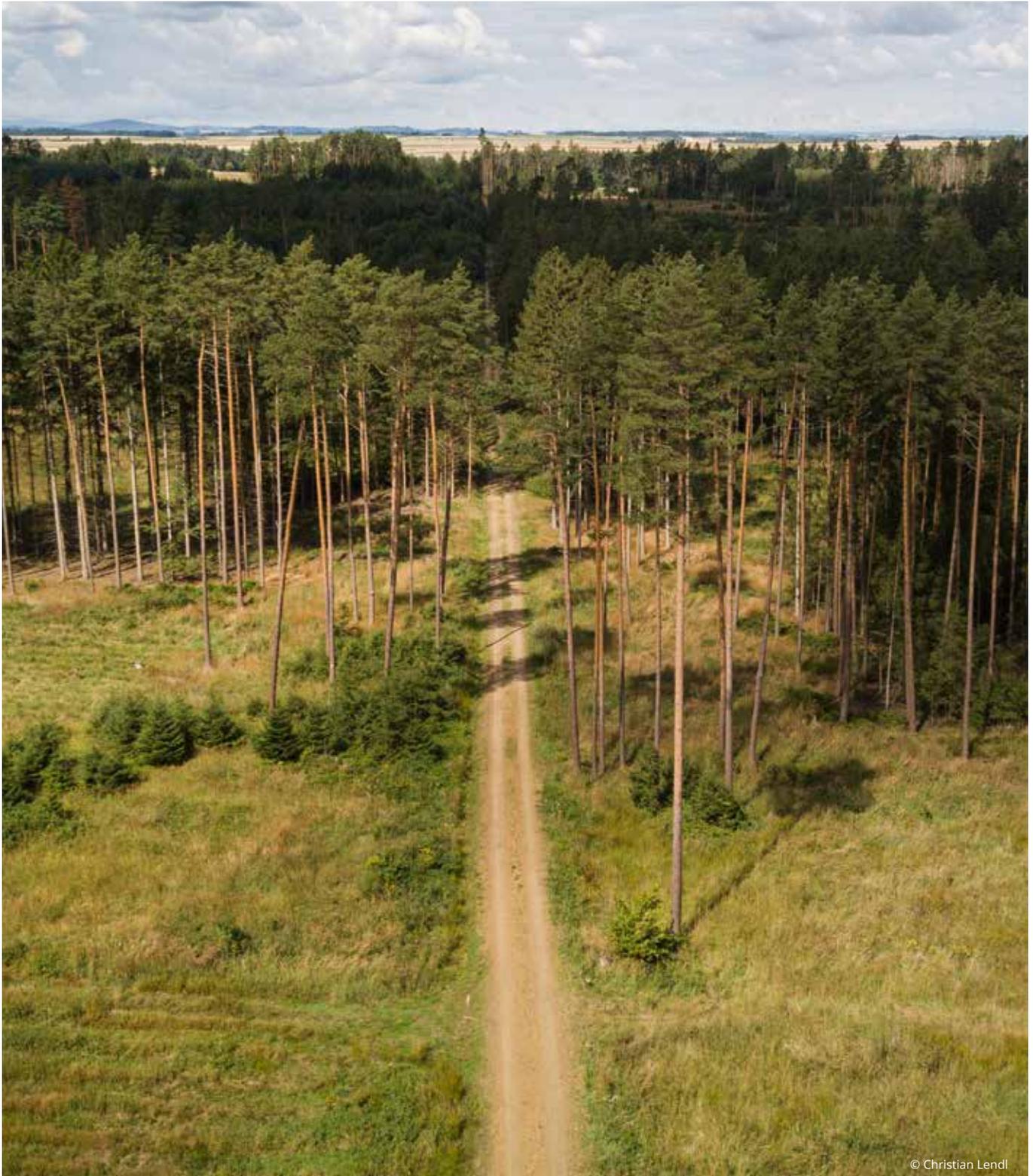
Die mikroklimatischen Veränderungen durch die Anlage von Forststraßen sind nur eingeschränkt nachgewiesen, da diese Effekte stark mit der Größe der offenen Fläche korrelieren. Eine Öffnung des Kronendaches mit einem Durchmesser von weniger als einer Baumhöhe hat keinen signifikanten Einfluss auf das Mikroklima. (SPITTLEHOUSE et al., 2004). Ein mikroklimatischer Effekt ist daher bei großen Böschungsbreiten im steilen Gelände zu erwarten.

Durch den Bau von Forststraßen kommt es zu Veränderungen im Wasserhaushalt des Waldbodens. Diese reichen von offenen Bereichen am Straßenrand, ein verändertes Abflussverhalten bis zu starken Verdichtungen des Bodens. Die Bodenverdichtungen führen zu einer Verringerung des Luftsauerstoffgehalts und der Bodenfruchtbarkeit. Auf diesen Flächen kommt es zu vermindertem Wuchs der Vegetation und einer deutlichen Beeinträchtigung des Wurzelsystems. Dies gilt vor allem für das Befahren der Waldfläche zur Holzernte. Um Waldschäden durch Bodenverdichtungen zu verhindern, muss die Befahrung strikt nach den Feinerschließungslinien erfolgen.

Die offenen Bodenflächen entlang der Fahrbahnränder bieten Neophyten eine ideale Ausbreitungsmöglichkeit, wodurch sie die heimischen Waldarten verdrängen.

Forststraßen und ihre Straßenränder können zwar für Arten aus dem Offenland (z. B. Grasland, Fels- und Schuttstandorten) positive Effekte hervorbringen, für typische Waldarten jedoch stellen sie oft eine Barriere bzw. einen ungeeigneten Lebensraum dar.

Insgesamt hat die Studie des Forststraßennetzes Österreichs ergeben, dass dieses besonders dicht im Vergleich zu den anderen Ländern ist.



© Christian Lendl

# 6 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN UND -VORSCHLÄGE

## 6.1 RECHTSRAHMEN VEREINHEITLICHEN

Aktuell gibt es im österreichischen Forstgesetz keine allgemeine Bewilligungspflicht für jegliche Art von Forststraßen. In den Bundesländern sind auf Basis der jeweiligen Naturschutzgesetze die naturschutzrechtlichen Bewilligungsverfahren sehr unterschiedlich geregelt. Diese sollen in Zukunft im Sinne des Klima- und Naturschutzes mit einer naturschutzrechtlichen Bewilligungspflicht von Forststraßen in Schutzgebieten (in Europa-, Natur- und Landschaftsschutzgebieten etc.) verbessert und vereinheitlicht werden. Die neuen Regeln sollten damit anders als bisher durchgehend das Bergwaldprotokoll der Alpenkonvention einhalten\*: Demnach sind Erschließungsmaßnahmen sorgfältig zu planen und auszuführen und der Natur- und Landschaftsschutz muss beachtet werden.

## 6.2 FORSTSTRASSEN KLIMA- UND NATURVERTRÄGLICH GESTALTEN

Die aktuelle Forststraßenbau-Praxis hat viele Defizite und sollte daher neu aufgestellt werden, um wertvolle Waldflächen zu erhalten, den Wald insgesamt nachhaltiger zu bewirtschaften und somit den Anforderungen des Forstgesetzes an eine schonende Waldbewirtschaftung (§ 58 und 60) gerecht zu werden. Daher muss die zuständige Politik im Bund und in den Ländern sicherstellen, dass nur noch solche Forststraßen gebaut und aus öffentlichen Mitteln gefördert werden, deren Notwendigkeit und Dimensionierung nachvollziehbar und gut begründet ist.

Das erfordert objektivierte und wissenschaftsbasierte ökologische und ökonomische Grundlagen, Mindestkriterien und Analysen (Kosten-Nutzen-Rechnungen, Auswirkungen auf Ökosystemleistungen, Bodenverbrauch etc.) sowie regionale und lokale Nutzungskonzepte. Das würde einen starken Handlungsrahmen schaffen, um verbindliche Ziele für die Raumordnung festzulegen. Dies sollte auch eine verpflichtende Voraussetzung für die Förderung von straßenbaulichen Aktivitäten im Wald sein.

Die notwendigen Reformen müssen gewährleisten, dass

- die Raumplanung naturverträglich wird,
- wertvoller Boden geschützt bzw. achtsam genutzt wird,

- Wälder natur- und klimafit gestaltet werden,
- der Bau und Betrieb der Forststraßen hohen ökologischen Standards und einer klaren wirtschaftlich nachvollziehbaren Notwendigkeit folgt,
- bestimmte Waldflächen, wie beispielsweise die letzten Ur- und Naturwälder, unerschlossen bleiben, um ihren ökologischen Funktionen weiter gerecht zu werden und
- Forstförderungen natur- und klimaverträglich eingesetzt werden.

## 6.3 WALD-FORSCHUNG VERSTÄRKEN

Der aktuelle Wissensstand über Verbreitung und Funktionen von Waldarten und ihren Lebensräumen ist teilweise noch immer sehr lückenhaft. Ebenso noch unzureichend erforscht sind die Auswirkungen des Forststraßenbaus auf bestimmte Artengruppen, wie beispielweise Kleinlebewesen, die wesentliche Bestandteile von Waldökosystemen und für ihre Funktionen darstellen. Das Wissen über die Folgen der Veränderung der Hydrologie und des Bodens durch Forststraßen muss auch im Kontext der Klimakrise und im Zusammenhang mit Naturgefahren (Muren, Steinschlag, Extremniederschläge, etc.) ausgebaut werden.

\* [https://www.alpconv.org/fileadmin/user\\_upload/Convention/DE/Protocol\\_Mountain\\_Forests\\_DE.pdf](https://www.alpconv.org/fileadmin/user_upload/Convention/DE/Protocol_Mountain_Forests_DE.pdf)

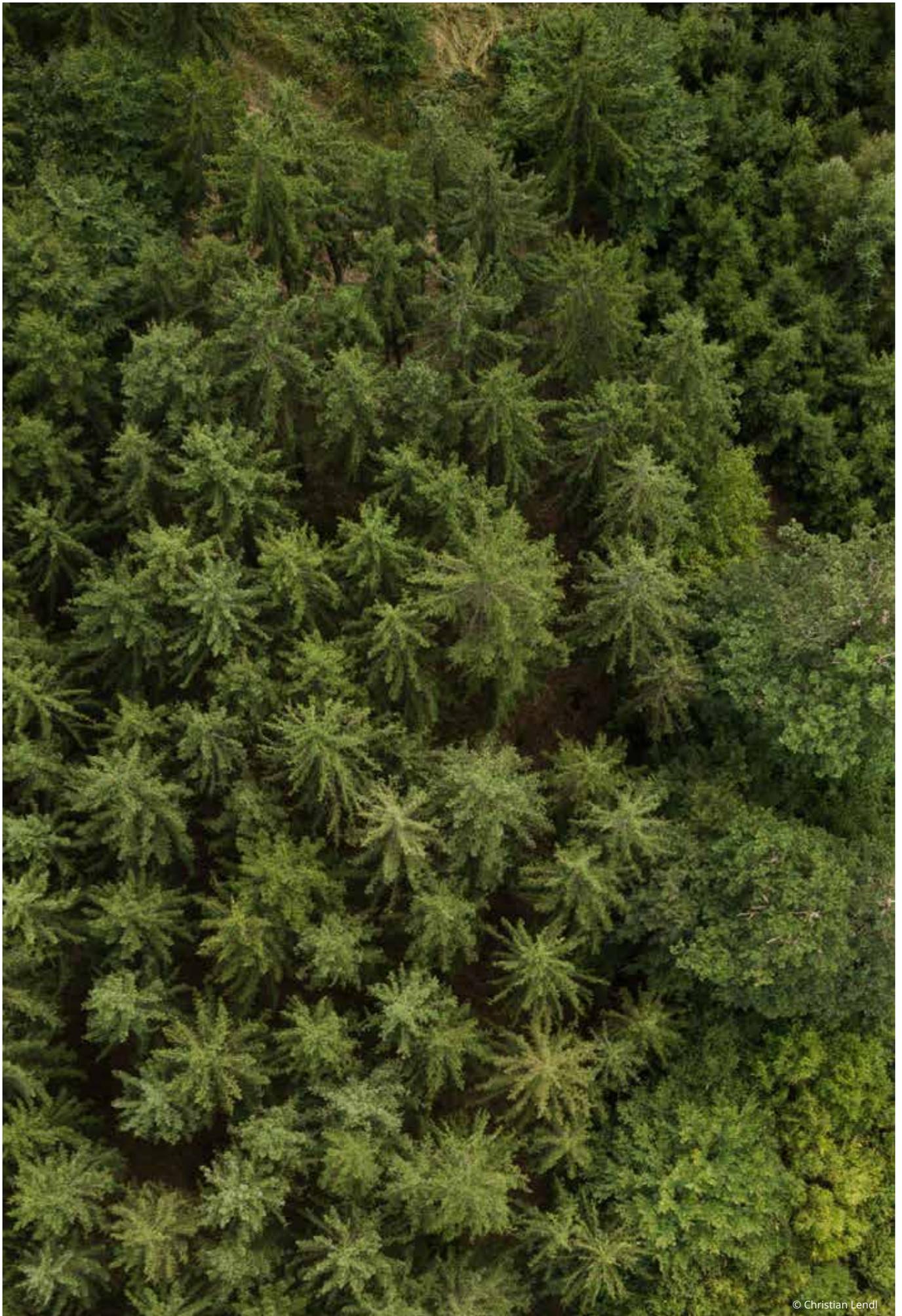


# 7 LITERATURVERZEICHNIS

- AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, 2020. Strategie für Tirol im Umgang mit gebietsfremden Pflanzenarten (Neophyten) 84.
- BAKOWSKI, C., KOZAKIEWICZ, M., 1988. The effect of forest road on bank vole and yellow-necked mouse populations 345–353.
- BAUR, A., BAUR, B., 1990. Are roads barriers to dispersal in the land snail *Arianta arbustorum*? *Can. J. Zool.* 68, 613–617. <https://doi.org/10.1139/z90-091>
- BAYRISCHE FORSTVERWALTUNG, 2017. Feinerschließung - Rückegasse und Rückewege. LWF Merkbl. 38, 6.
- BAYRISCHER LANDTAG, 2020. Schriftliche Anfrage des Abgeordneten Andreas Krahl BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN (Drucksache No. 18/13315).
- B.F.W., 2018. Zwischenauswertung der Waldinventur 2016/18. BFW Praxisinformation Nr 50.
- B.F.W., 2015. Unser Boden – wertvoll, vielfältig und schützenswert. BFW Praxisinformation.
- B.F.W., o.J. Walderschließung Österreichs im Detail. Stand der Walderschließung in Österreich. Ergebnisse der Waldinventur 1992/1996. BFW Waldinventur.
- BRUNNER, H., SCHWANTZER, M., RESSEL, M., 2020. Biodiversität an Forststraßen bei Planung, Bau & Pflege. Österreichische Bundesforste AG, Purkersdorf.
- BUNDESFORSCHUNGSZENTRAUM FÜR WALD, n.d. Ergebnisse der öst. Waldinventur 1992 - 96 [WWW Document]. URL <http://www.bfw.ac.at/i7/Oewi.oefiq296?geo=0&isopen=1> (accessed 2.16.23).
- BUNDESMINISTERIUM, FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL), 2014. Der Wald in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. Bundesminist. Für Ernähr. Landwirtsch. BMEL 50.
- CARRANZA, M.L., HOYOS, L., FRATE, L., ACOSTA, A.T.R., CABIDO, M., 2015. Measuring forest fragmentation using multitemporal forest cover maps: Forest loss and spatial pattern analysis in the Gran Chaco, central Argentina. *Landsc. Urban Plan.* 143, 238–247. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.08.006>
- DAVIES-COLLEY, R., PAYNE, G.W., ELSWIJK, M., 2000. Microclimate gradients across a forest edge. *N. Z. J. Ecol.* 24.
- DEBINSKI, D.M., HOLT, R.D., 2000. A Survey and Overview of Habitat Fragmentation Experiments. *Conserv. Biol.* 14, 342–355. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.98081.x>
- DICKIE, M., SERROUYA, R., MCNAY, R.S., BOUTIN, S., 2017. Faster and farther: wolf movement on linear features and implications for hunting behaviour. *J. Appl. Ecol.* 54, 253–263. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12732>
- DIENSTSTELLE LANDWIRTSCHAFT UND WALD, ABTEILUNG WALD, 2005. Merkblatt Bodenschutz im Wald. Dienststelle Landwirtschaft und Wald, Abteilung Wald, Luzern, Sursee.
- EIPNER, M., 2014. Aufschließung. Forststraßenbau.
- ESSL, F., RABITSCH, W., 2002. Neobiota in Österreich. Umweltbundesamt Wien.
- FAHRIG, L., 2003. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 34, 487–515. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419>
- FAHRIG, L., PEDLAR, J.H., POPE, S.E., TAYLOR, P.D., WEGNER, J.F., 1995. Effect of road traffic on amphibian density. *Biol. Conserv.* 73, 177–182. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(94\)00102-V](https://doi.org/10.1016/0006-3207(94)00102-V)
- FELDMANN, R., 1974. Wassergefüllte Wagenspuren auf Forstwegen als Amphibien-Laichplätze. *Salamandra* 10, 15–21.
- FLADE, M., MÖLLER, G., SCHUMACHER, H., WINTER, S., 2004. Naturschutzstandards für die Bewirtschaftung von Buchenwäldern im nordostdeutschen Tiefland. *Dauerwald* 29, 15–28.
- FRANKHAM, R., BALLOU, J.D., BRISCOE, D.A., 2010. Introduction to conservation genetics, 2nd ed. ed. Cambridge University Press, Cambridge, UK ; New York.
- FREUDENSCHUSS, A., MARKART, G., SCHEIDL, C., SCHADAUER, K., 2021. Schutzwald in Österreich - Wissensstand und Forschungsbedarf. Bundesforschungszentrum für Wald, Wien.
- GENOVESI, P., SCALERA, R., RABITSCH, W., ESSL, F., 2012. The impacts of invasive alien species in Europe. Publications Office, Luxembourg.
- GLANDT, D., 2018. Praxisleitfaden Amphibien- und Reptilienschutz. Schnell - präzise - hilfreich. Springer Verlag.
- GLITZNER, I., BEYERLEIN, P., BRUGGER, C., PAILL, W., SCHLÖGEL BARBARA, TATARUCH, F., 1999. Literaturstudie zu Anlage- und Betriebsbedingten Auswirkungen von Straßen auf die Tierwelt. Endbericht. Magistratsabteilung 22 - Umweltschutz, Graz.

- GRABHERR, G., KOCH, G., KIRCHMEIR, H., REITER, K., 1998. Hemerobie österreichischer Waldökosysteme. Veröff Österr. MaB-Program. Band 17, 493.
- GREUTTER, G., 2019. Rahmenbedingungen (des BMNT) für Forststraßenbau. BMNT, Abt. III/4, Tagungsbeitrag zum 11. ExpertInnenforum des Naturraummanagements „Forststraßen als Lebensraum?“ Tagung am 21. Purkersdorf.
- HARTMANN, S., KÜBLER, KONOLD, 1995. Neophyten - Biologie, Verbreitung und Kontrolle ausgewählter Arten. 302.
- HAUK, E., 2013. Die starke innere und äußere Fragmentierung des österreichischen Waldes. BFW Praxisinformation 32–40.
- HAVLICK, D.G., 2003. No Place Distant: Roads and Motorized Recreation on America's Public Lands. *Restor. Ecol.* 11, 533–534. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.2003.rec1142.x>
- HERRMANN, M., MATHEWS, A., 2007. Wirkung von Barrieren auf Säuger und Reptilien. *Öko-Log Freilandforschung* 66.
- IBISCH, P.L., HOFFMANN, M.T., KREFT, S., PE'ER, G., KATI, V., BIBER-FREUDENBERGER, L., DELLASALA, D.A., VALE, M.M., HOBSON, P.R., SELVA, N., 2016. A global map of roadless areas and their conservation status. *Science* 354, 1423–1427. <https://doi.org/10.1126/science.aaf7166>
- JEDICKE, L., JEDICKE, E., 1992. Farbatlas Landschaften und Biotope Deutschlands. E. Ulmer, Stuttgart.
- KIRCHMEIR, H., HUBER, M., BERGER, V., WUTTEJ, D., GRIGULL, M., 2020. Wald in der Krise. Erster unabhängiger Waldbericht für Österreich 2020. WWF.
- KÖHLER, R., EGGERS, B., 2012. Waldfragmentierung und Artenschutz: Analyse der Auswirkungen der Fragmentierung von Waldökosystemen auf Indikatorarten unter Berücksichtigung von Landschaftsstrukturindizes, Landbauforschung Sonderheft. Johann Heinrich von Thünen-Inst, Braunschweig.
- KORN, H., PITZKE, C., 1988. Stellen Straßen eine Ausbreitungs-Barriere für Kleinsäuger dar? *Berichte Bayrische Akad. Für Naturschutz Landschaftspflege* 12, 189–195.
- KOWARIK, I., RABITSCH, W., 2010. Biologische Invasionen: Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa, 2., wesentlich erw. Aufl. ed. Ulmer, Stuttgart (Hohenheim).
- KUHN, J., 1983. Amphibien des westlichen Ulmer Raumes 1979-1982: Verbreitung, ökologische und Naturschutz-Aspekte. *Mitteilungen Ver. Für Naturwissenschaften Math.* 32, 22–43.
- LANG, F., LUSTER, J., 2022. Waldökosystemernährung und Klimawandel: Schmilzt mit der Humusaufgabe auch die Nährstoffverfügbarkeit?, in: *Waldböden – Intakt Und Funktional*. Presented at the Forum für Wissen 2022, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, WSL, pp. 19–25. <https://doi.org/10.55419/wsl:32002>
- LEBLOND, M., DUSSAULT, C., OUELLET, J.-P., 2013. Impacts of Human Disturbance on Large Prey Species: Do Behavioral Reactions Translate to Fitness Consequences? *PLoS ONE* 8, e73695. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073695>
- LESER, H., LÖFFLER, J., 2017. *Landschaftsökologie*, 5., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. ed, UTB Geo-, Bio- und Umweltwissenschaften, Ökologie, Landschaftsplanung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- LI, M., MAO, L., ZHOU, C., VOGELMANN, J.E., ZHU, Z., 2010. Comparing forest fragmentation and its drivers in China and the USA with Globcover v2.2. *J. Environ. Manage.* 91, 2572–2580. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.07.010>
- LÜSCHER, P., FRUTIG, F., SCIACCA, S., SPJEVAK, S., THEES, O., 2010. Physikalischer Bodenschutz im Wald. *Bodenschutz beim Einsatz von Forstmaschinen*. *Merkbl. Für Prax.* 45, 12.
- MADER, H., PAURITSCH, G., 1981. Nachweis des Barriere-Effektes von verkehrsarmen Strassen und Forstwegen auf Kleinsäuger der Waldbiozönose durch Markierungs- und Umsetzungsversuche. *Nat. Landsch.* 56.
- MADER, H.-J., 1984. Animal habitat isolation by roads and agricultural fields. *Biol. Conserv.* 29, 81–96. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(84\)90015-6](https://doi.org/10.1016/0006-3207(84)90015-6)
- MAGURA, T., TÓTHMÉRÉSZ, B., MOLNÁR, T., 2001. Forest edge and diversity: carabids along forest-grassland transects. *Biodivers. Conserv.* 10, 287–300. <https://doi.org/10.1023/A:1008967230493>
- MARKART, G., KOHL, B., PERZL, F., 2007. Der Bergwald und seine hydrologische Wirkung - eine unter-schätzte Größe? *LWF Wissen* 55, 34–43.
- MARKART, G., KOHL, B., SOTIER B, SCHAUER, T., STERN, R., 2004. Bundesamt und Forschungszentrum für Wald Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächen- abflussbeiwertes auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen (Version 1.0), in: *BFW-Dokumentation, Schriftenreihe des Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald.*, Wien, p. 88.
- MARKART, G., LECHNER, V., KOHL, B., HAUSER, P., GEITNER, C., MEISSL, G., PIRCHER, G., C SCHEIDL, STEPANEK, L., TEICH, M., PERZL, F., 2020. Handlungsanleitung -Optimierung der hydrologischen Wirkung von Schutzwäldern Projekt ITAT4041-BLÖSSEN Auswirkungen verzögerter Wiederbewaldung im Schutzwald auf die Sicherheit vor Naturgefahren (insbesondere Abflussbildung). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19306.06083>

- MARTIN, K., ROWECK, H., 1988. Zur anthropogenen Isolierung von Landschneckenpopulationen. *Landsch. Stadt* 151–155.
- MINISTERSTVO ZEMĚDELSTVÍ, 2021. ZPRÁVA O STAVU LESA A LESNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY V ROCE 2021. Tschechien.
- NEMESTOTHY, N., 2015. Bedeutung der Bodenverdichtung für Ertrag und Nachhaltigkeit. *BFW Praxisinformation* 8–13.
- ÖSTERREICHISCHE BUNDESFORSTE, 2020. Aktiv für biologische Vielfalt an Forststraßen. *Tipps für Land- und Forstwirte, Planer und Umsetzer* 33.
- ÖSTERREICHISCHER NATIONALRAT, 1975. Forstgesetz 1975.
- PROBST, N., 2012. Die Sorge um den Nachwuchs. *Fischerblatt* 20–23.
- REIMOSER, F., HACKLÄNDER, K., 2014. Forststrassen als Lebensraum gestalten: FORSTWEGE UND WILDTIERE. *Reviervang Wildbiol.* 8–13.
- RICHARDSON, J.H., SHORE, R.F., TREWEEK, J.R., LARKIN, S.B.C., 1997. Are major roads a barrier to small mammals? *J. Zool.* 243, 840–846. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1997.tb01982.x>
- RIEDLER, A., 2018. Schuldrecht Besonderer Teil - Gesetzliche Schuldverhältnisse, 5., neu bearbeitete Auflage. ed. LexisNexis, Wien.
- ROBINSON, C., DUINKER, P.N., BEAZLEY, K.F., 2010. A conceptual framework for understanding, assessing, and mitigating ecological effects of forest roads. *Environ. Rev.* 18, 61–86. <https://doi.org/10.1139/A10-002>
- SCHACHNER, S., 2013. Die Verbreitung invasiver und potentiell invasiver Neophyten im Nationalpark Kalkalpen. Wiederaufnahme der Untersuchung von Lamprecht 2008. *Natl. Kalkalpen* 43.
- SCHÄFFER, J., 2002. Befahren von Waldböden - ein Kavaliersdelikt? *Waldwirt* 21–23.
- SCHMITT, E., SCHMITT, T., GLAWION, R., KLINK, H.-J., 2012. Biogeographie, Dr. A 1. ed, Das geographische Seminar. Westermann, Braunschweig.
- SCHRELL, F., DIETERICH, M., 2023. Entwicklung nachhaltiger Schutzkonzepte für die Gelbbauchunke (*Bombina variegata*) in Wirtschaftswäldern. *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.7928462>
- SCHWARZL, B., SEDY, K., WEISS, M., 2019. Baumhaftung - Baumsicherung und deren ökologische Wirkungen.
- SCHWEIZERISCHES LANDESFORSTINVENTAR: Ergebnisse der vierten Erhebung 2009-2017, 2020. . WSL, Birmensdorf.
- SLUITER, R., SMIT, N., 2001. Gap size effect on microclimate and soil moisture. *For. Fill. Gaps Eff. Gap Size Water Nutr. Cycl. Trop. Rain For. Study Guyana* Van Dam O Ed Ph Thesis Utrecht Univ. Utrecht Neth. 208.
- SPITTLEHOUSE, D.L., ADAMS, R.S., WINKLER, R.D., 2004. Forest, edge, and opening microclimate at Sicomous Creek (Research Report.), Ministry of Forest - Forest Science Program. Ministry of Forests, British Columbia, Canada.
- TAUBERT, F., FISCHER, R., GROENEVELD, J., LEHMANN, S., MÜLLER, M.S., RÖDIG, E., WIEGAND, T., HUTH, A., 2018. Global patterns of tropical forest fragmentation. *Nature* 554, 519–522. <https://doi.org/10.1038/nature25508>
- WAAS, S., 2019. Forstwege - Planung, Bau und Pflege. *LWF Merkbl. Bayrische Forstverwaltung* 6.
- WALTER, H., BRECKLE, S.W., 1999. *Vegetation und Klimazonen der Erde*. 7. Auflage. Ulmer.
- WESEMANN, J., 2017. Beeinflussung von Quelleinzugsgebieten durch Forststraßen und Waldwirtschaft mit besonderem Schwerpunkt auf Karstgebiete. *Hydrol. Wasserbewirtsch. BfG – Jahrg. 612017* ISSN 1439. [https://doi.org/10.5675/HYWA\\_2017.1\\_1](https://doi.org/10.5675/HYWA_2017.1_1)
- WINTER, S., BEGEHOLD, H., HERRMANN, M., LÜDERITZ, M., MÖLLER, G., RZANNY, M., FLADE, M., 2016. *Praxishandbuch – Naturschutz im Buchenwald. Naturschutzziele und Bewirtschaftungsempfehlungen für reife Buchenwälder Nordostdeutschlands.* – Minist. Für Ländliche Entwickl. Umw. Landwirtsch. Landes Brandenburg. 168 S.
- YOUNG, A., MITCHELL, N., 1994. Microclimate and vegetation edge effects in a fragmented podocarp-broadleaf forest in New Zealand. *Biol. Conserv.* 67, 63–72. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(94\)90010-8](https://doi.org/10.1016/0006-3207(94)90010-8)
- ZEMKE, J.J., 2016. Runoff and Soil Erosion Assessment on Forest Roads Using a Small-Scale Rainfall Simulator. *Hydrology* 3)25.



© Christian Lendl

# 8 ANHANG

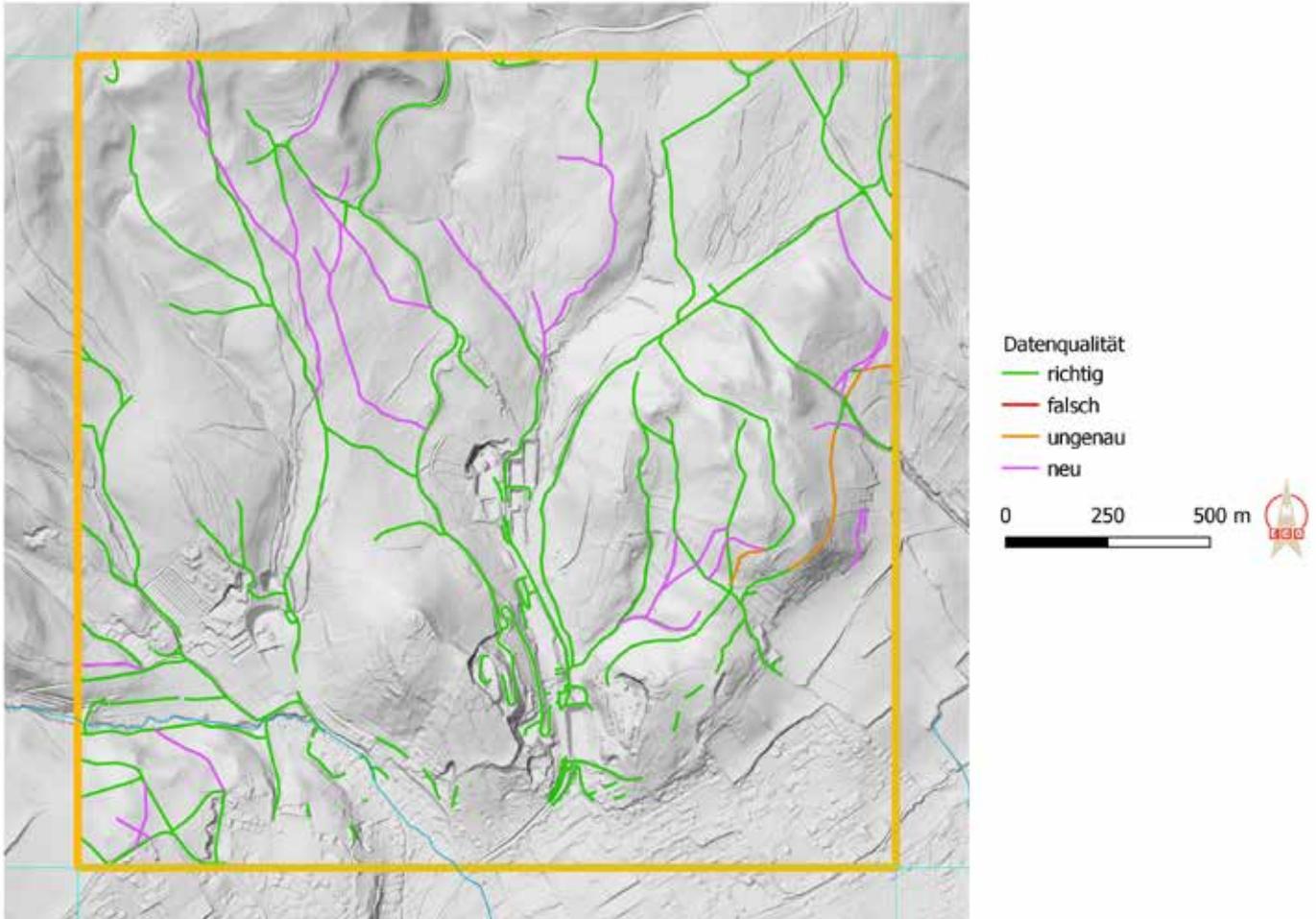


Abbildung 37: Testgebiet 1 in Burgenland

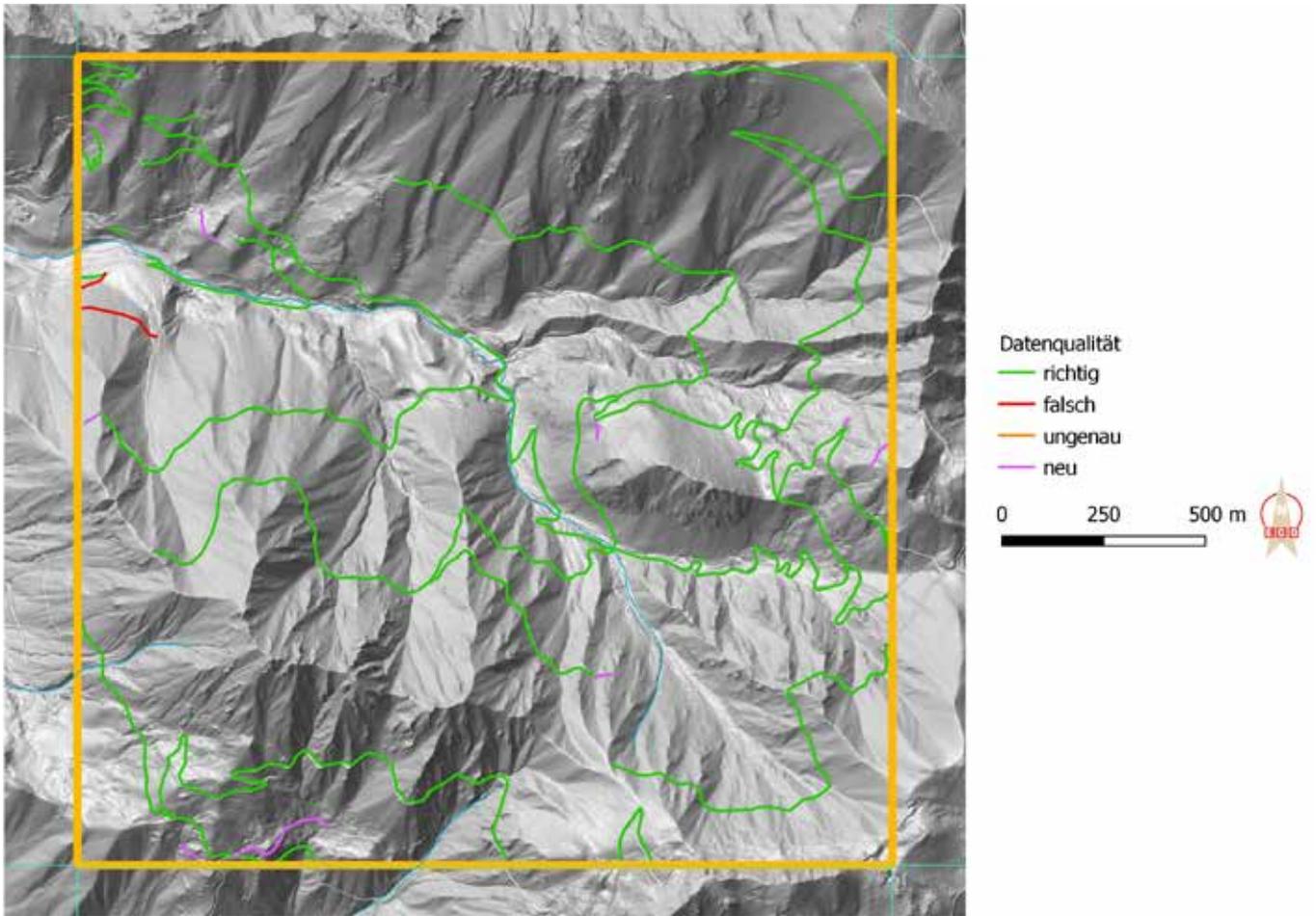


Abbildung 38: Testgebiet 2 – in Kärnten

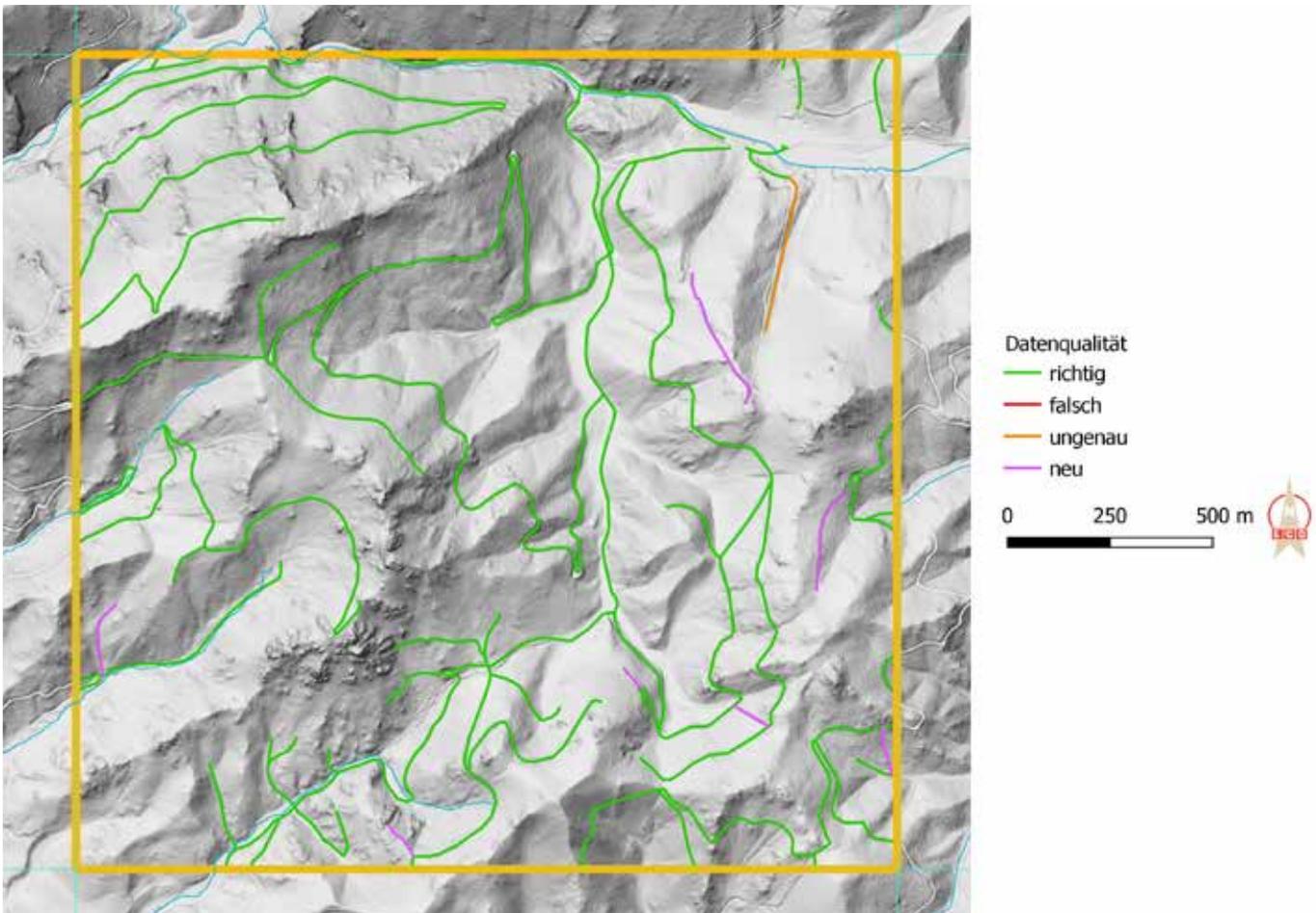


Abbildung 39: Testgebiet 3 in Niederösterreich

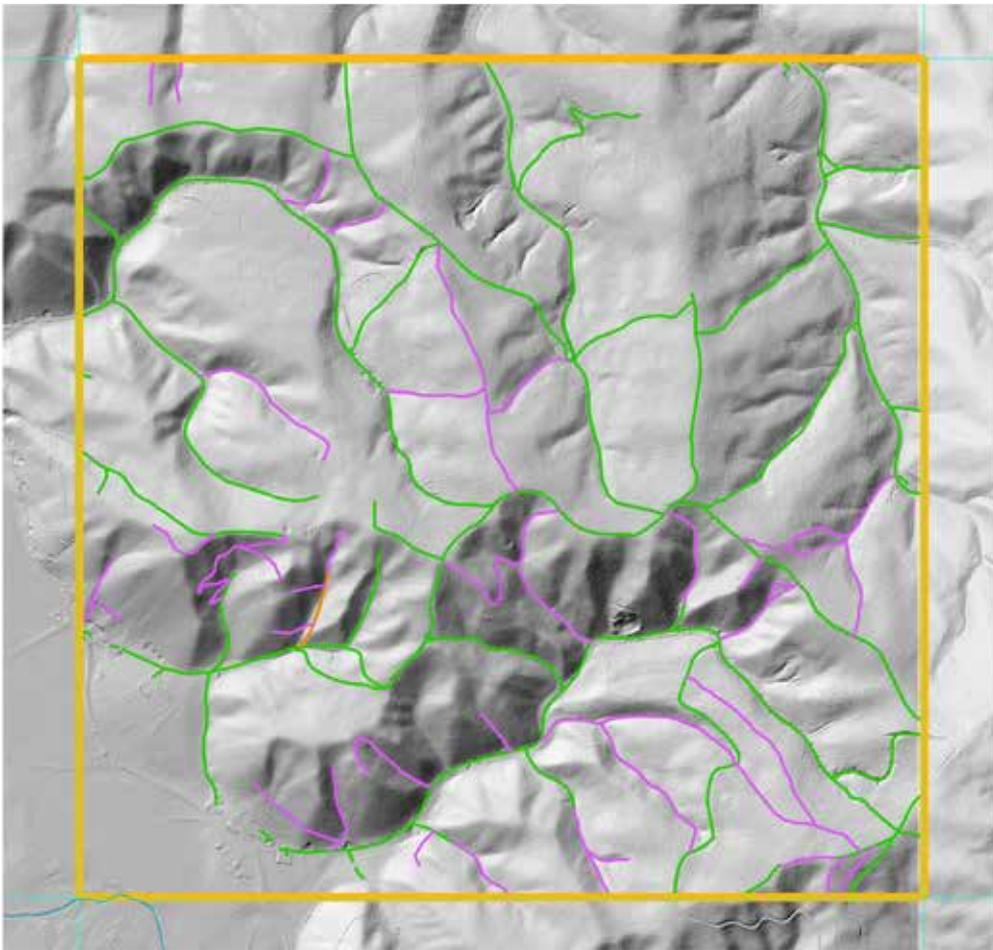


Abbildung 40: Testgebiet 4 in Oberösterreich

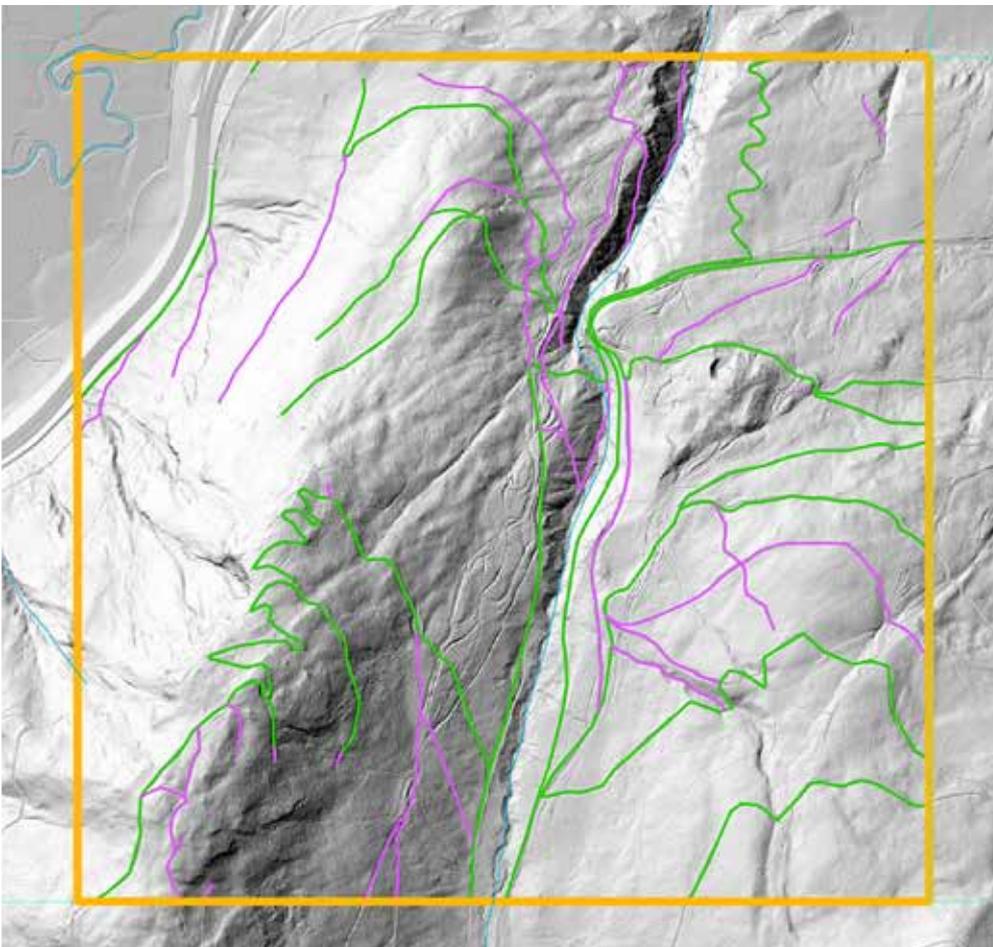


Abbildung 41: Testgebiet 5 in Salzburg

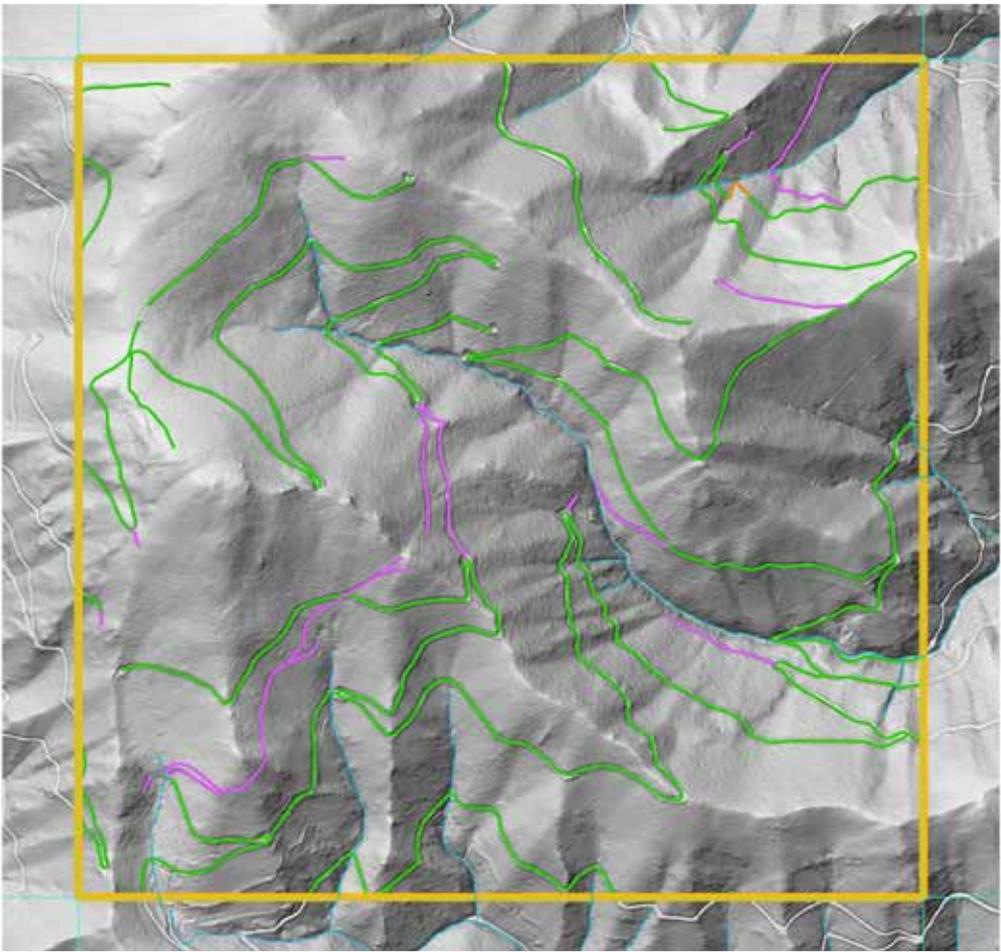


Abbildung 42: Testgebiet 6 in der Steiermark

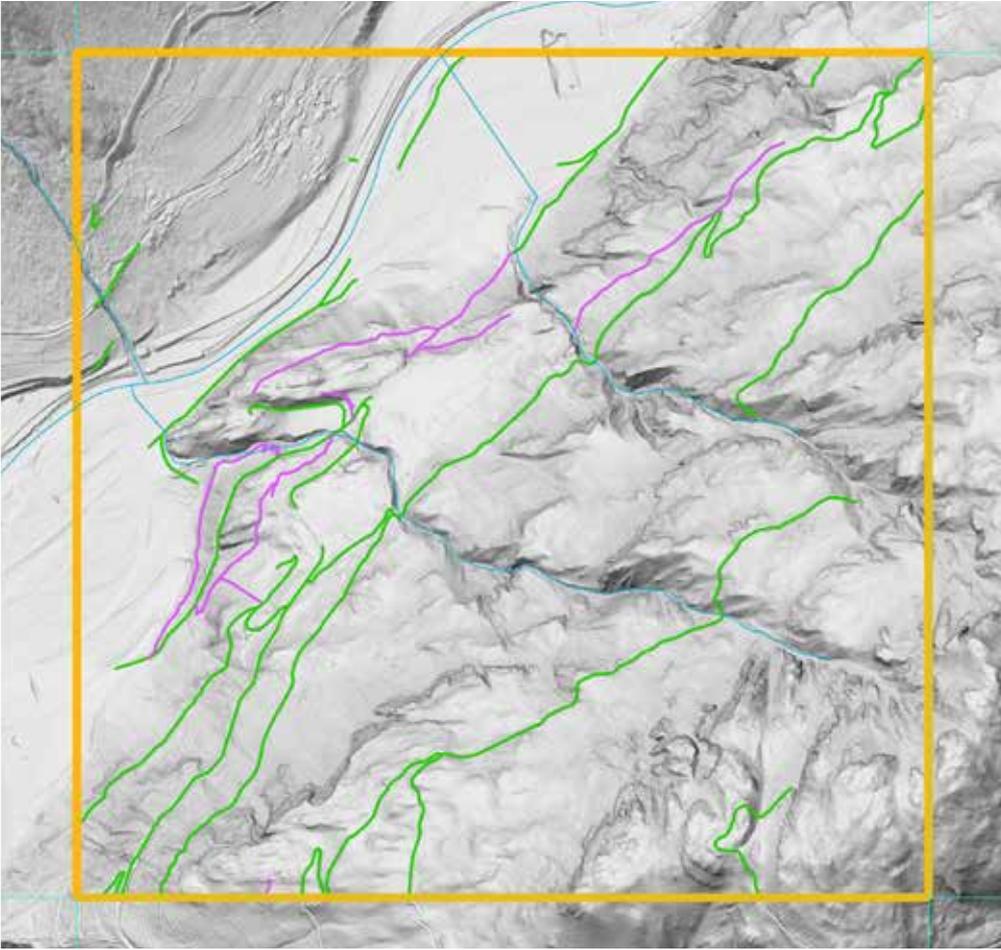


Abbildung 43: Testgebiet 7 in Tirol

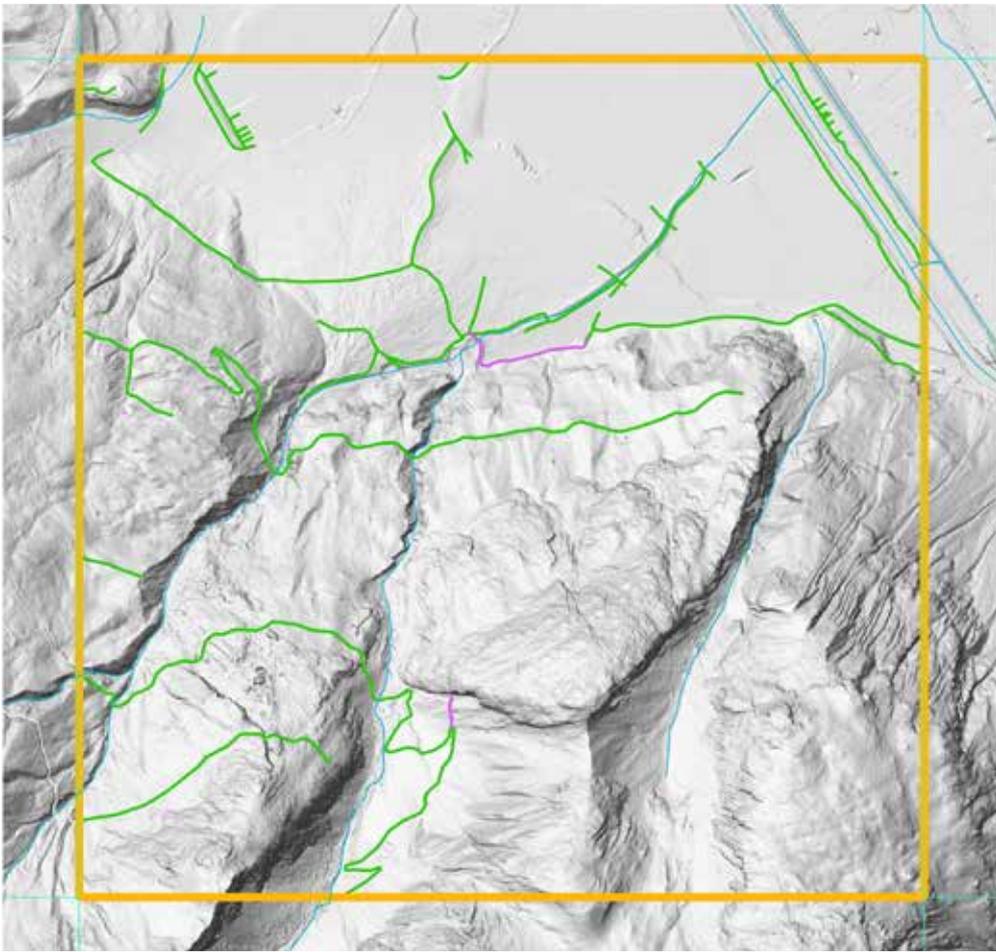


Abbildung 44: : Testgebiet 8 in Vorarlberg

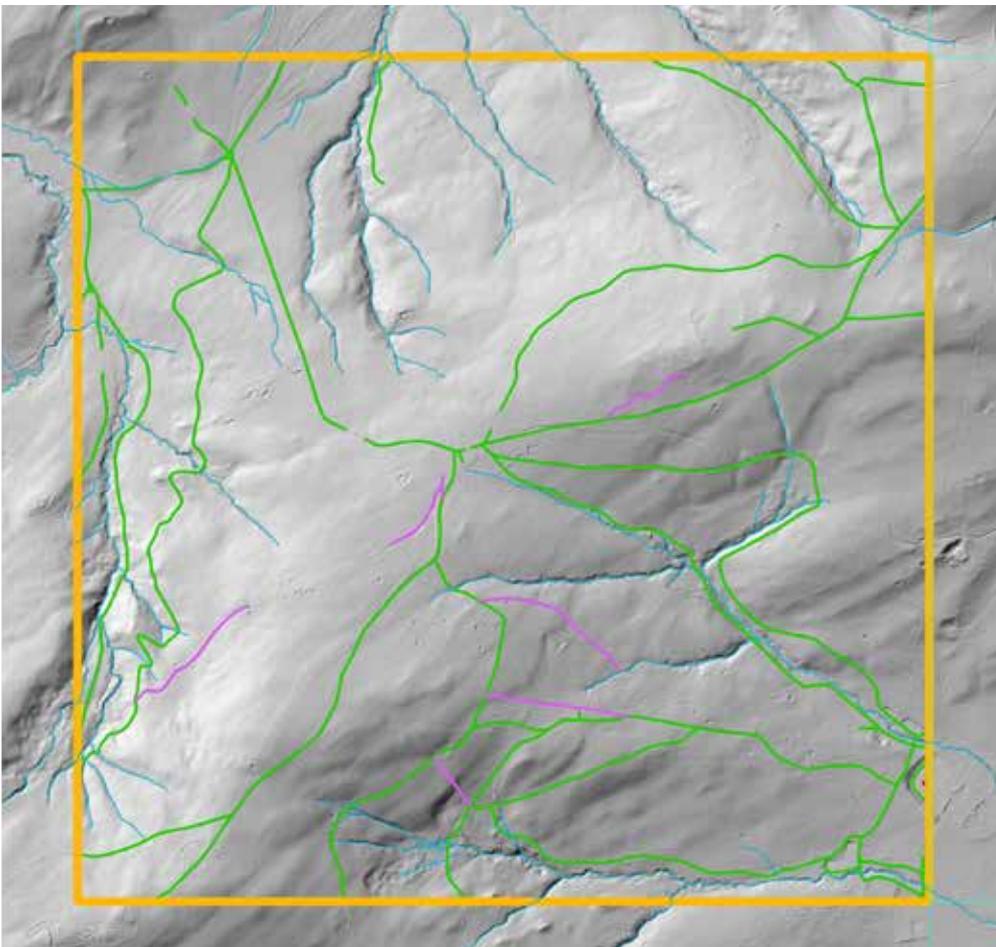


Abbildung 45: Testgebiet 9 in Wien





Wir wollen die weltweite Zerstörung der Natur und Umwelt stoppen und eine Zukunft gestalten, in der Mensch und Natur in Harmonie miteinander leben.

together possible™

[wwf.at](http://wwf.at)