



**Hochschule
für nachhaltige Entwicklung
Eberswalde**

Fachbereich Landschaftsnutzung
und Naturschutz

Thesis

Zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science (B. Sc.)

Von bunten Müllbergen?

Abfallbelastung und Littering durch den Alpentourismus
im Nationalpark Hohe Tauern am Beispiel des Gschlöstals:
Belastung, Gefährdung und Handlungsmaßnahmen

Vorgelegt von: Tabea Maria Grube

Matrikelnummer: 20213144

Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde

Fachbereich: Landschaftsnutzung und Naturschutz

Studiengang: Landschaftsnutzung und Naturschutz

Erstgutachter_in: Prof. Dr. Uta Steinhardt

Zweitgutachter_in: Mag. Dr., Priv.-Doz. Birgit Sattler (Universität Innsbruck)

Datum der Abgabe: 23.02.2024

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Der Schauplatz Alpen – Idyll oder Abenteuerspielplatz?	1
1.1 Von bunten Müllbergen? Littering im Gebirge.....	2
1.2 It’s fantastic? Das Problem mit dem Plastik	3
1.3 Zwischen Nutzung und Naturschutz – Zielkonflikte in alpinen Schutzgebieten	5
2 Die Spurensuche – Methodisches Vorgehen.....	8
2.1 Auswahl des Untersuchungsgebietes.....	8
2.2 Untersuchungsgebiet	9
2.3 Auswahl der zu beprobenden Wege	12
2.4 Beprobung.....	14
2.5 Laboranalyse.....	15
2.6 Verarbeitung der Geodaten.....	19
2.7 Statistische Auswertung	20
3 Die Fakten – Ergebnisse der Abfalluntersuchung im Gschlössstal.....	21
3.1 Abfallmengen in Außen- und Kernzone	25
3.2 Abfallmengen auf unterschiedlich stark frequentierten Wegen.....	26

3.3 Abfallmengen auf Wegen unterschiedlicher Nutzung	28
3.4 Abfälle in Verbindung mit Infrastruktur	30
3.5 Wie viel Plastik findet sich auf den Wegen im Gschlössstal?	33
4 Der Befund – Einordnung der Ergebnisse	36
4.1 Die Erkenntnisse aus dem Gschlössstal im Kontext aktueller Forschung	36
4.2 Methodikdiskussion.....	45
5 Die Implikationen für den Nationalpark.....	48
5.1 Abfälle im Nationalpark – Klein aber nicht fein.....	48
5.2 Kleiner Müll – was tun? Maßnahmen und Handlungsempfehlungen	53
Zusammenfassung.....	59
Summary	60
Danksagung	61
Literaturverzeichnis	62
Anhang.....	76

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: STRAVA "Heat Map" aller aufgezeichneten Aktivitäten - Stand 02/2024.....	13
Abbildung 2: Dokumentation der Fotoaufnahmen für die Objektvermessung: a) Aufbau der Fotostation b) Objektfoto Bonbonpapier c) Kontrollfoto.....	16
Abbildung 3: Beispielspektrum der ATR-Messung: gemessenes Spektrum des Testobjektes (rot) und Referenzspektrum (blau) - Hitqualität 976	18
Abbildung 4: Verteilung der Flächengrößen (in cm ²) aller gefundenen Objekte.....	22
Abbildung 5: Verteilung der Feret-Durchmesser (cm) aller gefundenen Objekte	23
Abbildung 6: Darstellung der Abfallklassen nach DreckSpotz-App für alle gefundenen Objekte (n = 328) Links: Anzahl und relativer Anteil der Abfallklassen gesamt Rechts: Anzahl der Objekte je Abfallklasse und Weg, sowie Gesamt	24
Abbildung 7: Vergleich der Menge gefundener Objekte je Transekt auf den Wegen in Richtung Prager Hütte und Sandebentörl	27
Abbildung 8: Vergleich der Verteilung der Abfallklassen nach DreckSpotz-App zwischen Fahrweg und Wanderwegen	29
Abbildung 9: Verteilung von Abfällen je 50 m Transekt entlang des Gletscherlehrwegs	31
Abbildung 10: Materialklassen aller Objekte (n = 328) nach ATR-Infrarotspektroskopie (links) und identifizierte Polymertypen der Kunststoffobjekte (n = 232) (rechts)	33
Abbildung 11: Darstellung der identifizierten Polymertypen und deren korrespondierenden Verwendungsklassen.....	34
Abbildung 12: Klassenverteilung nach DreckSpotz-App für alle gefundenen Objekte im Gschlössstal (oben) und Klassenverteilung aller Einträge in der DreckSpotz-App in Österreich (15.05.2017 – 15.01.2024) (unten)	41
Abbildung 13: Das 'Zrucksacker!' der Naturfreunde Österreich, © Naturfreunde/Carina Fritz (Quelle: Naturfreunde Österreich o.J.).....	55

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eigenschaften der beprobten Wege	13
Tabelle 2: Verwendete ATR-Referenzbibliotheken	17
Tabelle 3: Größenklassifizierung der gefundenen Kunststoffobjekte	35
Tabelle 4: Zigarettenstummel auf Transekten des Fahrwegs Innergschlöss	40

Abkürzungsverzeichnis

ATR.....	<i>Attenuated Total Reflection</i>
BRP.....	<i>Bruttoregionalprodukt</i>
GESAMP ..	<i>Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection</i>
IUCN.....	<i>International Union for Conservation of Nature</i>
NPHT	<i>Nationalpark Hohe Tauern</i>
PE	<i>Polyethylen</i>
PET	<i>Polyethylenterephthalat</i>
PNEC	<i>predicted no effect concentration</i>
PP.....	<i>Polypropylen</i>
PS.....	<i>Polystyrol</i>
PU	<i>Polyurethan</i>
PVC.....	<i>Polyvinylchlorid</i>

1 Der Schauplatz Alpen – Idyll oder Abenteuerspielplatz?

Woran denken Sie als erstes, wenn Sie das Wort „Alpen“ lesen? Vielleicht sind es einsame Gipfel, klare Bergseen oder auch blühende Almwiesen mit glücklich grasenden Kühen. Dieses idyllische Bild haben wohl die meisten im Kopf, wenn sie an die Alpen denken. Doch die Realität sieht häufig anders aus. Statt einsamen Gipfeln findet man im Sommer meist lärmende Baustellen, mit denen die Skigebiete für die nächste Wintersaison fit gemacht werden. Statt klaren Bergseen, künstlich angelegte Speicherteiche um die Schneesicherheit zu garantieren und statt bunter Wiesen eine bunte Auswahl von Sportbekleidung und parkenden Autos auf riesigen Wanderparkplätzen. Diese Aussicht ist keinesfalls verwunderlich, schließlich ist der Tourismus ein wichtiger Wirtschaftsfaktor für viele Gemeinden in den Alpen. Ein besonders eindrückliches Beispiel ist das Bundesland Tirol in Österreich. Hier betrug der Beitrag des Tourismus zum Bruttoregionalprodukt (BRP) im Jahr 2018 16,9 %, das ist mehr als das doppelte des gesamtösterreichischen Durchschnitts von 7,4 %. Gleichzeitig war in diesem Jahr fast jeder sechste Beschäftigte in Tirol direkt oder indirekt im Tourismus tätig (WIFO 2021). Allein in der Sommersaison 2023 (Mai-Oktober) wurden in Tirol 22,8 Mio. Übernachtungen verzeichnet (Tirol Tourism Research o.J.a). Die meisten Übernachtungen zählten dabei neben der Landeshauptstadt Innsbruck die Gemeinden Eben am Achensee, Mayrhofen und Seefeld (Tirol Tourism Research o.J.b). Besonders die drei letztgenannten Gemeinden werben dabei explizit mit Bergsport in intakter alpiner Natur (Tourismusverband Achensee o.J.; Tourismusverband Mayrhofen-Hippach o.J.; Tourismusverband Seefeld o.J.).

Hier wird ein grundlegender Konflikt im Alpentourismus deutlich: Auf der einen Seite werben Tourismusdestinationen in den Alpen mit einer intakten Natur. Auf der anderen Seite gehen mit erhöhten Besuchszahlen in einem Gebiet aber auch erhöhte ökologische Belastungen einher. Touristisch genutzte Gebirgsregionen sind besonders anfällig für durch den Tourismus entstehende Störungen, da sie oft sensible Ökosysteme darstellen (CIPRA Deutschland e.V. 2023, S. 66). Diese Störungen sind mannigfaltig und beeinflussen die Umwelt auf unterschiedlichen Ebenen.

So kann die Aktivität von Wandernden in einem Gebiet das Tag-Nacht Verhalten von Wildtieren beeinflussen (Courbin et al. 2022, S. 12). Durch erhöhtes Aufkommen von Wandernden kann es zu einer Verdichtung des Bodens kommen, die wiederum einen erhöhten Oberflächenabfluss bedingt und dadurch Erosion begünstigt. Darüber hinaus wird die Vielfalt der Vegetation auf trittverträgliche Arten reduziert (CIPRA Deutschland e.V. 2023, S. 80–81). Schließlich sind auch Gewässersysteme durch menschliche Beeinträchtigung betroffen. So kann die Uferzone von alpinen Seen, sowie deren Trophie und Wasserklarheit durch erhöhtes Tourismusaufkommen beeinträchtigt werden (Ebner et al. 2022, S. 9).

1.1 Von bunten Müllbergen? Littering im Gebirge

Über diese Beeinträchtigungen hinaus stellt das sogenannte „Littering“ ein besonderes Problem im Hochgebirge dar. Man spricht von „Littering“ (deutsche Übersetzung: Vermüllung), wenn im öffentlichen Raum oder in der Natur anfallende Abfälle dort zurückgelassen werden, ohne, dass die vor Ort bestehende Infrastruktur zur Entsorgung genutzt wird. Der Unterschied zu illegaler Müllablagerung besteht darin, dass bei Littering die Abfälle im öffentlichen Raum anfallen. Bei illegaler Müllablagerung fallen die Abfälle meist im nicht öffentlichen Raum an (zum Beispiel im Haushalt) und werden anschließend im öffentlichen Raum entsorgt (Stoifl und Oliva 2020, S. 17). Littering kann bewusst oder unbewusst geschehen (ebd. S. 18). Grundsätzlich ist Littering ein Problem in allen öffentlichen Räumen. Im Siedlungsgebiet können die Ausmaße des Litterings zumindest bedingt von den Service-Betrieben vor Ort aufgefangen werden. Im Gegensatz hierzu besteht im Gebirge jedoch häufig schlicht nicht die Möglichkeit zurückgelassene Abfälle fachgerecht zu entsorgen. Wenn doch, dann ist diese Entsorgung mit erheblichen Mehrkosten verbunden (Alpenverein Edelweiss 2017, S. 31). So verbleiben im Gebirge zurückgelassene Abfälle unter Umständen lange Zeit in der Umwelt, wo sie eine erhebliche Gefahr, insbesondere für Tiere, darstellen. Weiterhin können Flüsse, Seen und Böden durch Abfälle kontaminiert werden (Alpenverein Edelweiss 2017, S. 32). Eine aktuelle, weltweite Umfrage unter Bergsportler_innen und Interessenvertreter_innen ergab, dass die überwiegende Mehrheit Abfälle im Gebirge als ein Problem mit dringendem Handlungsbedarf ansieht (Fouinat und Alfthan 2021, S. 7).

1.2 It's fantastic? Das Problem mit dem Plastik

Das „Global Mountain Waste Survey 2021“ ergab zudem, dass die meisten im Gebirge registrierten Abfälle auf oder in der Nähe von Wanderwegen gefunden werden. Weitere „Hot-Spots“ für Abfälle sind laut Umfrage Rastplätze, Parkplätze und Hütten (Fouinat und Althaus 2021, S. 10). Das dabei mit Abstand am häufigsten gefundene Material: Plastik (ebd. S. 8). Das ist keineswegs verwunderlich, denn was haben eine Schuhsohle, eine Energieriegelverpackung und eine Regenjacke gemein? Sie alle sind Produkte, die für die meisten Menschen zur Grundausstattung beim Bergsport gehören. Gleichzeitig finden sich in diesen Produkten die unterschiedlichsten Varianten eines ebenso wichtigen wie alltäglichen Materials: Kunststoff.

Unter dem Begriff „Kunststoff“ versteht man im Allgemeinen künstlich hergestellte Materialien, die aus langkettigen Kohlenstoffketten bestehen, den sogenannten „Polymeren“. Basis von Kunststoffen sind organische Stoffe wie Erdöl, Kohle oder Cellulose. Bei der Herstellung von Kunststoffen werden kurzkettige Moleküle (Monomere) aus dem Ausgangsmaterial durch eine katalysierte Reaktion aneinandergelagert, so entstehen lange Moleküle (Polymere). Gleichzeitig werden bei der Synthese den Kunststoffen meist weitere Bestandteile zugesetzt, die sogenannten Additive. Diese können die Eigenschaften der Polymere verändern. Je nachdem, welche Monomere in welcher Weise verknüpft werden und welche Additive hinzugegeben werden, hat das entstehende Material eine unterschiedliche Beschaffenheit. Die Hauptgruppen, in die bei Kunststoffen unterschieden wird, sind Thermoplaste und Duroplaste. Erstere zeichnen sich dadurch aus, dass sie weich werden, wenn sie erwärmt werden und beim Abkühlen wieder aushärten. Duroplaste hingegen werden nicht mehr weich, wenn sie erhitzt werden, sondern zersetzen sich (Fraunhofer UMSICHT o.J.; Plastics Europe o.J.a, o.J.b). Dadurch, dass bei der Herstellung von Kunststoffen die gewünschten Materialeigenschaften passgenau eingestellt werden können, sind Kunststoffe in zahlreichen Anwendungen einsetzbar. Unterschiedliche Herstellungsverfahren ermöglichen die Produktion von Kunststoffen mit diversen Eigenschaften, zum Beispiel für weiche Schuhsohlen, feinste Fasern oder stabile Verpackungen. Der Begriff „Plastik“, der synonym zu „Kunststoff“ verwendet wird, drückt genau das aus. Er bezieht sich auf die Plastizität, also die Formbarkeit des Kunststoffes während der Herstellung (Plastics Europe o.J.a). Diese Vielfalt der Anwendungen macht Kunststoffe zu einem Material,

dass heute aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken ist. Zudem sind Kunststoffe leicht, langlebig und kostengünstig in der Herstellung (Heinrich-Böll-Stiftung 2019, S. 14). Nicht allein aus diesen Gründen sind die weltweit produzierten Plastikmengen enorm. Allein in 2021 wurden weltweit fast 400 Millionen Tonnen Kunststoff produziert. Fast die Hälfte dieser Kunststoffe wurde für Verpackungen verwendet (Plastics Europe 2022a, S. 22). Doch die steigenden Produktionszahlen von Kunststoffen sind mit erheblichen Risiken verbunden (Plastics Europe 2022b). So basieren 90% der weltweit produzierten Kunststoffe auf fossilen Rohstoffen, insbesondere Erdöl und Erdgas (Heinrich-Böll-Stiftung 2019, S. 10; Plastics Europe 2022a, S. 18). Aktuell wird zudem angenommen, dass mehr als ein Drittel der produzierten Plastikprodukte bereits nach einem Monat zu Abfall werden. Verpackungen aus Kunststoff haben meist nur eine Lebensdauer von weniger als einem Jahr (Geyer et al. 2017, S. 2; Heinrich-Böll-Stiftung 2019, S. 15). Es wird geschätzt, dass zwischen 1950 und 2015 weltweit über 6000 Tonnen Plastikabfall akkumuliert wurden. Mehr als $\frac{3}{4}$ dieses Plastikabfalls (4900 Tonnen) landete in Depo-nien oder der Umwelt (Geyer et al. 2017, S. 2f.). Das Problem dabei: Polymere sind nicht bio-logisch abbaubar, können also nicht von Mikroorganismen vollständig abgebaut werden und verbleiben so lange in der Umwelt (IfBB o.J.). Dort stellen sie eine Gefahr für Biota, sowie für Gewässer und Böden dar. Das Umweltbundesamt Österreich definiert drei Hauptprobleme, die durch Plastik in der Umwelt entstehen können. Zunächst ist der Effekt des „Leachings“ zu nennen. Leaching beschreibt das Austreten von gefährlichen Stoffen, die dem Plastik bei der Herstellung zugesetzt wurden. Zweitens können Plastikpartikel in der Umwelt weitere Schadstoffe anreichern und so als Vektoren für andere umweltgefährdende Stoffe dienen. Zuletzt können auch die morphologischen Eigenschaften von Plastikpartikeln ein Umweltrisiko dar-stellen (Liebmann 2015, S. 23–25). Ein in diesem Zusammenhang häufig diskutiertes Problem: Mikroplastik. Unter Mikroplastik versteht man kleine Kunststoffpartikel. Die Größengrenzen für diese Gruppen sind in der bisherigen Forschung nicht einheitlich definiert. In dieser Arbeit wird die Definition der „Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the ocean“ des Umweltprogrammes der Vereinten Nationen (UNEP) übernommen. Diese Richtli-nie zielt auf die Harmonisierung der regional verwendeten Standardgrößen bei der Untersu-chung von Plastik in der Umwelt. Die Grenze für Mikroplastik wird hier bei einem Feret-Durch-messer (längster Durchmesser eines Objektes, unabhängig von seiner Form) von kleiner fünf Millimeter angesetzt (GESAMP 2019, S. 9f.). Kunststoffe können bereits als Mikroplastik

produziert werden, etwa zur Verwendung in Kosmetika, dann spricht man von primärem Mikroplastik (Liebmann 2015, S. 11). Häufig gelangt Mikroplastik aber als sekundäres Mikroplastik in die Umwelt, etwa beim Zerfall von größeren Plastikstücken (ebd.). Die Auswirkungen von Mikroplastik in der Umwelt sind derzeit noch wenig erforscht (Liebmann 2015, S. 25). Ein Problem der Erforschung von Mikroplastik: Plastik ist aufgrund der Vielfalt an Herstellungsprozessen, Ausgangsmaterialien und Additiven sehr unterschiedlich, so können auch die Wirkungen von Plastik in der Umwelt sehr verschieden ausfallen (Scherer et al. 2018, S. 173). Aktuelle Untersuchungen legen jedoch nahe, dass mit der Freisetzung von Mikroplastik in der Umwelt diverse Risiken einhergehen können, beispielsweise in Böden und Süßgewässer-Ökosystemen (Scherer et al. 2018, S. 173f.; Umweltbundesamt 2020a, S. 8–10).

Plastikmüll stellt also aufgrund der enormen weltweit produzierten Menge und seiner langen Beständigkeit, sowie seiner vielfältigen potentiellen Wirkungen ein hohes Gefährdungspotential für Natur und Umwelt dar. Studien zum Vorkommen von Plastik unterschiedlicher Größenklassen in Hochgebirgsregionen sind aktuell noch limitiert (Padha et al. 2022, S. 2). Initiativen wie das Citizen-Science-Projekt „Plastic.Alps“ der Universität Innsbruck, in dem auch diese Arbeit integriert ist, versuchen diesen Umstand zu ändern. Im Projekt soll durch die Zusammenarbeit mit Schulen und Freiwilligen die Datengrundlage über das Vorkommen von Plastik im Hochgebirge verbessert werden (Plastic.Alps o.J.).

1.3 Zwischen Nutzung und Naturschutz – Zielkonflikte in alpinen Schutzgebieten

Auch in Schutzgebieten im Hochgebirge ist die Datengrundlage zu Abfällen bisher unzureichend, denn hierzu werden oft keine Daten erhoben (Stoifl und Oliva 2020, S. 102). Hier besteht dringend Nachholbedarf. Denn in alpinen Schutzgebieten spitzt sich die der Konflikt zwischen touristischer Nutzung und Naturschutz zu. Das liegt in einem einfachen Zielkonflikt begründet. Dieser wird deutlich am Beispiel des Nationalparks Hohe Tauern in Österreich: Mit einer Fläche von 185.600 ha ist der Nationalpark Hohe Tauern (NPHT) der größte und älteste der insgesamt sechs österreichischen Nationalparks (Nationalparks Austria o.J.). Die Gesamtfläche des Nationalparks erstreckt sich über die drei Bundesländer Kärnten, Salzburg und Tirol (Osttirol). Die größten Gebiete des Nationalparks liegen dabei in Salzburg (80.500 ha), gefolgt

von Tirol (61.100 ha) und Kärnten (44.000 ha) (NPHT 2023, S. 6). Der Nationalpark Hohe Tauern ist international nach den Kriterien der International Union for Conservation of Nature (IUCN) seit 2001 (Teilgebiet Kärnten) beziehungsweise 2006 (Gebiete Salzburg und Tirol) als Nationalpark anerkannt (NPHT o.J.a). Schutzgebiete nach IUCN Kategorie II (Nationalparks) sind großflächige Gebiete in einem natürlichen oder naturnahen Zustand, in denen natürliche Prozesse ungestört ablaufen können (EUROPARC Deutschland 2010, S. 21). Das vorrangige Managementziel von Nationalparks nach IUCN Kategorie II wird folgendermaßen definiert:

„Schutz der natürlichen biologischen Vielfalt zusammen mit der ihr zugrundeliegenden ökologischen Struktur und den unterstützenden ökologischen Prozessen sowie Förderung von Bildung und Erholung.“

(EUROPARC Deutschland 2010, S. 21)

Laut Definition der IUCN sollen in Nationalparks also sowohl ökologische Abläufe geschützt werden, als auch die Erholung gefördert werden (EUROPARC Deutschland 2010, S. 21f.). Darüber hinaus sollen Nationalparks auch die Wirtschaft vor Ort und überregional stärken (ebd.). Der Nationalpark Hohe Tauern bildet alle für die Zentralalpen charakteristischen Lebensräume ab (NPHT o.J.a; Sauberer et al. 2017, S. 5). Auf dem Gebiet des Nationalparks kommen rund 50 % der in Österreich bekannten Säugetier-, Reptilien-, Amphibien- und Vogelarten, sowie 30 % der in Österreich nachgewiesenen Pflanzenarten vor (NPHT o.J.a). Hervorzuheben sind auch die vielfältigen Gewässerökosysteme, die im Nationalpark vorkommen. Etwa 6 % der Gesamtfläche des Nationalparks sind von Eis bedeckt; der Park beinhaltet die größten Gletscherflächen der Ostalpen. Neben 279 Bächen, die alle Bachsysteme der Hochgebirge repräsentieren, liegen im Nationalpark etwa 500 Seen (NPHT o.J.b). Gleichzeitig stellt der Park aber auch einen wichtigen regionalen Wirtschaftsfaktor dar. Das wird deutlich, wenn man die aktuellen Besuchszahlen für den Tiroler Teil des Nationalparks auswertet. In diesem Teilgebiet des Parks ist die in dieser Arbeit vorgenommene Untersuchung angelegt. Allein für die Sommersaison 2023 kann eine Gesamtzahl von 453.393 Besuchen im Nationalpark Hohe Tauern Tirol geschätzt werden. Bei insgesamt 595.004 Nächtigungen in den zehn Nationalparkgemeinden in Osttirol ergibt sich ein Wert von 0,76 Nationalparkbesuchen je Übernachtung in den Nationalparkgemeinden (Amt der Tiroler Landesregierung o.J.). Das bedeutet: Auf 10 Übernachtungen in den Nationalparkgemeinden kommen rund 8 Besuche des Nationalparks. Bezogen auf die

Fläche des Nationalparkgebietes in Osttirol lässt sich für die Sommersaison 2023 eine Besuchsdichte von 742 Besuchen pro Quadratkilometer ermitteln (NPHT o.J.a). Details zur Berechnung dieser Werte sind in Anhang II beschrieben. Bei einer Umfrage von 2013 gaben zudem von 910 Befragten rund 21 % an, dass sie ihren Urlaub aufgrund des Nationalparks Hohe Tauern in einer der Nationalparkregionen verbringen (für Tirol 20 %, n = 395), weitere 35 % (Tirol: 32 %) gaben an, dass der Nationalpark einen zusätzlichen Anreiz darstellt, Urlaub in der Region zu verbringen (Lehar und Bayer 2014, S. 13). Der Nationalpark stellt also durchaus ein beliebtes touristisches Ziel dar. Aber lässt sich der Tourismus mit den Naturschutzziele des Nationalparks vereinbaren? Durch menschliche Aktivitäten gelangen Abfälle ins entlegene Hochgebirge, in dem keine adäquate Entsorgung möglich ist. Im Nationalpark zurückgelassener Müll, insbesondere Plastikmüll, kann unter Umständen lange in der Umwelt verbleiben und stellt für die Natur im Nationalpark ein ernstzunehmendes Risiko dar. Ein nachhaltiges Schutzgebietsmanagement muss den Konflikt zwischen Naturschutz und Nutzung in seiner Zielsetzung angemessen berücksichtigen. Daher ist es von besonderer Bedeutung, die Auswirkungen des Alpin-tourismus auf die Schutzgüter des Nationalparkes zu kennen. Nur dann können Maßnahmen ergriffen werden, die negative Auswirkungen auf die Schutzziele des Nationalparks verhindern und einen Besuch im Einklang mit der Natur ermöglichen. Aus diesem Grund widmet sich diese Arbeit folgender Frage:

In welchem Ausmaß sind Wanderwege im Nationalpark Hohe Tauern durch den Alpinsport mit (Plastik-)Abfällen belastet?

Die im Rahmen dieser Arbeit angestellten Untersuchungen konzentrieren sich dabei auf ein bei Touristen besonders beliebtes Tal im Osttiroler Teil des Nationalparks Hohe Tauern: das Gschlössstal. Ziel dieser Arbeit ist es, eine erste Datengrundlage zur Belastung von Wanderwegen im Nationalpark Hohe Tauern mit Abfall und insbesondere mit Plastikmüll zu schaffen. Im Gschlössstal wurden Wege unterschiedlicher Frequentierung und Nutzung untersucht und verglichen. Aus den gewonnenen Daten ergibt sich ein detailliertes Bild über die aktuelle Belastung des Gschlössstals mit Abfällen. Dieses wird genutzt, um zu ermitteln ob und in welchem Umfang der Abfall ein Risiko für die Schutzgüter des Nationalparks darstellt. Abschließend werden aus den erlangten Ergebnissen konkrete Handlungsempfehlungen für den Nationalpark, aber auch für Partnerbetriebe und Besuchende abgeleitet.

2 Die Spurensuche – Methodisches Vorgehen

Konkret sollen in dieser Arbeit folgende Forschungsfragen bearbeitet werden:

1. Wie viel und welchen Abfall findet man auf Wanderwegen in einem hochalpinen Schutzgebiet? (siehe Kapitel 3)
2. Unterscheidet sich das Abfallaufkommen zwischen Außen- und Kernzone des Nationalparks? (siehe Kapitel 3.1)
3. Verändert sich die Belastung der Wanderwege mit Abfällen mit der Frequentierung durch Besuchende? (siehe Kapitel 3.2)
4. Verändert sich die Belastung der Wege mit Abfällen mit unterschiedlicher Nutzung der Wege? (siehe Kapitel 3.3)
5. Lässt sich ein Zusammenhang zwischen dem Abfallaufkommen auf den Wegen und deren Infrastrukturausstattung feststellen? (siehe Kapitel 3.4)
6. Wie viel Plastik findet sich auf den Wegen im Gschlöstal und aus welchen Polymeren ist dieses aufgebaut? (siehe Kapitel 3.5)

2.1 Auswahl des Untersuchungsgebietes

Die Auswahl des Untersuchungsgebietes erfolge in Abstimmung mit dem Nationalpark Hohe Tauern. Ein geeignetes Untersuchungsgebiet sollte vornehmlich drei Kriterien erfüllen: Erstens sollte es eher stark von Besuchenden frequentiert werden und über eine gute Infrastrukturausstattung verfügen. Zweitens sollte innerhalb des Untersuchungsgebietes ein Wechsel zwischen Außen- und Kernzone des Nationalparks erfolgen. In den Kernzonen des Nationalparks steht der Schutz von ungestörten ökologischen Prozessen im Vordergrund. Hier findet kein Ausbau bestehender Infrastruktur statt. Wenn Besuchende oder Infrastruktur Lebensräume beeinträchtigen, sollen zudem angemessene Maßnahmen ergriffen werden. In der Außenzone liegt der Fokus hingegen auf der Pflege der historisch gewachsenen Kulturlandschaft. Diese soll gepflegt und entwickelt werden. Des Weiteren soll in diesen Gebieten auch ein besonderer Fokus auf den Erhalt und die Förderung der Biodiversität gelegt werden (NPHT 2016, S. 10f.). Als drittes Kriterium sollten im Untersuchungsgebiet mehrere Wege mit unterschiedlicher

Nutzungsart- und Intensität beprobt werden, um diese vergleichen zu können. Die Rücksprache mit dem Nationalpark (Mattersberger, Helene (Öffentlichkeitsarbeit NPHT) 2023) ergab, dass das Gschlöstal in Osttirol als Untersuchungsgebiet alle Kriterien erfüllt.

2.2 Untersuchungsgebiet

Die Karte 1.1 (siehe digitales Begleitmaterial) zeigt eine Übersicht über das Untersuchungsgebiet. Das Gschlöstal ist das nördlichste Tal des Osttiroler Teilgebietes des Nationalparks Hohe Tauern. Es verläuft in West-Östlicher Richtung und wird im Norden, sowie im Süden durch zwei Bergrücken begrenzt, die eine Höhe von ca. 3000 m ü. NN erreichen. Der das Tal nördlich begrenzende Höhenzug mit den Gipfeln Seekopf (2922 m ü. NN) und Roter Kogel (2946 m ü. NN) stellt gleichzeitig die Grenze zum Bundesland Salzburg dar. Prägend für das Gschlöstal ist der Großvenediger; mit einer Seehöhe von 3658 m ü. NN ist er der höchste Gipfel der Venedigergruppe (siehe Karte 1.1). Die Außengrenze des Nationalparks verläuft bei der Ortschaft Außer- gschlöss, nordöstlich des Matreier Tauernhauses. Dieses ist über die Felbertauernstraße erreichbar und verfügt über einen Wanderparkplatz. Für Besuchende des Nationalparks stellt das Matreier Tauernhaus den Ausgangspunkt für einen Ausflug in das Gschlöstal dar (Schlosser 2018, S. 10; siehe auch Karte 1.1). Der westliche Talschluss ist von den Ausläufern des östlichen Großvenediger Gletschers, dem Schlatenkees dominiert; dieses ist über den Gletscherlehrweg Innergschlöss zu erreichen (Schlosser 2018, S. 83, siehe auch Karte 1.1). Das Schlatenkees hat heute (Stand 2018) noch eine Eisfläche von ca. 9 km². Geomorphologisch stellt das Gschlöstal ein ehemaliges Gletschertrogtal dar (Schlosser 2018, S. 15). Im Talboden fließt heute der Gschlössbach, der das Gebiet charakterisiert. Er wird am westlichen Talende aus den beiden Gletscherbächen Viltragenbach und Schlatenbach gespeist und mündet außerhalb des Nationalparks in den Tauernbach (Schlosser 2018, S. 44). Der Gschlössbach wurde 1988 vom Österreichischen Alpenverein in die "Liste der repräsentativen Gletscherbäche" aufgenommen (Hasslacher und Lanegger 1988, S. 17f. und 21f.). Diese schließt Gletscherbäche ein, die ein vergletschertes Einzugsgebiet von mindestens 3 km² aufweisen (ebd.). Laut Schlosser (2018, S. 48) waren von den 45 ursprünglich als "repräsentativ" eingestuften Bächen in 2018 weniger als die Hälfte (n = 19, 42 %) unbeeinträchtigt von skitouristischer oder energiewirtschaftlicher Nutzung, darunter der Gschlössbach. Hinter der Ortschaft Innergschlöss ist der Gschlössbach

aufgrund der landwirtschaftlichen Nutzung im Tal jedoch abschnittsweise kanalisiert (Schlosser 2018, S. 26f.).

Um das Klima im Untersuchungsgebiet zu beschreiben, wurden die Werte der nahegelegenen Messstation Felbertauerntunnel Südportal (siehe Karte 1.1) verwendet. Diese wird vom hydrographischen Dienst Tirol betrieben, Messdaten sind aktuell (Stand Januar 2024) von 1979 bis 2020 verfügbar (Hydrographischer Dienst Tirol o.J.a). Nach dem Hydrographischen Jahrbuch 2020 der Messstation Felbertauerntunnel-Süd (BML 2023) lag der Jahresniederschlag in 2020 bei 1631 mm, im langjährigen Vergleichszeitraum (1981 – 2010) bei 1385 mm. Die Jahresmitteltemperatur lag in 2020 bei 4,8°C, im langjährigen Mittel bei 3,7°C. Das Klima im Untersuchungsgebiet kann als ganzjährig humides Klima der gemäßigten Breiten beschrieben werden, welches jedoch durch die mesoklimatischen Effekte der umgebenden Gebirgsketten überprägt ist. So bildet der Alpenhauptkamm, in welchem sich der Nationalpark Hohe Tauern befindet, eine natürliche Wetterscheide. Durch die Stauwirkung von Nord- und Südalpen werden im Alpenhauptkamm die höchsten Niederschlagssummen Österreichs gemessen (Sauberer et al. 2017, S. 4). Gleichzeitig steht die geringe mittlere Jahrestemperatur im Untersuchungsgebiet im Zusammenhang mit der großen Höhe über dem Meeresspiegel (ebd. S. 1).

Das Untersuchungsgebiet ist, wie der gesamte Nationalpark Hohe Tauern, dem Naturraum der Zentralalpen zuzuordnen (ebd. S. 3). Es spiegelt die für die Zentralalpen charakteristischen Lebensräume im Wesentlichen wider. Charakteristisch für die Landschaft der Zentralalpen sind zunächst ausgedehnte Waldgebiete (ebd. S. 5). In den Wäldern der Montanstufe (700 - 1700 m ü. NN) dominieren Laubmischwälder, die dann in den höheren Lagen in Fichtenwälder übergehen. Daran schließen sich die Zirben- und Lärchenwälder der Subalpinstufe (1.600 - 2.300 m ü. NN) an (NPHT o.J.d). Vor allem Letztere sind in den niedrigeren Lagen des Gschlöstals verbreitet zu finden (Schlosser 2018, S. 58f. und 65f.). Daneben sind auch Offenlandlebensräume charakteristisch für die Zentralalpen (Sauberer et al. 2017, S. 5). In der Subalpinstufe sind anthropogen entstandene Wiesengesellschaften häufig. Gemeinsam mit den natürlichen alpinen Rasen, die die alpine Höhenstufe (2.300 - 3.000 m ü. NN) prägen, sind sie ebenfalls charakteristisch für die Landschaft der Zentralalpen (NPHT o.J.d; Sauberer et al. 2017, S. 5). Solche Grasgesellschaften sind sowohl im Talboden als auch in den höheren Lagen des Gschlöstals

repräsentiert (Schlosser 2018, S. 25ff. und 74f.). Aktuell wird im Gschlöstal eine Fläche von ca. 500 ha extensiv durch Weidehaltung bewirtschaftet. Insgesamt belief sich die Zahl der Tiere in 2017 auf rund 600. Den größten Anteil machten dabei Schafe aus (280), gefolgt von Rindern (250) und Ziegen (65). Während die Rinderherden eher in den niederen Tallagen gehalten werden, wandern Schafe und Ziegen auch durch die höheren Lagen des Gschlöstals (Kernzone) (ebd. S. 23). Zuletzt sind in den Hochgebirgen auch die felsig-schuttigen Bereiche, sowie kleinräumig glaziale Gebiete kennzeichnend (Sauberer et al. 2017, S. 5). Diese sind vor allem in der Nivalstufe (ab 3000 m ü. NN) zu finden. Hier herrschen extreme Lebensbedingungen, die von der Biozönose starke Anpassungen erfordern (NPHT o.J.d). Auch diese sind im Gschlöstal repräsentiert (Schlosser 2018, S.86 ff. und 94-98). Das Gschlöstal ist somit repräsentativ insbesondere für die subalpine bis nivale Höhenstufe der Zentralalpen. Neben der bereits erwähnten landwirtschaftlichen Nutzung ist das Gebiet auch stark touristisch genutzt. An der Grenze des Nationalparks liegt das "Berghaus Außergschlöss", das als Gasthaus betrieben wird, sowie einige weitere Häuser, die die "Almsiedlung Außergschlöss" bilden. Innerhalb des Tals liegt die Siedlung Innergschlöss mit dem "Venedigerhaus", einem Gasthaus mit Übernachtungsmöglichkeit, sowie einigen Souvenirläden und landwirtschaftlichen Bauten (Schlosser 2018, S. 18–21). Es führen mehrere Wanderwege durch das Gebiet. Der Weg im Talboden, der nördlich des Gschlössbach verläuft, ist als einziger dieser Wege auch für Fahrräder und Kraftfahrzeuge zugelassen (in Karte 1.1 rot markiert; Jurgeit, Florian (Forschung und GIS NPHT Tirol) 2023). Auf diesem Fahrweg verkehren zwischen dem Matreier Tauernhaus (außerhalb des Nationalparks) und dem Venedigerhaus Innergschlöss täglich ein Taxi, sowie ein "Panoramazug" (Traktor mit Personenanhänger). Ebenso sind Fahrzeuge von Landwirtschaft und für die Versorgung der Hütten im Gschlöstal erlaubt (ARGE Gschlöß o.J.; Schlosser 2018, S. 11–13). Insbesondere der Gletscherlehrweg Innergschlöss (markiert in Karte 1.1) wird vom Nationalpark Hohe Tauern explizit als Ausflugsziel beworben (NPHT o.J.c), im Sommer finden hier auch geführte Ranger-touren statt (Schlosser 2018, S. 151). In der touristischen Hauptsaison ist der Gletscherlehrweg Innergschlöss stark frequentiert. Schlosser (2018, S. 52) geht von mehreren Hundert Menschen aus, die bei gutem Wetter täglich auf dem Weg anzutreffen sind.

2.3 Auswahl der zu beprobenden Wege

Im Gschlössstal wurden insgesamt vier Wanderwege ausgewählt, auf denen Abfälle gesammelt wurden:

1. Der Fahrweg von Außergschlöss in das Gschlössstal (hiernach Fahrweg Innergschlöss)
2. Der Gletscherlehrweg Innergschlöss (hiernach Gletscherlehrweg)
3. Der Wanderweg über die alte Prager Hütte zur neuen Prager Hütte (hiernach Wanderweg Prager Hütte, Prager Hüttenweg)
4. Der Wanderweg in Richtung Fürther Hütte bis zum Sandebentörl (hiernach Wanderweg Sandebentörl)

Die Karte 1.2 (siehe digitales Begleitmaterial) zeigt die für die Beprobung ausgewählten Wege. Wie oben beschrieben, sollten die Wege Unterschiede in der Frequentierung, sowie der Nutzungsart aufweisen. Um einen Unterschied in der Nutzungsart mit aufzunehmen, wurde der Fahrweg Innergschlöss mit in die Beprobung aufgenommen. Dieser wird als einziger Weg im Gschlössstal auch von Autos und Fahrrädern genutzt (siehe Kapitel 2.2). Da keine lokalen Besucherzahlen durch den Nationalpark erhoben werden, wurde auf öffentlich verfügbare Daten zurückgegriffen um sicherzustellen, dass Wege mit unterschiedlich starker Frequentierung beprobt werden. Hierzu wurde die „Heat Map“ des Anbieters STRAVA ausgewertet. STRAVA ist ein soziales Netzwerk, welches es Anwendern ermöglicht, sportliche Aktivitäten georeferenziert aufzuzeichnen. Öffentliche Nutzerdaten werden dann dazu verwendet, die frei zugängliche „Heat Map“ zu erstellen. Durch Nutzer, die ihre Route über GPS aufzeichnen, werden Aktivitäten akkumuliert. Je heller ein Bereich der Karte erscheint, desto stärker ist dieser Bereich frequentiert. Die Karte wird monatlich aktualisiert (STRAVA 2023). Eine „Heat Map“ der Wanderwege im Gschlössstal ist in Abbildung 1 dargestellt (für eine detaillierte Darstellung siehe digitales Begleitmaterial Karte 1.3). Die „Heat Map“ bestätigt die starke Frequentierung des Fahrwegs Innergschlöss im Tal sowie des Gletscherlehrwegs Innergschlöss und des Prager Hüttenweges (in Richtung Gipfel des Großvenedigers). Der Weg in Richtung des Sandebentörls ist hingegen nur wenig begangen.

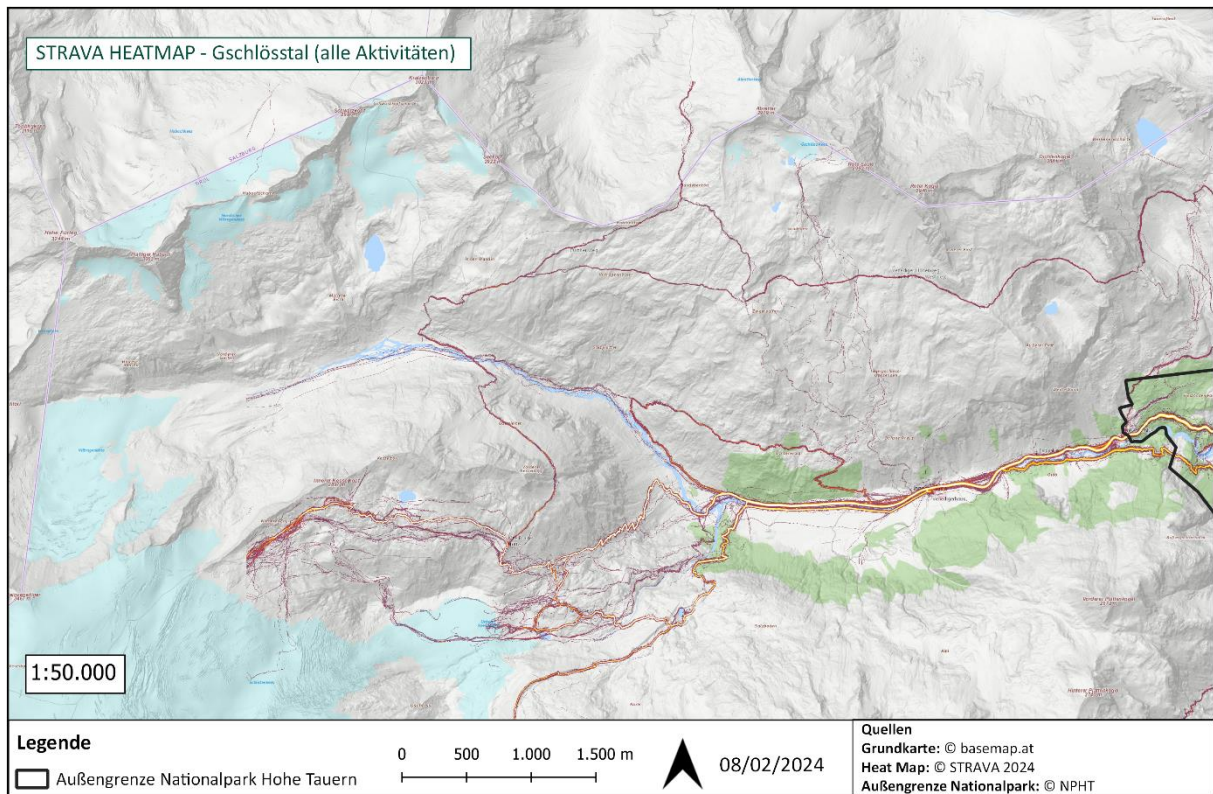


Abbildung 1: STRAVA "Heat Map" aller aufgezeichneten Aktivitäten - Stand 02/2024

Der Wanderweg in Richtung Prager Hütte, sowie der Wanderweg in Richtung Sandebentörl wurden zudem ausgewählt, weil sie zwischen dem Start im Gschlössstal und dem festgelegten Wegende einen Höhenunterschied von circa 1000 Höhenmetern (Start bei ca. 1700 m ü. NN, Ende bei ca. 2700 m ü. NN) aufweisen. Somit können die Lebensräume der subalpinen (1600 - 2300 m), sowie der alpinen Höhenstufe (2300 – 3000 m) in den Erhebungen abgedeckt werden (NPHT o.J.d). Die Eigenschaften der beprobten Wege sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Eigenschaften der beprobten Wege

Weg	Startpunkt	Endpunkt	Länge (km)	Länge Transekte (m)	Starthöhe (m ü NN)	Endhöhe (m ü NN)	Höhendifferenz
Fahrweg Innerschlöss	Berghaus Außerschlöss	Materialseilbahn Prager Hütte	5,00	500,05	1666	1738	72
Gletscherlehrweg Innerschlöss	Hinweisschild Gletscherlehrweg	Wegweiser Gletschertor	4,17	416,62	1715	2171	456
Wanderweg Prager Hütte	Brücke Gschlössbach	Unterhalb Neue Prager Hütte	6,42	642,31	1738	2670	932
Wanderweg Sandebentörl	Abzweig Sandebentörl	Sandebentörl	5,70	570,50	1689	2709	1.020

2.4 Beprobung

In Vorbereitung der Beprobung wurde zunächst in einem Geoinformationssystem (GIS, Esri ArcMap 10.6.1) eine Karte des Untersuchungsgebietes mit allen zu beprobenden Wegen erstellt. Auf dem Fahrweg Innergschlöss, sowie auf den Wanderwegen in Richtung Prager Hütte und Sandebentörl wurden zehn äquidistante Punkte gesetzt. An diesen Punkten wurden Bodenproben auf dem Weg genommen, um die Belastung mit Mikroplastik zu untersuchen. Die Auswertung dieser Proben erfolgt in einer separaten Arbeit (Platter in prep.). Anhand dieser insgesamt 30 Punkte wurden die Wege in jeweils zehn Transekte unterteilt. Dabei lag das erste Transekt jeweils zwischen dem Startpunkt des Weges und dem ersten Beprobungspunkt, das letzte dementsprechend zwischen dem neunten und zehnten Beprobungspunkt des Weges. Eine Übersicht über die Wege und Transekte enthält die Karte 1.2 im digitalen Begleitmaterial. Die Beprobung des Gletscherlehrwegs wurde erst im Feld entschieden, da sich dieser Weg als bei Besuchenden besonders beliebt zeigte. Daher erfolgte eine Einteilung in Transekte für diesen Weg erst nach der Beprobung. An diesem Weg wurden keine Bodenproben genommen. Die Vorgehensweise zur nachträglichen Einteilung gefundener Abfälle in Transekte auf dem Gletscherlehrweg ist unter Kapitel 2.6 beschrieben.

Die Beprobung fand an drei Tagen im September 2023 statt (12. – 14.09.2023). Die Beprobungsmethodik wurde, mit einigen Modifikationen, von Parolini et al. (2021, S. 2) übernommen. Auf jedem Transekt wurde der Abfall eingesammelt, der mit bloßem Auge bei langsamem bergauf gehen erkennbar war. Bevor ein Objekt aufgesammelt wurde, wurde es zunächst *in situ* fotografiert. Müll, der auf dem Rückweg gefunden wurde, wurde zwar eingesammelt, jedoch nicht in den Proben inkludiert. Im Unterschied zu Parolini et al. (2021, S. 2) wurde die Randzone der Wege nicht mit beprobt. Der Grund hierfür war, dass die Randzonen der verschiedenen Wege sehr unterschiedlich gestaltet sind und die Einbeziehung möglicherweise zu einer Verzerrung der Ergebnisse geführt hätte. Pro Transekt wurde eine mit dem Transektcode beschriftete Papiertüte zum Sammeln des Abfalls verwendet. Nach Erreichen des jeweiligen Transektendes wurde die Öffnung der Tüte mehrmals gefaltet, festgetackert und die Tüte in einen Stoffbeutel überführt. Am Weg gefundene Papiertaschentücher wurden je Transekt notiert, jedoch nicht eingesammelt. Um eine Kontamination der Proben zu vermeiden, wurden

keine Handschuhe beim Sammeln getragen. Des Weiteren wurde, sofern möglich, Baumwollkleidung getragen; sonstige Kleidung wurde dokumentiert. Jeder Weg wurde nur einmal und nur in eine Richtung begangen. Nach der Beprobung wurden alle Proben in die Universität Innsbruck gebracht, dort verschlossen zum Trocknen ausgelegt und anschließend bis zur Auswertung gelagert.

2.5 Laboranalyse

Die weitere Analyse der gefundenen Abfallobjekte erfolgte ebenfalls in ähnlicher Weise zu dem in Parolini et al. (2021, S. 3–4) beschriebenen Vorgehen. Zunächst wurde das Gesamtgewicht aller Objekte eines jeden Transektes ermittelt ($\pm 0,1$ g). Anhand der im Feld aufgenommenen Fotos und den zugeordneten Zeitcodes konnte die Reihenfolge der Objektfunde im Labor nachvollzogen werden. Die Objekte wurden in dieser Reihenfolge mit fortlaufenden Identifikationsnummern (ID) versehen und der Fundzeitpunkt notiert. Anschließend wurde die Farbe jedes Objektes notiert, ebenso die vermutete Herkunft. Es wurde in sieben Herkunftskategorien unterschieden: Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Tourismus, Gastronomie, Wartung, Sonstiges und unbekannt. Die Kategorie „Sonstiges“ wurde vergeben, wenn die Herkunft vermutet werden konnte, jedoch keiner der vorigen Kategorien entsprach. Die Kategorie „unbekannt“ wurde hingegen vergeben, wenn die Herkunft nicht ermittelt werden konnte. Weiterhin wurden die gefundenen Objekte nach ihrer Art und Verwendung klassifiziert. Hierfür wurde das Categoriesystem der Citizen Science-App „DreckSpotz“ (GLOBAL 2000 o.J.) verwendet. Die App unterscheidet Abfälle in acht Hauptklassen (Plastik und Gummi, Metall, Glas und Keramik, Elektro, Papier, Textilien, Zigaretten, Sonstiges), die jeweils weitere Unterkategorien aufweisen (siehe hierzu auch digitales Begleitmaterial 2.2.1 Blatt 0). Diese Aufteilung ermöglicht sowohl eine grobe als auch eine feinstufige Klassifizierung der gefundenen Abfälle; gleichzeitig können die erhobenen Daten so mit verfügbaren Citizen Science Daten verglichen werden.

Um die Fläche und den Feret-Durchmesser (maximaler Durchmesser) der gefundenen Objekte zu bestimmen, wurde jedes Objekt einzeln auf eine Leuchtplatte gelegt, die über eine Skalierung am Rand verfügt. Senkrecht darüber wurde auf einem Stativ eine Kamera montiert

(Fujifilm Modell XT-10). So wurde bei stets gleichbleibenden Einstellungen (Winkel, Abstand, Kameraeinstellungen) jedes Objekt fotografiert. Dabei wurde das Objekt mit einer Plexiglas-scheibe flachgedrückt um die gesamte Fläche abzubilden. Vor und nach jedem Transekt wurde zudem ein Kontrollfoto mit einem Quadrat aufgenommen, dessen Fläche und maximaler Durchmesser bekannt waren. Dies ermöglicht eine einheitliche Skalierung und gewährleistet konstante Messergebnisse. Ein Beispiel für die Fotoverarbeitung ist in Abbildung 2 dargestellt. Jedes Foto wurde mit der entsprechenden Objekt-ID benannt und in der Open-Source Software FIJI (Version 2.15.0, Schindelin et al. 2012) verarbeitet. Ein bebildertes Protokoll des gesamten Verarbeitungsprozesses ist dieser Arbeit im digitalen Begleitmaterial 3.1 beigelegt.

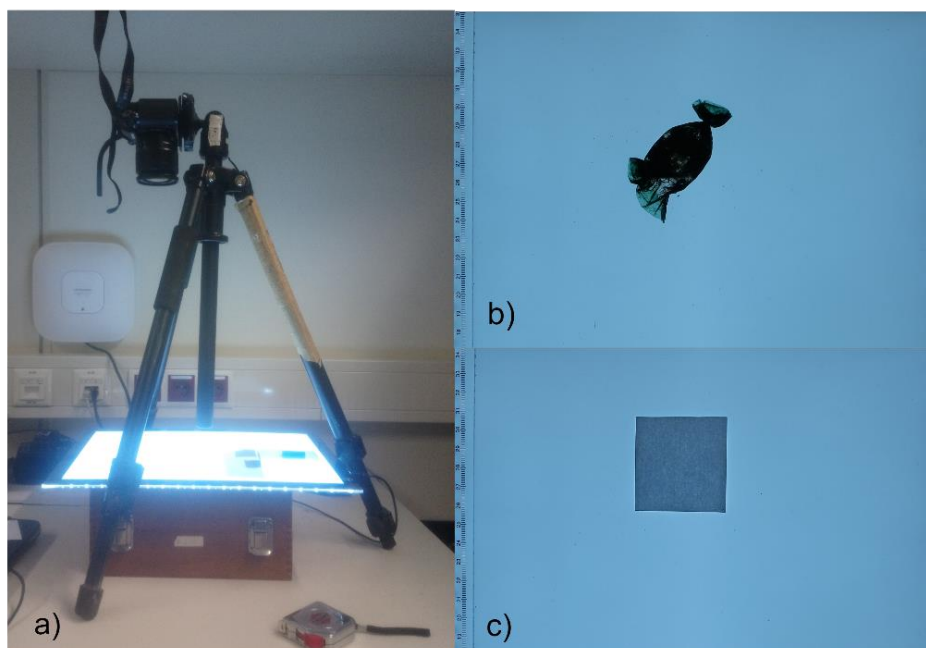


Abbildung 2: Dokumentation der Fotoaufnahmen für die Objektvermessung:
a) Aufbau der Fotostation b) Objektfoto Bonbonpapier c) Kontrollfoto

Nachdem jedes Objekt abfotografiert und gemessen war, wurde ein Stück des Objektes abgeschnitten und in eine Cell Culture Plate (greiner bio-one CELLSTAR) überführt. Jede Platte wurde mit dem zugehörigen Transektcode beschriftet, die einzelnen Zellen mit der Objekt-ID. Zusätzlich wurde die Zellnummer jedes Objekts notiert. Diese Objektstücke wurden anschließend für die chemische Identifizierung verwendet. So kann der Anteil von Kunststoffprodukten am insgesamt gefundenen Abfall chemisch ermittelt werden. Dazu wurde jedes Objektteilstück einzeln unter einem Infrarotspektrometer gemessen. Hierfür wurde das „ALPHA II COMPACT FT-IR SPECTROMETER“ der Firma Bruker im Modus „attenuated total reflection“ (ATR) verwendet. ATR ist eine Variante der Spektroskopie mit Infrarotlicht, die häufig für die

Detektion von Polymerpartikeln mit einer Größe von $> 500 \mu\text{m}$ angewendet wird (Käppler et al. 2016, S. 2; Möller et al. 2020, S.7f.). Dabei wird das zu testende Medium auf einen Diamanten gespannt durch den Infrarotlicht gesendet wird.

Der Diamant fungiert dabei als ein "Lichtbrecher", der den Winkel des einfallenden Lichts so verändert, dass der Lichtstrahl von dem darauf gespannten Medium zurückgeworfen wird und wieder durch den Diamanten zurückgesendet wird. Da sich Licht in Wellen bewegt, werden einige Wellen nicht direkt reflektiert, sondern interagieren mit dem Testmedium. Das zurückgeworfene Licht wird dann detektiert und bildet ein Wellenlängenspektrum, welches eine charakteristische Form hat (BRUKER o.J.). Diese Form wird dann mit Spektren aus einer Referenzbibliothek abgeglichen. So kann das Material bestimmt werden. Für die vorgenommenen Messungen wurden die folgenden Einstellungen verwendet: Der Wellenbereich des mittleren Infrarotlichtspektrums (Wellenzahl $4000 \text{ cm}^{-1} - 400 \text{ cm}^{-1}$) mit einer Spektralauflösung von 4 cm^{-1} . Von jedem Objekt wurden 32 Scans angefertigt. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die verwendeten Vergleichsbibliotheken:

Tabelle 2: Verwendete ATR-Referenzbibliotheken

Name der Referenzbibliothek	Anzahl Referenzspektren
Bruker ATR-POLYMER IR-Library	117
Bruker Basf IR-Library	3929
Bruker Polymer IR-Library	1307
Bruker Merck IR-Library	3120
Bruker Natured Fibers (Helios) IR-Library	155
Bruker Pharma IR-Library	390
Bruker Synthetic Fibers ATR-Library	333
Bruker Filler IR-Library	308
Bruker Drug IR-Library	744
Gesamt	10.403

Abbildung 3 zeigt das Spektrum eines Objekts das auf dem Gletscherlehrweg gefunden wurde. Auf der X-Achse des Diagramms sind die Wellenzahlen des Lichts aufgetragen, auf der Y-Achse die Intensität der Absorption. In Rot dargestellt sieht man das detektierte Spektrum, darüber (blau) liegt das Referenzspektrum eines T-Shirts aus 100 % Polyester.

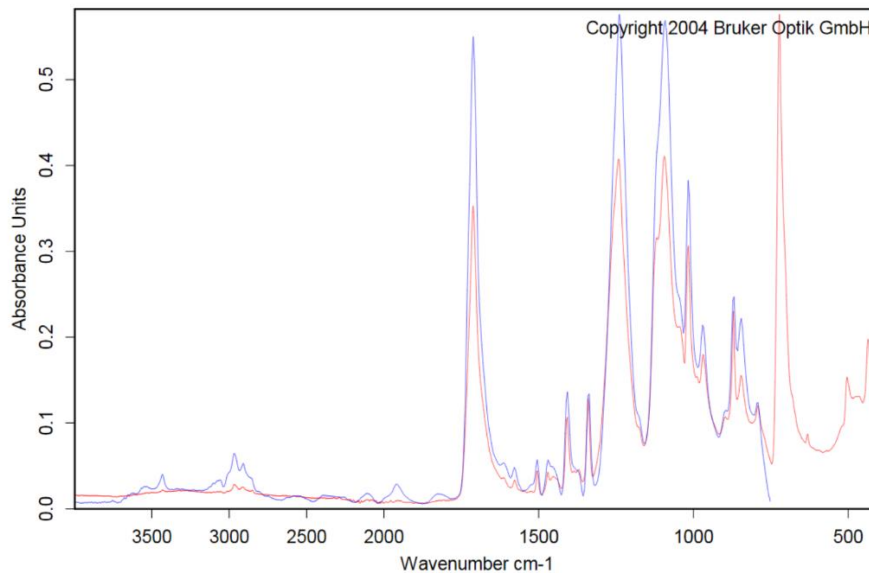


Abbildung 3: Beispielspektrum der ATR-Messung:
gemessenes Spektrum des Testobjektes (rot) und Referenzspektrum (blau) - Hitqualität 976

Je ähnlicher der Verlauf der Kurven, desto höher ist die Übereinstimmung zwischen Probe und Referenz. Diese Übereinstimmung wird als „Hit-Qualität“ bezeichnet. Jedoch konnten nicht alle Objekte so eindeutig bestimmt werden, wie in dem in Abbildung 3 dargestellten Fall. Daher wurde in der Bruker Software OPUS eine automatisierte Spektrensuche durchgeführt, welche das detektierte Spektrum mit den über 10.000 verfügbaren Referenzspektren abgleicht (siehe Tabelle 2). Es wurden jeweils die fünf Referenzspektren mit der höchsten Hit-Qualität für die Bestimmung berücksichtigt. Lagen die Hit-Qualitäten aller Referenzspektren unter einem Wert von 700 wurde ein Objekt dennoch als erkannt eingestuft, wenn mindestens drei der fünf ersten Ergebnisse das gleiche Material aufwiesen. Wiesen jedoch alle Spektren unterschiedliche Materialarten auf, wurde das Material als „unbekannt“ eingestuft. Die Ergebnisse der Polymerbestimmung werden in Kapitel 3.5 dargestellt.

Alle ermittelten Werte können der Excel-Tabelle im digitalen Begleitmaterial 2.2.1 – Gesamtdaten der Abfälle je Weg - entnommen werden.

2.6 Verarbeitung der Geodaten

Alle in dieser Arbeit inkludierten Karten wurden im Geoinformationssystem ArcMap 10.6.1 erstellt. Eine Ausnahme hiervon bildet die in Abbildung 1 dargestellte Karte, welche die Auswertung der STRAVA „Heat Map“ für das Untersuchungsgebiet zeigt. Diese wurde in QGIS 3.22.6 erstellt.

Vorab wurde eine Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes erstellt, diese zeigt alle beprobten Wege, sowie die Beprobungspunkte für Mikroplastik, die die Wege in Transekte unterteilen. Diese Karte ist im digitalen Begleitmaterial aufgeführt (1.2). Die Punkte für den Weg „Gletscherlehrweg“ wurden erst nachträglich hinzugefügt, da erst im Feld entschieden wurde, diesen mit zu beproben. Auch sie sind in der Karte 1.2 dargestellt. Nach der Beprobung und Auswertung der Transekte wurde eine weitere Karte erstellt. In dieser sind alle Transekte nach der Anzahl der gefundenen Objekte farblich codiert. Diese Karte findet sich in ebenfalls im digitalen Begleitmaterial (1.4). Da die Beprobung des Gletscherlehrweges erst im Feld entschieden wurde, wurden für diesen Weg vorab keine Transekte definiert. Alle gefundenen Objekte wurden in einer einzigen Tüte gesammelt. Um die Anzahl der gefundenen Objekte auf dem Gletscherlehrweg dennoch nach Transekten ordnen zu können und so Vergleiche mit den anderen Wegen vornehmen zu können, mussten die Objekte nachträglich Transekten zugewiesen werden. Dafür wurden die im Feld aufgenommenen Fotos genutzt. Mittels der Open-Source Software ExifTool (Harvey o.J.) konnten die GPS-Koordinaten der Fotos ausgelesen werden. Von 80 der insgesamt 93 Fotos, die am Gletscherlehrweg gemacht wurden, lagen GPS-Koordinaten vor. Die übrigen 13 Geokoordinaten wurden nach folgender Regel rekonstruiert: Wenn die Zeitmarken von zwei Fotos weniger als eine Minute auseinander lagen, wurden die Koordinaten des zeitlich nächstgelegenen Objektes übernommen. Dies war der Fall für sechs der dreizehn Objekte. Im Mittel betrug der zeitliche Abstand dieser Objekte zu den Objekten, deren Koordinaten übernommen wurden 15 Sekunden. Für die restlichen Objekte wurden die Koordinaten über den Mittelwert der Koordinaten der zwei nächstgelegenen Objekte geschätzt. Die Lage aller Objekte wurde in ArcMap 10.6.1 visuell auf Richtigkeit überprüft. Anschließend wurde die Lage der Punkte auf den Verlauf des Weges angepasst. Hierzu wurde das Near-Tool in ArcMap 10.6.1 verwendet. Dieses berechnet für jedes Element einer Klasse (hier die

Lagepunkte der gefundenen Objekte) automatisch das nächstgelegene Element einer anderen Klasse (hier der Gletscherlehrweg). So konnten für alle Objekte die Koordinaten des nächstgelegenen Punktes auf dem Weg ermittelt werden. Diese angepassten Koordinaten wurden für die weitere Verarbeitung der Daten verwendet. Die Karte 1.5 (siehe digitales Begleitmaterial) zeigt im Vergleich die aus den Fotos rekonstruierte Lage der Objektfunde und die auf den Wegverlauf korrigierten Lagepunkte. Eine Liste mit allen Koordinaten des Gletscherlehrwegs (sowie der anderen Wege) liegt im digitalen Begleitmaterial 2.2.1 dieser Arbeit bei. Um die Objekte nun nachträglich Transekten zuzuordnen, wurde der Gletscherlehrweg, ebenso wie die anderen beprobten Wege, anhand von äquidistanten Punkten in zehn Transekte unterteilt. Dann wurde wiederum das Near-Tool in ArcMap verwendet. So konnte jeder Punkt dem nächstliegenden Transekt zugeordnet werden. Es wurde auch versucht, die Geodaten der Fotos der anderen beprobten Wege auszuwerten. Hierbei musste jedoch festgestellt werden, dass nur für einen geringen Teil der Fotos auf diesen Wegen verwendbare Geodaten gewonnen werden konnten (siehe Tabelle 2.2.1 digitales Begleitmaterial). Daher wurden für die Fragestellungen, für die eine exakte Lagebestimmung der gefundenen Objekte nötig war, lediglich die Daten des Gletscherlehrwegs ausgewertet.

2.7 Statistische Auswertung

Die Daten wurden in Microsoft Excel 2016 gesammelt. Diese Software wurde auch für die Erstellung der in dieser Arbeit dargestellten Diagramme verwendet. Eine Ausnahme hiervon bilden Abbildung 9 und Abbildung 11. Diese wurden in Python 3.12.0 erstellt. Dafür wurde das Paket „matplotlib.pyplot“ verwendet. Für die statistischen Fragestellungen in den Kapiteln 3.1 bis 3.4 wurden das Paket „scipy.stats“ in Python 3.12.0, sowie SsS 7.1 verwendet. Welches Programm im Einzelnen verwendet wurde, ist in den Kapiteln jeweils angegeben. Alle Teilfragen in dieser Arbeit wurden als zweiseitige Fragestellungen formuliert. Als Signifikanzniveau wurde $\alpha = 0,05$ verwendet. Abweichende Signifikanzniveaus bei der Prüfung von Voraussetzungen sind in den einzelnen Kapiteln gekennzeichnet. Für die statistisch überprüften Fragestellungen wurden Daten der Skalenniveaus Ordinal und Nominal verwendet.

3 Die Fakten – Ergebnisse der Abfalluntersuchung im Gschlössstal

Insgesamt wurden 328 Objekte Abfall gefunden. Bei einer Gesamtlänge aller Wege von 21,3 km, entspricht das einem Objekt alle 65 m. Die meisten Objekte wurden dabei auf dem Fahrweg Innergschlöss gefunden (n = 181). Danach folgen mit einigem Abstand der Gletscherlehrweg Innergschlöss (n = 93) und der Wanderweg in Richtung Prager Hütte (n = 46). Die geringste Menge an Objekten (n = 8) wurde auf dem Wanderweg in Richtung des Sandebentörls aufgesammelt. Die Karte 1.4 (siehe digitales Begleitmaterial) zeigt dabei, auf welchen Transekten besonders viel Müll gefunden wurde. Die zugehörigen Rohdaten finden sich ebenfalls im digitalen Begleitmaterial, in der Datentabelle 2.2.1. Das Gesamtgewicht aller Objekte belief sich auf 250,9 g. Die häufigste Farbe der Abfälle war auf allen Wegen, sowie insgesamt, weiß (114 Objekte insgesamt, 35 %). Allgemein überwogen „neutrale“ Farben. Die Farben Schwarz, Weiß, Grau und Transparent machten 60 % der gefundenen Objekte aus. Bei den eigentlichen Farben dominierte die Farbe Orange (18 % der gefundenen Objekte). Orange ist nach Weiß die am häufigsten gefundene Farbe. Die übrigen Farben machten nur geringe Anteile (≤ 5 %) aus. Bei der Auswertung der Farben sollte jedoch beachtet werden, dass einige Objekte mehrere Farben aufwiesen, in diesen Fällen wurde die anteilig überwiegende Farbe vermerkt. Der Anteil der Farbe Grau umfasst auch Silber (beispielsweise Metallfolien). Eine Darstellung der Farbanteile ist in Anhang III.1 nachzusehen.

Die Objektgröße konnte, mit Ausnahme von einem Objekt, in der Open- Source Software FIJI ermittelt werden (siehe Kapitel 2.5, digitales Begleitmaterial 3.1). Das Objekt, welches nicht ausgewertet werden konnte (I67_6), war stark fragmentiert. Hierdurch konnte die Software die Objektgrenzen nicht bestimmen. Folglich war keine Auswertung möglich. Zunächst zur Auswertung der Flächengrößen (cm^2): Das größte Objekt wurde auf dem Gletscherlehrweg gefunden und wies ausgebreitet eine Fläche von $28.297,00 \text{ cm}^2$ auf. Es handelte sich hierbei vermutlich um eine alte Rettungsdecke, die in einer Spalte unter einem Felsblock gleich am Weg gefunden wurde. Das nächstgrößere Objekt wies eine Fläche von $100,35 \text{ cm}^2$ auf und wurde auf dem Transekt I_2-3 auf dem Fahrweg Innergschlöss gefunden. Hierbei handelte es sich um die gelbe Verpackung eines Energieriegels. Das in Abbildung 4 dargestellte Boxplotdiagramm zeigt die Größenverteilung aller Objektflächen. Dabei wurden aus Darstellungsgründen 33

Ausreißer exkludiert (Werte $> 11,146 \text{ cm}^2$). Der Großteil dieser Ausreißer ($n = 29$) wies dabei eine Fläche von $11,58 - 48,05 \text{ cm}^2$ auf. Die Verteilung der Ausreißer ist in einem weiteren Boxplot in Anhang III.2 aufgeführt.

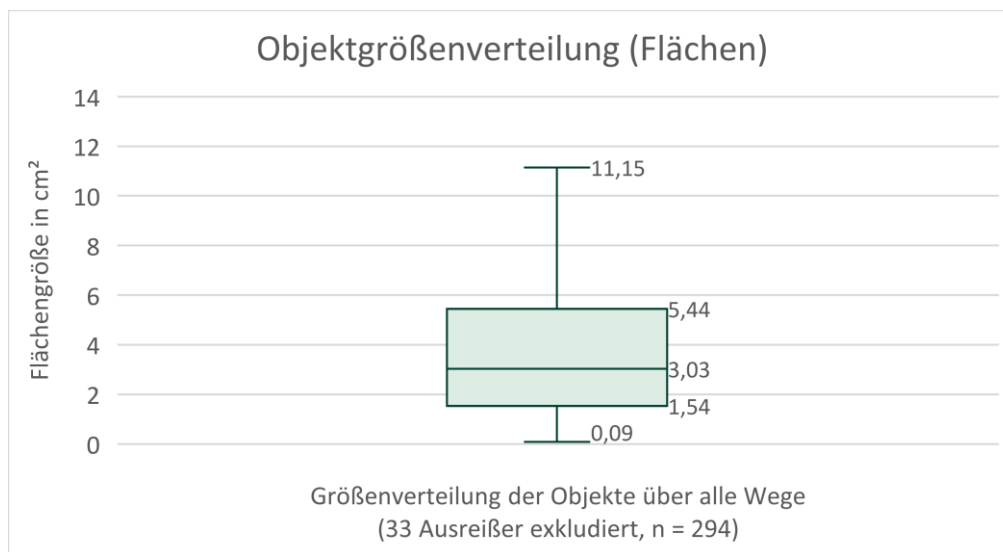


Abbildung 4: Verteilung der Flächengrößen (in cm^2) aller gefundenen Objekte

Der Median der Flächengröße liegt bei $3,025 \text{ cm}^2$; der Mittelwert liegt jedoch deutlich höher, bei $92,17 \text{ cm}^2$. Exkludiert man jedoch das größte Objekt (s.o.), welches einen extremen Ausreißer darstellt, ergibt sich ein Mittelwert von $5,65 \text{ cm}^2$. Dieser Wert liegt deutlich näher am Wert des Medians und ist daher besser für die Beschreibung der Verteilung geeignet. Die Hälfte der gefundenen Objekte wies dabei eine Fläche zwischen $1,54$ und $5,44 \text{ cm}^2$ auf. Das kleinste gefundene Objekt hatte eine Fläche von $0,09 \text{ cm}^2$. Hierbei handelte es sich um das Bruchstück eines Reflektors. Dieses wurde auf Transekt I_9-10 des Fahrwegs Innergschlöss gefunden und stammt vermutlich von einem Auto oder einem Fahrrad. Rechnet man die Flächen aller Objekte zusammen, kommt man auf eine Gesamtfläche von ca. 3 m^2 (siehe hierzu auch digitales Begleitmaterial 2.2.1 Blatt 5).

Auch wenn man die Feret-Durchmesser der gefundenen Objekte betrachtet, stellt das größte gefundene Objekt einen extremen Ausreißer dar. Es handelt sich um dieselbe Folie, die auch die größte Fläche aufwies. Der Feret-Durchmesser dieser Folie beträgt ca. $130,00 \text{ cm}$. Allerdings war die Folie zu groß um sie in einem Stück abzufotografieren und skaliert in FIJI zu verarbeiten. Daher wurde der Durchmesser hier händisch mit einem Maßband gemessen. Das Objekt mit dem nächstgrößeren Feret-Durchmesser ist mit $18,41 \text{ cm}$ deutlich kleiner.

Abbildung 5 zeigt die Verteilung der Feret-Durchmesser aller gemessenen Objekte mit Ausnahme der größten Folie (n = 326). Der Median aller Feret-Durchmesser liegt bei 3,24 cm, der Mittelwert (exkl. des größten Objektes) bei 3,94 cm. Die meisten Objekte (n = 304) haben dabei einen Feret-Durchmesser von 0,47 – 7,98 cm.

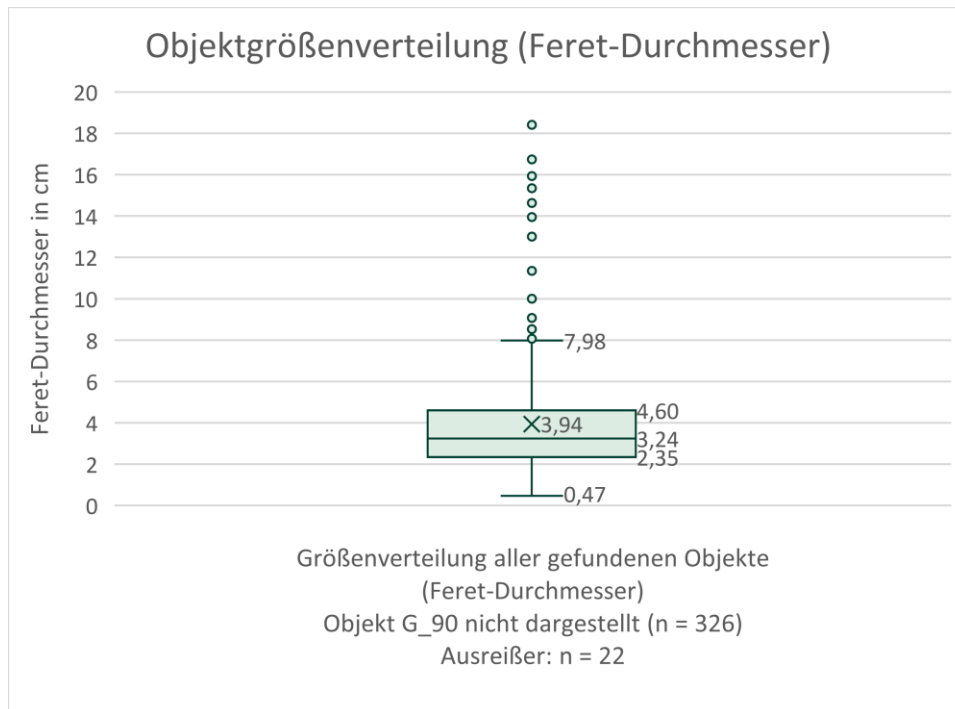


Abbildung 5: Verteilung der Feret-Durchmesser (cm) aller gefundenen Objekte

Das Objekt mit dem kleinsten Feret-Durchmesser (0,47 cm) ist ebenfalls ein Splitter des auf dem Fahrweg Innerschlöss gefundenen Reflektors. Mit einem Maximaldurchmesser von unter 0,5 cm ist es bereits der Mikrofraktion zuzurechnen. Es ist allerdings das einzige Objekt, das dieser Fraktion zuzuordnen ist. Ein Großteil der gemessenen Objekte (n = 228) kann der Makrofraktion (>2,5 cm – 100 cm) zugeordnet werden. Die Folie mit einem Feret-Durchmesser von ca. 130 cm wird der Megafraktion (>100 cm) zugeordnet. Die restlichen 97 Objekte gehören zur Mesofraktion (0,5 – 2,5 cm) (GESAMP 2019, S. 10).

Von den acht in der DreckSpotz-App angegebenen Abfallklassen wurden Objekte aus sechs der Klassen nachgewiesen. Die Tabelle im digitalen Begleitmaterial 2.2.1 (Blatt 0) gibt eine Übersicht über das Klassifizierungssystem der App. Es wurden keine Glas- beziehungsweise Keramikteile gefunden, ebenso wenig Elektromüll. Den größten Anteil der gefundenen

Objekte stellte die Klasse „Plastik und Gummi“, mit 185 zugeordneten Objekten (56 %). Den beiden häufigsten Klassen („Plastik und Gummi“ und „Zigaretten“) wurden insgesamt über 75 % der gefundenen Objekte zugeordnet. Die folgende Abbildung 6 gibt eine Übersicht über die Anteile der verschiedenen Klassen an der Gesamtmenge des gefundenen Abfalls.

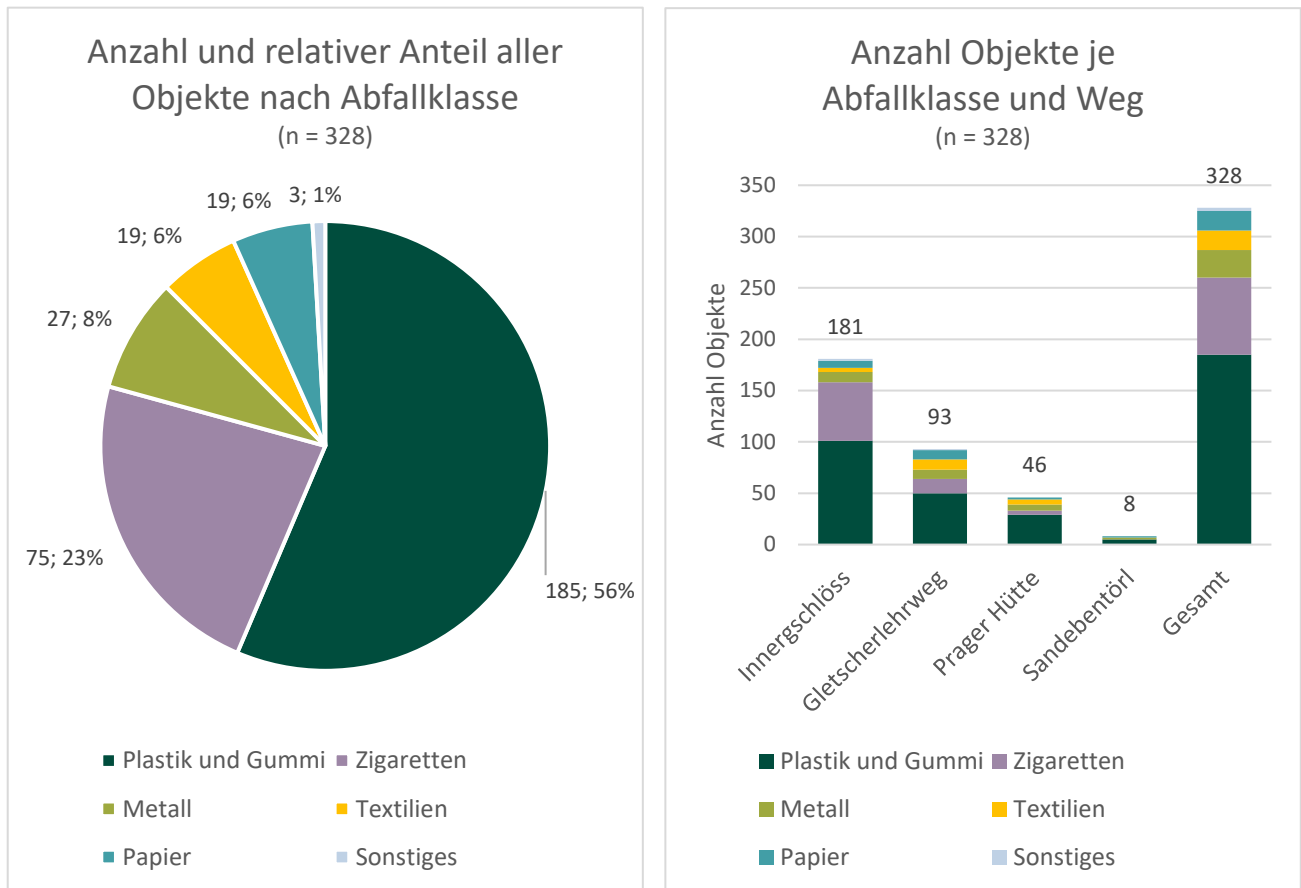


Abbildung 6: Darstellung der Abfallklassen nach DreckSpotz-App für alle gefundenen Objekte (n = 328)
 Links: Anzahl und relativer Anteil der Abfallklassen gesamt
 Rechts: Anzahl der Objekte je Abfallklasse und Weg, sowie Gesamt

In der anteilig größten Kategorie, „Plastik und Gummi“, machten wiederum drei Subkategorien den Hauptanteil der Objekte aus: „Sonstiges Plastik und Gummi“ (80 Objekte; 43,3 %), „Süßigkeiten und Snackverpackungen“ (53 Objekte; 28,6 %) und „Folien“ (45 Objekte; 24,3 %), siehe hierzu auch Anhang III.3. Der Kategorie „Zigaretten“ wurden 71 Zigarettenstummel und 4 Zigarettschachteln zugeordnet.

Mit einem Anteil von 85 % hatte die Kategorie „Tourismus“ den größten Anteil, wenn man die vermuteten Herkünfte der Abfälle vergleicht. Weitere 11 % entfielen auf die Kategorie „unbekannt“. Sechs Objekte wurden dem Bereich „Gastronomie“ zugeordnet Dabei handelte es sich beispielsweise um Kassenzettel, Kronkorken und Weinetiketten, sowie Verpackungsmaterial. Der Hauptteil dieser Abfälle wurde auf dem Fahrweg Innergschlöss gefunden. Zwei Objekte, die der Landwirtschaft zugeordnet wurden, waren eine Folie, die auf dem Weg zum Sandebentörl gefunden wurde, sowie die Faser eines Elektrozaunes auf dem Weg in Richtung Prager Hütte. Zwei weitere Objekte wurden dem Bereich „Wartung“ zugeordnet. Diese waren ein Stück Schleifpapier und eine Schraube.

Die folgenden Kapitel beschreiben die Ergebnisse der statistischen Auswertung des Abfallaufkommens im Gschlössstal.

3.1 Abfallmengen in Außen- und Kernzone

Zunächst sollte untersucht werden, ob sich das Müllaufkommen zwischen den Transekten, die in der Kernzone des Nationalparks liegen und jenen, die in der Außenzone des Nationalparks liegen, unterscheidet. Kernzone und Außenzone des Nationalparks unterscheiden sich in ihrer Charakteristik voneinander. In der Kernzone steht die eigendynamische Naturentwicklung im Vordergrund (NPHT 2016, S. 9f.). Hier herrscht ein geringerer landwirtschaftlicher Nutzungsdruck; auch die touristische Infrastruktur ist niedriger (siehe Kapitel 2.2). Schlägt sich dieser Unterschied auch im Abfallaufkommen in den verschiedenen Zonen nieder? Um dies zu testen wurde zunächst folgende Forschungsfrage formuliert:

„Unterscheidet sich die Menge der je Transekt gefundenen Objekte zwischen den Transekten die in der Außenzone liegen und denen, die in der Kernzone liegen?“

Die zugehörige Nullhypothese beschreibt, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den Transekten der Außen- und Kernzone besteht. Die entsprechende Alternativhypothese, dass die Menge der je Transekt gefundenen Objekte in den Transekten der Außenzone signifikant höher oder niedriger ist, als in den Transekten der Kernzone.

Es wurden zunächst alle Transekte ($n = 40$) in ArcMap einer Zone zugeordnet, je nachdem in welcher Zone ein Hauptteil des Transektes lag. Diese Zuordnung erfolgte durch eine visuelle Überprüfung anhand der Zonierungskarte des Nationalparks Hohe Tauern (Jurgeit, Florian (Forschung und GIS NPHT Tirol) 2023). Dadurch ergaben sich zwei Stichproben mit jeweils $n = 20$ Transekten. Die Aufteilung der Transekte ist aus der Exceltabelle 2.2.2 (Blatt 1) sowie der Karte 1.6 (siehe digitales Begleitmaterial) ersichtlich. Mit der Objektanzahl und der Zonenzugehörigkeit wurde ein Mann-Whitney-U-Test in Python (Version 3.12.0) durchgeführt. Eine Voraussetzung für den Mann-Whitney-U-Test ist die Gleichheit der Streuung beider Stichproben. Um dies zu prüfen, wurde in Python zunächst ein Brown-Forsythe-Test durchgeführt, der die Stichproben anhand ihres Medians auf gleiche Streuung überprüft. Hierfür wurde ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,1$ angesetzt. Der Brown-Forsythe-Test lieferte eine zweiseitige Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0,114$. Damit konnte die Nullhypothese nicht verworfen werden und eine gleiche Streuung der beiden Stichproben wurde angenommen. Damit war auch die Voraussetzung für den Mann-Whitney-U-Test erfüllt. Dieser lieferte eine Teststatistik von $U = 221,5$, bei einer zweiseitigen Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0,569$. Bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ konnte hier ebenfalls die Nullhypothese nicht verworfen werden. Die beiden Stichproben unterscheiden sich nicht signifikant in ihrer Streuung oder in ihrer zentralen Lage. Die Menge der gefundenen Müllobjekte unterscheidet sich also nicht zwischen der Außen- und der Kernzone des Nationalparks.

3.2 Abfallmengen auf unterschiedlich stark frequentierten Wegen

Weiterhin sollte überprüft werden, ob sich die unterschiedliche Nutzung der einzelnen beprobten Wege auf die Belastung mit Abfällen auswirkt. Zunächst soll hier auf die Frequentierung eingegangen werden. Ein Großteil des gefundenen Abfalls konnte dem Tourismus zugeordnet werden. Daher wurde angenommen, dass auf Wegen, auf denen mehr Besuchende unterwegs sind, auch deutlich mehr Abfälle gefunden würden. Um diese Hypothese zu testen, wurden die Objektfunde je Transekt der zwei beprobten Wanderwege in Richtung des Sandebentörls und der Prager Hütte verglichen. Es wurde folgende Forschungsfrage gestellt:

„Unterscheidet sich die Menge der je Transekt gefundenen Objekte zwischen den Transekten des Prager Hüttenweges und denen des Weges zum Sandebentörl?“

Die beiden Wanderwege unterscheiden sich vornehmlich durch die Frequentierung von Besuchenden. Sie weisen im beprobten Bereich einen ähnlichen Höhenverlauf auf (ca. 1000 Höhenmeter, siehe Tabelle 1). Die Infrastrukturausstattung ist auf beiden Wegen gering. Zwar liegen die meisten Transekte des Weges zum Sandebentörl in der Außenzone des Nationalparks und die meisten Transekte des Prager Hüttenweges in der Kernzone, jedoch ist dieser Unterschied nicht ausschlaggebend, wie die Auswertung in Kapitel 3.1 zeigt. Beide Stichproben hatten einen Umfang von $n = 10$ Transekten. Die Daten, die für diesen Test herangezogen wurden, sind im digitalen Begleitmaterial 2.2.2 (Blatt 2) nachzusehen. Zunächst wurde, wie auch in Kapitel 3.1, ein Brown-Forsythe-Test in Python 3.12.0 durchgeführt, um die Streuung der beiden Stichproben zu vergleichen. Dieser ergab eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0,015$. Bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,1$ wurde die Alternativhypothese angenommen, dass die beiden Stichproben nicht die gleichen Streuungen haben. Der Unterschied in den Streuungen zeigt sich auch deutlich im Boxplotdiagramm (Abbildung 7).

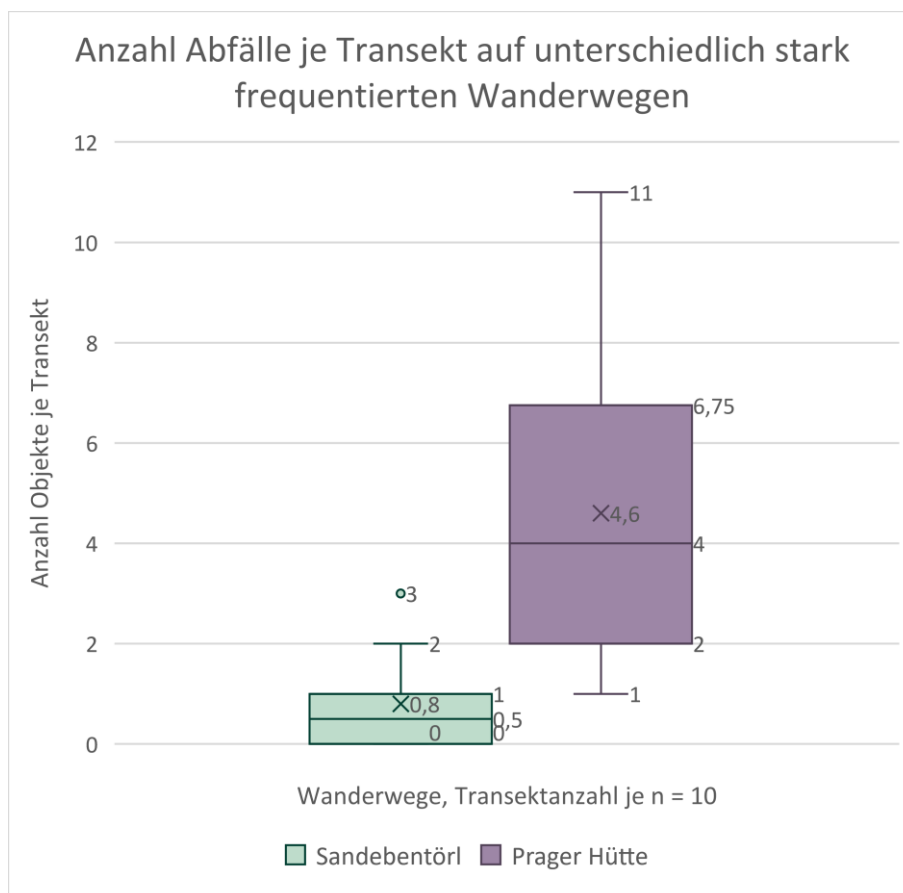


Abbildung 7: Vergleich der Menge gefundener Objekte je Transekt auf den Wegen in Richtung Prager Hütte und Sandebentörl

Somit konnte in diesem Fall kein Mann-Whitney-U-Test durchgeführt werden, da für diesen die Voraussetzung gleicher Streuungen beider Stichproben nicht erfüllt wurde. Stattdessen wurde ein robuster Rangtest in SsS 7.1 durchgeführt um zu prüfen, ob sich der Median der beiden Stichproben signifikant unterscheidet. Es wurde eine zweiseitige Fragestellung angenommen. Bei einer Prüfgröße von $\hat{U} = 5,898$ und einer exakten Irrtumswahrscheinlichkeit von $p = 0,000985$ lag die Irrtumswahrscheinlichkeit deutlich unter dem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$. Somit unterscheiden sich die Mediane der beiden Stichproben höchstsignifikant voneinander. Auch dies geht aus dem Boxplotdiagramm (Abbildung 7) graphisch hervor. Die Frequentierung der Wanderwege scheint sich also auf die Belastung mit Müll auszuwirken. Die Erwartung, dass auf Wanderwegen mit hohem Aufkommen von Besuchenden signifikant mehr Müll gefunden wurde, konnte bestätigt werden. Im Schnitt wurden auf den Transekten des Wanderweges in Richtung der Prager Hütte achtmal mehr Abfälle gefunden, als auf dem Wanderweg in Richtung Sandebentörl. Gleichzeitig war aber auch die Streuung zwischen den einzelnen Transekten deutlich größer (siehe Abbildung 7).

3.3 Abfallmengen auf Wegen unterschiedlicher Nutzung

Insgesamt wurden auf den untersuchten Wanderwegen (Gletscherlehrweg, Prager Hütte und Sandebentörl) fast genauso viele Abfälle ($n = 147$) gefunden wie auf dem Fahrweg Innergschlöss ($N = 181$). Es wird jedoch vermutet, dass sich die Art des anfallenden Mülls zwischen den unterschiedlich genutzten Wegen unterscheidet. Diese Annahme gründet darauf, dass der Fahrweg Innergschlöss anders und intensiver genutzt wird, als die angrenzenden Wanderwege. Neben regelmäßigem PKW und LKW-Verkehr findet sich hier auch eine höhere Anzahl gastronomischer Betriebe. Der Fahrweg Innergschlöss kann zudem auch von Radfahrenden genutzt werden (siehe Kapitel 2.2). Um diese Hypothese zu überprüfen wurde die Verteilung der Abfallklassen nach der DreckSpotz-App (GLOBAL 2000 o.J.) herangezogen. Es wurde die Verteilung des Fahrwegs Innergschlöss mit der Verteilung auf den Wanderwegen verglichen. Die zugehörige Fragestellung lautete:

„Unterscheidet sich die Verteilung der Abfallklassen auf dem Fahrweg Innergschlöss von der Verteilung der Abfallklassen auf den Wanderwegen?“

Zur Überprüfung dieser Frage wurde in SsS 7.1 ein exakter Fisher-Test für den Vergleich zweier Stichproben mit Nominaldaten durchgeführt. Die erste Stichprobe enthielt alle Objekte, die auf den Wanderwegen gefunden wurden ($n = 147$), die zweite alle Objekte, die auf dem Fahrweg Innergschlöss gefunden wurden ($n = 181$), siehe digitales Begleitmaterial 2.2.2 (Blatt 3). Die erhaltene exakte Irrtumswahrscheinlichkeit lag bei $p = 0,000011$ und damit deutlich unter dem Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$. Somit kann angenommen werden, dass sich die Verteilung der Abfallklassen zwischen den beprobten Wanderwegen und dem Fahrweg Innergschlöss signifikant voneinander unterscheidet. Die Verteilung ist im nachstehenden Säulendiagramm (Abbildung 8) dargestellt.

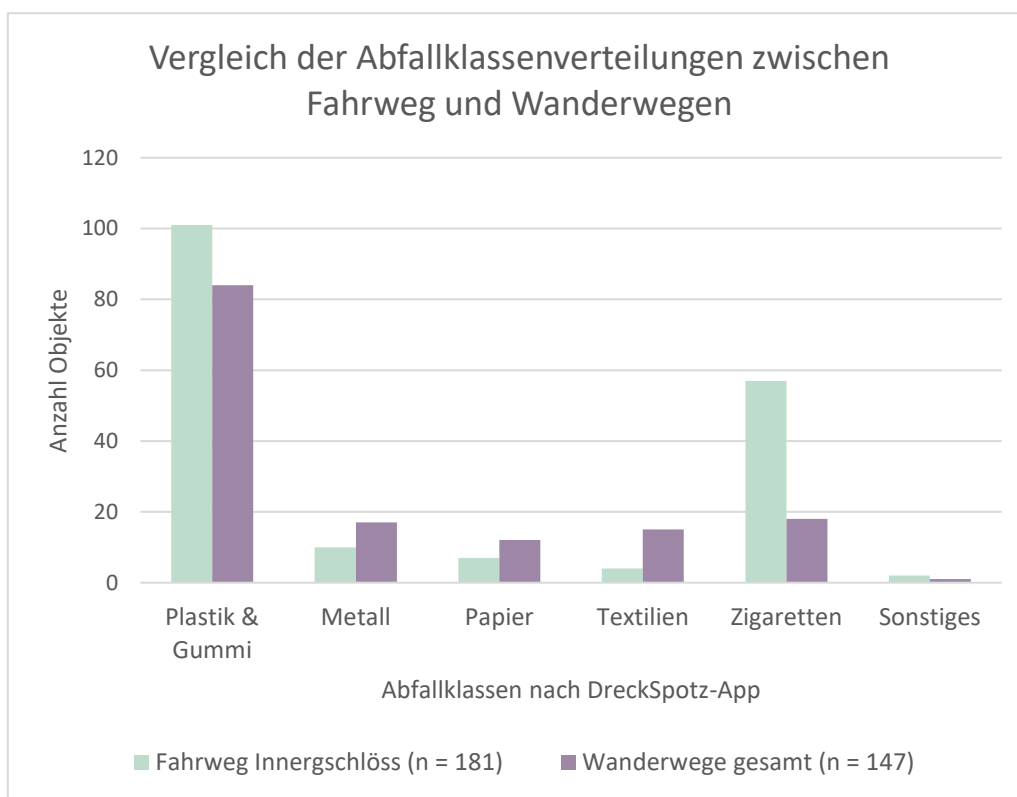


Abbildung 8: Vergleich der Verteilung der Abfallklassen nach DreckSpotz-App zwischen Fahrweg und Wanderwegen

Das Diagramm in Abbildung 8 zeigt, dass sich die Klassengrößen zwischen den unterschiedlich genutzten Wegen teilweise deutlich unterscheiden. So wurden auf dem Fahrweg Innergschlöss deutlich mehr Zigarettenabfälle ($n = 57$) gefunden, als auf den Wanderwegen ($n = 18$). Auch Plastikabfälle wurden auf dem Fahrweg etwas häufiger gefunden. Gleichzeitig wurden auf den Wanderwegen anteilig mehr Objekte der Klassen Metall, Papier und Textilien gefunden.

3.4 Abfälle in Verbindung mit Infrastruktur

Abschließend sollte ausgewertet werden, ob ein Zusammenhang zwischen dem Abfallaufkommen und der räumlichen Nähe zu bestimmten Infrastrukturobjekten im Park besteht. Da verlässliche Geodaten nur für die auf dem Gletscherlehrweg gefundenen Abfälle zur Verfügung standen (siehe Kapitel 2.6), wird im Folgenden nur dieser betrachtet. Eine statistische Auswertung war aus technischen Gründen leider nicht möglich, da aktuell in ArcMap 10.6.1 keine dreidimensionale Abstandsberechnung für Punkte verfügbar ist, die das Geländeprofil berücksichtigt. Daher wurde auf eine visuelle Überprüfung zurückgegriffen. Zunächst wurden hierzu alle auf dem Gletscherlehrweg gefundenen Objekte ($n = 93$) in ArcMap 10.6.1 dargestellt. Ebenso wurden alle verfügbaren Daten zu Infrastrukturobjekten auf dem Gletscherlehrweg dargestellt. Diese waren: Die „Points of Interest“ des Nationalparks Hohe Tauern (z.B. schöne Aussichten und Naturhighlights), sowie die Wegweiser innerhalb des Nationalparks (Jurgeit, Florian (Forschung und GIS NPHT Tirol) 2023). Hinzu kamen während der Beprobung dokumentierte Standpunkte von Bänken und Rastplätzen. Insgesamt ergaben sich so entlang des Gletscherlehrwegs 14 Infrastrukturrpunkte. Die Karte 1.7 (siehe digitales Begleitmaterial) zeigt, dass zum Beispiel an den Bänken drei, vier und fünf, sowie am Einstieg zum Gletscherlehrweg gehäuft Müll gefunden wurde. Um das Verteilungsmuster der gefundenen Abfälle zu veranschaulichen wurde die Methodik von Özbek et al. (2023, S. 3f.) verwendet. In der Publikation wurden an drei beliebigen Wanderwegen in den Dolomiten an der Grenze von Venetien und Trentino georeferenziert Abfälle dokumentiert und eingesammelt. Anschließend unterteilten die Autor_innen die untersuchten Wege in 50 m lange Transekte und berechneten die Anzahl der Abfälle je 50 m Abschnitt. Die Verteilung der Abfälle je Transekt kann dann über die gesamte Weglänge in einem Diagramm dargestellt werden. Die verfügbaren Lagedaten von Infrastrukturobjekten entlang des Weges werden ebenfalls aufgetragen. Der resultierende Graph visualisiert, wie viel Abfall an welchen Teilstücken des Weges gefunden wurde und wie sich die Abfallmengen zu der Lage der Infrastrukturobjekte verhalten. Um diese Methodik auf den Gletscherlehrweg anwenden zu können, wurde zunächst der Weg in 83 Transekte von 50,19 m Länge unterteilt. Dann wurde das Near-Tool in ArcMap verwendet um auszuwerten, welche Infrastrukturobjekte und welche Abfälle jeweils welchem Transekt zugeordnet werden können. Zusätzlich wurden 93 Punkte mit jeweils gleichem Abstand auf dem Weg konstruiert.

Deren Lage innerhalb der Transekte wurde ebenfalls über das Near-Tool in ArcMap ermittelt. So konnte dargestellt werden, wie sich die Abfälle auf die 50 m Transekte aufteilen würden, wenn sie gleichmäßig über den Weg verteilt wären. Das Ergebnis dieser visuellen Aufbereitung ist in Abbildung 9 dargestellt. Auf der X-Achse ist die Weglänge vom Startpunkt im Tal bis zu dem in der Beprobung festgelegten Endpunkt aufgetragen (insgesamt ca. 4170 m). Die Y-Achse zeigt die Menge der Abfälle je 50 m Transekt. Die violette Linie stellt dar, wie sich die gleichverteilten Abfälle über die Transekte verteilen würden, die Säulen dahinter zeigen die tatsächlich vorgefundene Verteilung. Die gestrichelten Linien zeigen die Standorte der Infrastrukturobjekte entlang des Weges.

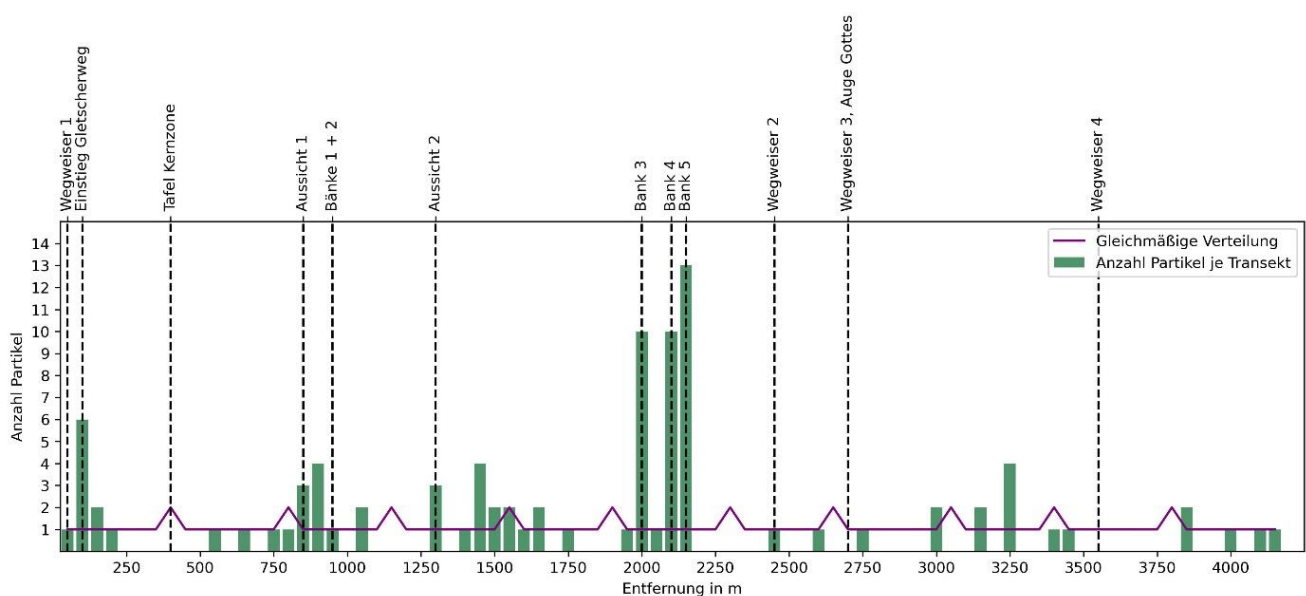


Abbildung 9: Verteilung von Abfällen je 50 m Transekt entlang des Gletscherlehrweges

Man erkennt deutlich, dass die tatsächliche Verteilung stark von der bei einer Gleichverteilung der Objekte zu erwartenden Verteilung abweicht. Ebenso lässt sich erkennen, dass in der Nähe mehrerer Infrastrukturobjekte eine deutlich höhere Anzahl an Abfällen gefunden wurde, als eine gleichmäßige Verteilung erwarten ließe. Besonders deutlich zeigt sich dieser Effekt bei den drei Bänken, die zwischen 2000 und 2250 m Weglänge liegen. Hier wurde auf den Transekten, auf denen auch die Bänke liegen deutlich mehr Abfall gefunden, als auf den umliegenden Transekten. Ein ähnlicher Effekt lässt sich, etwas schwächer ausgeprägt, auch zu Beginn des Gletscherlehrweges feststellen.

Am Einstieg zum Gletscherlehrweg ist ein Hinweisschild und eine Sitzgelegenheit aufgestellt. Auch hier wurden größere Mengen Abfall gefunden, als erwartet.

Insgesamt sind die Daten jedoch nicht eindeutig. So wurden auf den Transekten mit den Infrastrukturgpunkten „Tafel Kernzone“ und „Wegweiser 4“ weniger Abfälle gefunden, als eine gleiche Verteilung erwarten ließe. Es scheint eine Tendenz dahingehend erkennbar, dass auf Abschnitten, auf denen Aussichtspunkte oder Bänke liegen, größere Mengen Abfälle dokumentiert wurden, als bei einer Gleichverteilung zu erwarten wäre. Auf Transekten, auf denen lediglich Wegweiser oder Schilder stehen, wurden hingegen keine deutlich größeren Mengen Abfall gefunden, als auf Abschnitten ohne spezielle Infrastruktur. Ein möglicher Grund hierfür ist, dass Aussichtspunkte und Bänke eher zur Rast einladen. Hier werden vermutlich häufiger mitgebrachte Speisen und Getränke (und deren Verpackungen) ausgepackt und verzehrt, wodurch es vermehrt zum absichtlichen oder unabsichtlichen Zurücklassen von beispielsweise Verpackungsmaterial kommen könnte. Auch ein Blick auf die Karte 1.4 (digitales Begleitmaterial) scheint diese Vermutung zu stützen. So wurde auf dem Transekt P_7-8 der meiste Abfall von allen Transekten des Prager Hüttenweges gefunden. Hier liegt die alte Prager Hütte, die unter Denkmalschutz steht und einen guten Ausblick auf das Schlatenkees ermöglicht (Schlosser 2018, S. 104f.). Auch hier wäre zu vermuten, dass die Hütte als Rastplatz dient. Sie stellt das einzige Infrastrukturobjekt auf dem in dieser Arbeit beprobten Abschnitt des Prager Hüttenweges dar. Eine große Menge Abfall wurde zudem auf den ersten Transekten des Fahrwegs Innergschlöss zwischen dem Almdorf Außergschlöss und der Siedlung Innergschlöss dokumentiert. Dieser Wegabschnitt ist stark begangen und sehr gut mit Infrastruktur ausgestattet. Diese beiden Effekte könnten zusammenwirken, was die besonders hohen Werte von mehr als 20 Objekten je 500 m erklären könnte. Um ein eindeutiges Bild über die Verteilung des Abfalls in Verbindung mit Frequentierung, Hot-Spots und Infrastrukturobjekten entlang der Wege zu erhalten, wären jedoch weitere Untersuchungen notwendig.

3.5 Wie viel Plastik findet sich auf den Wegen im Gschlössstal?

Durch die ATR-Infrarotspektroskopie (siehe Kapitel 2.5) konnten 71 % (n = 232) der insgesamt 328 gefundenen Objekte als Kunststoffe klassifiziert werden. Die folgende Abbildung 10 gibt einen Überblick über die identifizierten Materialien (siehe auch digitales Begleitmaterial 2.2.2, Blatt 4).

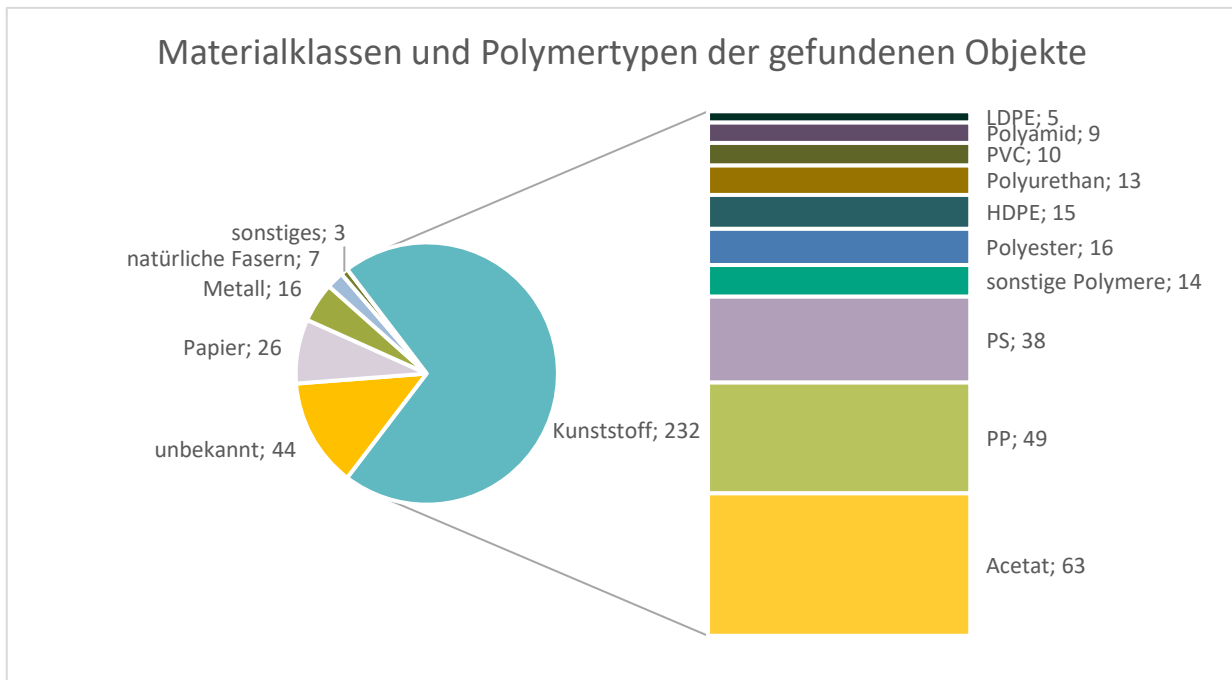


Abbildung 10: Materialklassen aller Objekte (n = 328) nach ATR-Infrarotspektroskopie (links) und identifizierte Polymertypen der Kunststoffobjekte (n = 232) (rechts)

Bei den Abfällen, die nicht als Kunststoff identifiziert wurden, überwogen anteilig die Materialien Papier und Metall. Bei insgesamt 44 Objekten ergab der Abgleich des detektierten Spektrums mit der Referenzbibliothek kein eindeutiges Ergebnis. Diese wurden als „unbekannt“ klassifiziert. Bei den klassifizierten Kunststoffen machten die drei Polymergruppen „Acetat“, „Polypropylen (PP)“, und „Polystyrol (PS)“ gemeinsam etwa 65 % aller Kunststoffabfälle aus. Vergleicht man die Ergebnisse der chemischen Identifikation im Labor mit der im Feld vorgenommenen Klassifizierung nach den Kategorien der „DreckSpotz-App“ lässt sich erkennen, dass die Klassifikation im Feld im Wesentlichen mit der Klassifikation im Labor übereinstimmt. So wurde in beiden Klassifikationen der überwiegende Teil der Abfälle als Kunststoff identifiziert (die im Feld berücksichtigte Gruppe „Zigaretten“, konnte durch die Infrarotspektroskopie fast gänzlich den Kunststoffen zugeordnet werden). Auch die Klassen „Metall“ und „Papier“ als

größte „Nicht-Kunststoff“- Klassen stimmen überein (vergleiche Abbildung 6 und Abbildung 10). Ein weiterer spannender Einblick in die Verteilung der Kunststoffe ergibt sich, wenn man die identifizierten Polymertypen mit deren Anwendungsklassen verbindet. Abbildung 11 zeigt auf der X-Achse die spektroskopisch ermittelten Polymertypen. Auf der Y-Achse ist die Klasseneinteilung im Feld aufgetragen. Die sekundäre X-Achse (oben) zeigt die Gesamtzahl der gefundenen Objekte je Polymertyp. Die Größe jeder Blase zeigt an, wie viele Objekte des jeweiligen Polymertyps in jeder Klasse gefunden wurden. Die Fläche der Kreise ist dabei relativ: ein Kreis, dessen Fläche doppelt so groß ist wie die eines anderen, beinhaltet doppelt so viele Objekte.

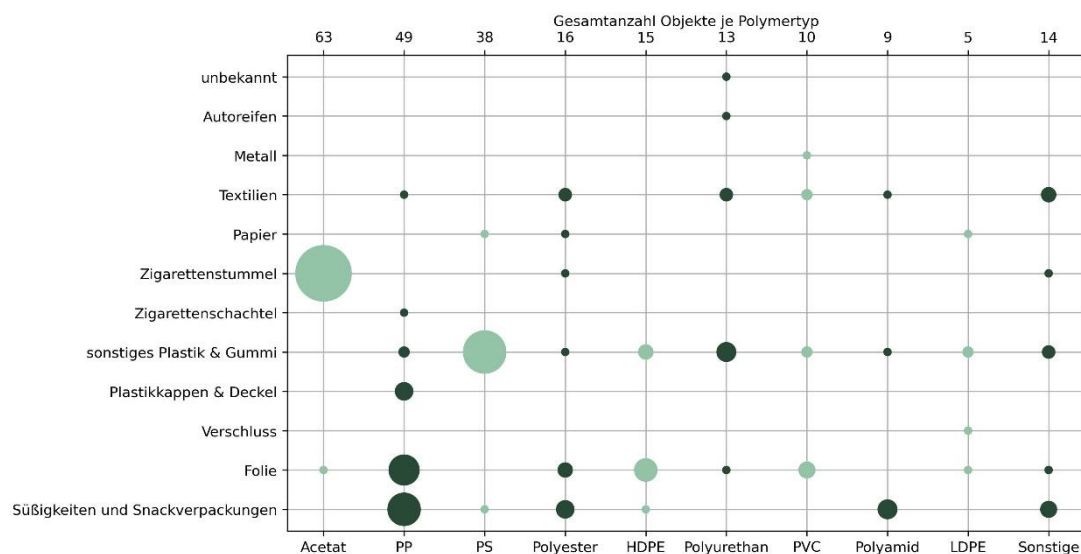


Abbildung 11: Darstellung der identifizierten Polymertypen und deren korrespondierenden Verwendungsklassen

Besonders deutlich zeigt sich die Übereinstimmung zwischen Acetat und der Klasse „Zigarettenstummel“. Von 71 im Feld gefundenen Zigarettenstummeln bestanden 62 aus Acetat. Diese hohe Übereinstimmung lässt sich dadurch erklären, dass heutige Zigarettenfilter meist aus Cellulose-Acetat bestehen. In einem Filter sind über 10.000 Cellulose-Acetat-Fasern enthalten (Everaert et al. 2023, S. 4; Shen et al. 2021, S. 2). Bei den Objekten aus Polypropylen (PP) handelte es sich größtenteils um „Snackverpackungen“ (n = 21) und „Folien“ (n = 18). Die drittgrößte Gruppe der Polystyrole (PS) konnte zum Großteil keiner spezifischen Verwendung zugeordnet werden, während Abfälle aus Polyester vor allem den Klassen „Verpackungen“, „Folien“ und „Textilien“ zugeordnet wurden. Betrachtet man die typischen Anwendungsgebiete für die im Untersuchungsgebiet häufig gefundenen Polymere lässt sich ein eindeutiges Muster erkennen. Polypropylen (PP), Polystyrol (PS) und Polyethylen (PE) werden am häufigsten bei

der Herstellung von Verpackungsmaterial verwendet (Kunststoffe.de o.J.b). Das Einsatzgebiet für PP ist dabei breit gefächert, da das Polymer sehr flexibel kombiniert und verarbeitet werden kann. Insbesondere Folien und feste Verpackungen werden aus PP gefertigt; auch Deckel und Verschlüsse von Flaschen werden häufig aus PP hergestellt (ebd.). Diese beschriebenen Anwendungsgebiete decken sich sehr gut mit den in Abbildung 11 dargestellten Daten. Auch PS wird häufig für Lebensmittelverpackungen eingesetzt, es gibt sowohl geschäumte Formen, als auch feste Formen von Polystyrol (Kunststoffe.de o.J.c). Abbildung 11 zeigt jedoch, dass die meisten Abfälle, die als Polystyrol identifiziert wurden, der Kategorie „Sonstiges Plastik und Gummi“ zugeordnet wurden. Dieser Effekt kommt dadurch zustande, dass auf dem Transekt I_1-2 ein zerbrochener Lippenpflegestift mit insgesamt 34 Bruchstücken aufgesammelt wurde. Ein Großteil der Objekte aus PS kann hierauf zurückgeführt werden. Im weiteren Sinne lässt sich dieser Lippenpflegestift ebenfalls als Verpackungsmaterial einordnen. Bei PE wird in PE hoher (HD-PE) und niedriger Dichte (LD-PE) unterschieden. PE geringer Dichte wird vor allem für die Herstellung von Folien angewendet, PE hoher Dichte findet Anwendung in Haushaltswaren und Behältern und wird auch in Kombination mit Papier verwendet, um dieses zu verstärken. Weltweit ist PE der am häufigsten eingesetzte Kunststoff (Kunststoffe.de o.J.a).

Betrachtet man zuletzt die Größenverteilung der auf den Wegen gefundenen Kunststoffe nach der Klassifizierung der GESAMP (GESAMP 2019, S.10), ergibt sich folgendes Bild (siehe Tabelle 3): Etwas weniger als ein Drittel der gefundenen Objekte konnte der Mesoplastikfraktion zugeordnet werden. Der größte Teil der gefundenen Plastikobjekte ist jedoch mit einem Feret-Durchmesser von > 2,5 cm der Kategorie Makroplastik zuzuordnen. Ein Objekt wurde der Fraktion Megoplastik zugeordnet, ein weiteres konnte nicht gemessen werden (siehe hierzu Kapitel 3).

Tabelle 3: Größenklassifizierung der gefundenen Kunststoffobjekte

Größenklasse	Definition	Anzahl Kunststoffobjekte
Mikroplastik	< 0,5 cm \varnothing	0
Mesoplastik	0,5 cm - 2,5 cm \varnothing	66
Makroplastik	2,5 cm - 100 cm \varnothing	164
Megoplastik	> 100 cm \varnothing	1
Gesamt	< 0,5 cm - >100 cm \varnothing	231

4 Der Befund – Einordnung der Ergebnisse

4.1 Die Erkenntnisse aus dem Gschlöstal im Kontext aktueller Forschung

Was bedeuten diese Ergebnisse für die tatsächliche Belastung der Wanderwege des Untersuchungsgebietes und, im weiteren Sinne, des Nationalparks mit Abfällen? Um diese Frage zu beantworten, ist eine Einordnung der Ergebnisse in die aktuell verfügbaren Veröffentlichungen zu Abfällen im alpinen Raum sinnvoll. Die Studienlage zu Abfällen und insbesondere Plastik im makroskopischen Bereich ist jedoch für den hochalpinen Raum bisher stark limitiert (Özbek et al. 2023, S. 2). Eine wertvolle Ergänzung der aktuell verfügbaren Studien stellt daher der Datensatz der Citizen Science App „DreckSpotz“ (GLOBAL 2000 o.J.) dar. Da die Funde in dieser Arbeit nach dem Categoriesystem der App klassifiziert wurden, lassen sich die Daten gut vergleichen. Aus diesem Vergleich können wertvolle Informationen über die Art und die Verteilungsmuster von Abfällen im hochalpinen Bereich gewonnen werden.

Zunächst lässt sich feststellen, dass die Gesamtmenge des gefundenen Abfalls im Vergleich zu anderen Nationalparks in Österreich als gering einzustufen ist (Stoifl und Oliva 2020, S. 161–164). So wurden je abgelaufenem Kilometer (insgesamt 21,3 km) etwa 15,4 Objekte gefunden, was etwa einem Objekt alle 65 m entspricht. Bei den Objekten aus Kunststoff fällt diese Zahl noch etwas geringer aus: 10,9 Objekte pro Kilometer (ca. 1 Objekt alle 92 m). Bis auf ein Transekt wurde auf allen beprobten Transekten weniger als 30 Objekte aufgesammelt. Dennoch liegt die auf den Wegen im Gschlöstal gesammelte Anzahl an Abfällen in einem ähnlichen Rahmen zu anderen Untersuchungen von Wanderwegen im Hochgebirge. So untersuchten Parolini et al. (2021, S. 2f.) die Hauptwanderwege auf fünf Gletschern in Norditalien auf Makroplastik. In der Studie wurden insgesamt sieben Transekte beprobt. Vier dieser Transekte lagen in der Ortler-Gruppe (Gesamtlänge 6,73 km) drei in der Monte Rosa-Gruppe (Gesamtlänge 11,37 km). Beide Berggruppen sind bei Bergsportlern beliebt und werden ganzjährig frequentiert (ebd. S. 4f.). Auf den Wegen der Monte Rosa Gruppe wurden pro Kilometer zwischen 3,5 und 24,4 Stücke Makroplastik gefunden (im Durchschnitt $11,1 \pm 6,7$ Plastikstücke). Auf den Transekten der Ortler-Gruppe wurden pro Kilometer zwischen 2,4 und 26,4 Stücke Makroplastik gefunden (im Durchschnitt $9,7 \pm 5,6$ Plastikstücke) (ebd., S. 4). Diese Zahlen liegen in einem

ähnlichen Bereich zu den in dieser Arbeit ermittelten Werten von etwa 10,9 Plastikstücken pro Kilometer. Bei einer Beprobung an drei beliebigen Wanderwegen in den Dolomiten an der Grenze von Venetien und Trentino sammelten Özbek et al. (2023, S. 2-3,5) auf einer Gesamtlänge von 10.6 km fast 700 Stück Abfall (n = 696), was einer Menge von ungefähr 66 Objekten je Kilometer entspricht. Dieser Wert liegt wiederum deutlich über den in unserer Untersuchung ermittelten Werten (15,4 Objekte * km⁻¹). Diese Abweichung kann mehrere Gründe haben. So sammelten Özbek et al. (2023, S. 3f.) beispielsweise auch Taschentücher und Servietten ein, die in unsere Ergebnisse nicht einfließen. Zudem verfügten die in den Dolomiten beprobten Wege über eine deutlich stärkere Ausstattung mit touristischer Infrastruktur. So könnte beispielsweise die hohe Dichte an Hütten einen Grund für die höheren Mengen an Abfällen darstellen, da sich hier tendenziell mehr Besuchende für eine längere Zeit aufhalten (ebd. S. 5). Auch auf Wanderwegen im siedlungsnahen Bereich wurden deutlich größere Abfallmengen vorgefunden als in unseren Untersuchungen. Ein Beispiel hierfür sind Ergebnisse, die innerhalb des Projektes „Alpen Littering“ des Alpenvereins Österreich dokumentiert wurden. Im Projekt wurden mehrere Flurreinigungsaktionen in verschiedenen Gemeinden begleitet und das Abfallaufkommen auf mehreren Strecken ausgewertet. Diese Strecken lagen nicht im Hauptsiedlungsgebiet und wurden als mit Wanderwegen vergleichbar eingeschätzt (Alpenverein Edelweiss 2017, S. 165). Auf Wanderwegen in der Umgebung von Puchberg / Schneeberg wurden dabei rund 27 kg Abfälle gesammelt, im Gebiet von Rettenegg in der Steiermark wurden auf Wanderwegen ca. 8 kg Abfall gesammelt. Im Vergleich dazu wurden in unserer Untersuchung nur rund 250 g Abfälle gefunden. Ein Vergleich der Daten ist hier allerdings erschwert, da im Projektbericht des Projektes „Alpen Littering“ nicht angegeben ist, welche Strecke insgesamt begangen wurde. Zudem ist das Gewicht des Abfalls wenig aussagekräftig in Vergleichen, da zum Beispiel Glas deutlich schwerer ist als Plastik oder Zigarettenstummel. So wird der Anteil an Glasmüll vermutlich überschätzt, während leichtere Abfälle eher unterschätzt werden (ebd. S.175).

Aufgrund des insgesamt geringen Gewichtes und der geringen Größe der im Gschlöstal gefundenen Abfälle ist es durchaus möglich, dass die tatsächliche Menge an Abfällen unterschätzt wird. Kleine und leichte Partikel werden schnell von Wind erfasst und könnten von den Wegen in die Umgebung verweht werden. Auch eine Auswaschung der Abfälle durch starke

Regenfälle scheint denkbar. Insbesondere, da im Untersuchungsgebiet hohe Jahresniederschlagssummen gemessen werden (siehe Kapitel 2.2). An dieser Stelle sollte zudem darauf hingewiesen werden, dass 14 Tage vor unserer Beprobung, am 28.08.2023, starke Regenfälle in der Region Osttirol verzeichnet wurden. In der Folge trat der Gschlössbach im Talboden über die Ufer (Osttirol Online o.J.). An der Pegelstation Innergschlöss wurde in diesem Zeitraum mit einem Abfluss von $40 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, der höchste Abfluss im Jahr 2023 gemessen (Hydrographischer Dienst Tirol o.J.b). Dieses Starkregenereignis könnte ebenfalls zu Auswaschungen von Abfällen (insbesondere auf dem Fahrweg Innergschlöss) geführt haben.

Es wäre natürlich ebenfalls denkbar, dass Abfälle mit einem geringen Gewicht über atmosphärischen Eintrag aus der Umgebung in das Untersuchungsgebiet eingebracht werden. So vermuten Parolini et al. (2021, S. 5), dass zum Beispiel in der Studie gefundene Reste von Konfetti oder Plastiksäcken möglicherweise aus atmosphärischer Deposition stammen. Das ist für das hier untersuchte Gebiet ebenfalls möglich, allerdings gibt es in der Nähe des Gschlössstals kaum signifikante Quellen, aus denen zusätzliche makroskopische (Plastik-) Partikel stammen könnten. Das Untersuchungsgebiet ist zum Großteil ebenfalls von Nationalparkgebiet umschlossen. Lediglich der Wanderparkplatz des Matreier Tauernhauses, sowie die westlich des Gebietes verlaufende Felbertauernstraße könnten Immissionsquellen für Abfälle darstellen. Daher ist davon auszugehen, dass der Großteil des im Gschlössstal gefundenen Abfalls durch Wandernde eingetragen wurde. Diese Vermutung wird gestützt von der Beobachtung, dass 85 % des gefundenen Abfalls dem Bereich „Tourismus“ zugeordnet werden konnte. Auch diese Beobachtung deckt sich mit den Auswertungen von Parolini et al. (2021, S. 5) und Özbek et al. (2023, S. 9f.). Zudem zeigte die Untersuchung im Gschlössstal, dass zwischen Wanderwegen, die sich hauptsächlich durch ihre Frequentierung mit Besuchenden unterscheiden, ein signifikanter Unterschied in der gefundenen Abfallmenge besteht (siehe Kapitel 3.2). So wurde auf dem Prager Hüttenweg etwa achtmal mehr Abfall gefunden, als auf dem wenig begangenen Wanderweg in Richtung des Sandebentörls. Auch dieses Ergebnis deutet auf den Tourismus als bedeutende Quelle für zurückgelassene Abfälle im Untersuchungsgebiet. Hingegen konnte kein signifikanter Unterschied in der Menge und der Streuung der Abfallmenge zwischen den Wegabschnitten in der Kern- und der Außenzone des Untersuchungsgebiets festgestellt werden. Es wird an mehreren Stellen im Park durch Tafeln auf das Betreten der Kernzone hingewiesen

(Jurgeit, Florian (Forschung und GIS NPHT Tirol) 2023). Allerdings besteht die Vermutung, dass die Wegabschnitte in den beiden Zonen ähnlich stark frequentiert werden, wie auch die „Heat Map“ (vergleiche Abbildung 1) zeigt. Gleichzeitig ist der Stichprobenumfang von nur vier beprobten Wegen in dieser Erhebung relativ klein. Eine breiter angelegte Untersuchung wäre daher nötig, um ein aussagekräftigeres Ergebnis zu erzielen. Von den Abfällen, die dem Bereich Gastronomie zugeordnet wurden ($n = 6$), wurden vier auf dem Fahrweg Innergschlöss gefunden und zwei weitere auf dem Prager Hüttenweg. Diese Verteilung deckt sich mit der Erwartung, da nur an diesen beiden Wegen im Untersuchungsgebiet gastronomische Betriebe liegen, und auf dem Fahrweg Innergschlöss die meisten gastronomischen und touristischen Betriebe liegen. Der Anteil der Landwirtschaft am entstehenden Abfall auf den Wanderwegen im Gebiet ist hingegen mit lediglich zwei zugeordneten Abfällen als sehr gering einzustufen.

Die Betrachtung der Abfallmengen in Verbindung mit Infrastrukturobjekten zeigt insgesamt ein differenziertes Bild. Die visuelle Auswertung der verfügbaren Daten des Gletscherlehrweges (siehe hierzu Kapitel 3.4) legt nahe, dass vor allem auf Wegabschnitten, auf denen Bänke und Aussichtspunkte liegen, mehr Abfälle gefunden wurden als eine Gleichverteilung erwarten ließe. Einen solchen Effekt beschreiben auch Özbek et al. (2023, S. 5f.) für den „Viel del Pan“, einen beliebten Wanderweg in den Dolomiten. Es besteht die Vermutung, dass Besuchende an diesen Stellen länger verweilen und ggf. eine „Essens-Pause“ einlegen. Dadurch könnte es an diesen Stellen zu einer Mehrbelastung mit beispielsweise Lebensmittelverpackungen aus Plastik oder Zigarettenstummeln kommen. An Wegweisern und Schildern am Gletscherlehrweg wurden hingegen keine erhöhten Mengen an Abfällen dokumentiert. Entlang des Weges wurden zudem unterschiedlich hohe Mengen an Abfällen auf Wegabschnitten dokumentiert, auf denen keine Infrastrukturobjekte lagen. Diese könnten ebenfalls absichtlich hinterlassen worden sein, oder aber unabsichtlich verloren worden sein. Besonders interessant ist in diesem Zusammenhang auch der Blick auf die Menge von Zigarettenstummeln, die auf den beprobten Wegen gefunden wurden. In ihrer Studie stellen Özbek et al. (2023, S. 5f.) heraus, dass auf dem „Viel del Pan“ besonders viele Zigarettenstummel in der Nähe von Hütten gefunden wurden. Diese Beobachtung ist im Gschlössstal jedoch nur bedingt zu machen. Die mit Abstand größte Menge an Zigarettenstummeln auf einem Weg wurde auf dem Fahrweg Innergschlöss gefunden (56 von insgesamt 71). Auf diesem liegen zwei gastronomische Betriebe; gleichzeitig

ist der Fahrweg Innergschlöss von den beprobten Wegen am stärksten mit touristischer Infrastruktur ausgestattet. Jedoch nimmt die Menge der gefundenen Zigaretten je Transekt auf dem Fahrweg stetig ab, wie Tabelle 4 zeigt. Auf dem ersten Transekt, auf dem auch das Berghaus Außergschlöss liegt (I 0-1) wurden demnach die meisten Zigarettenstummel gefunden (n = 17). Auf den Transekten, die in der Nähe der Siedlung Innergschlöss liegen (I 4-5 und I 5-6), wurden jedoch respektive nur 8 und 2 Zigarettenstummel gefunden.

Tabelle 4: Zigarettenstummel auf Transekten des Fahrwegs Innergschlöss

Transekt	I 0-1	I 1-2	I 2-3	I 3-4	I 4-5	I 5-6	I 6-7	I 7-8	I 8-9	I 9-10
Anzahl Zigaretten	17	9	9	8	8	2	1	1	1	0

Das ist nicht deutlich mehr als auf den umliegenden Transekten. Für das Gschlössstal lässt sich also kein besonderer „Hütten-Effekt“ in Bezug auf Zigarettenstummel nachweisen. Allerdings muss hier einschränkend erwähnt werden, dass in der Untersuchung nur eine kleine Stichprobe betrachtet wurde. Sowohl für zurückgelassene Zigarettenreste, als auch für die Gesamtheit der gefundenen Abfälle wären zuverlässigere Aussagen möglich, wenn exakte Lagedaten für aller Funde verfügbar wären. So wäre zum Beispiel ein Vergleich der Littering-Muster für verschiedene Abfallgruppen sehr aufschlussreich. Ein solcher Vergleich konnte in dieser Arbeit aufgrund der geringen Anzahl an belastbaren Geodaten jedoch nicht durchgeführt werden (siehe Kapitel 2.6). An dieser Stelle sind weitere Untersuchungen besonders wünschenswert. Eine bessere Übersicht über die Verteilungsmuster von Abfällen im alpinen Bereich kann maßgeblich zu einer höheren Effektivität möglicher Gegenmaßnahmen beitragen.

Abschließend soll an dieser Stelle die Art des gefundenen Abfalls näher betrachtet werden. Welcher Abfall besonders häufig gefunden wurde kann ebenfalls wesentliche Informationen über das Muster der Abfallbelastung im Untersuchungsgebiet aufzeigen. Betrachtet man die im Feld vorgenommene Klassifizierung nach den Klassen der DreckSpotz-App, ergibt sich folgende Aufteilung: Mit Abstand den größten Anteil des Mülls machen die Klassen „Plastik & Gummi“ und „Zigaretten“ aus, gefolgt von „Papier“ und „Metall“. Wie bereits in Kapitel 3.5 angeführt, deckt sich diese Einschätzung sehr gut mit den im Labor spektroskopisch verifizierten Materialien. Der Vergleich mit verfügbaren Daten zu makroskopischem Abfall in Österreich

verdeutlicht: Die im Gschlöstal vorgefundenen Abfälle weisen ein typisches Muster auf. So zeigt das obere Säulendiagramm in Abbildung 12 die im Gschlöstal gefundene Verteilung von Abfallklassen nach dem System der DreckSpotz-App (n = 328 Objekte). Das untere Diagramm in Abbildung 12 zeigt im Vergleich hierzu die Verteilung der Abfallklassen auf der Basis aller Einträge von Nutzern der DreckSpotz-App in Österreich im Zeitraum vom 15.05.2017 bis zum 15.01.2024 (n = 219.822). Die Daten für Gesamtösterreich wurden von Klemens Weisleitner und GLOBAL 2000 zur Verfügung gestellt (GLOBAL 2000 2024).

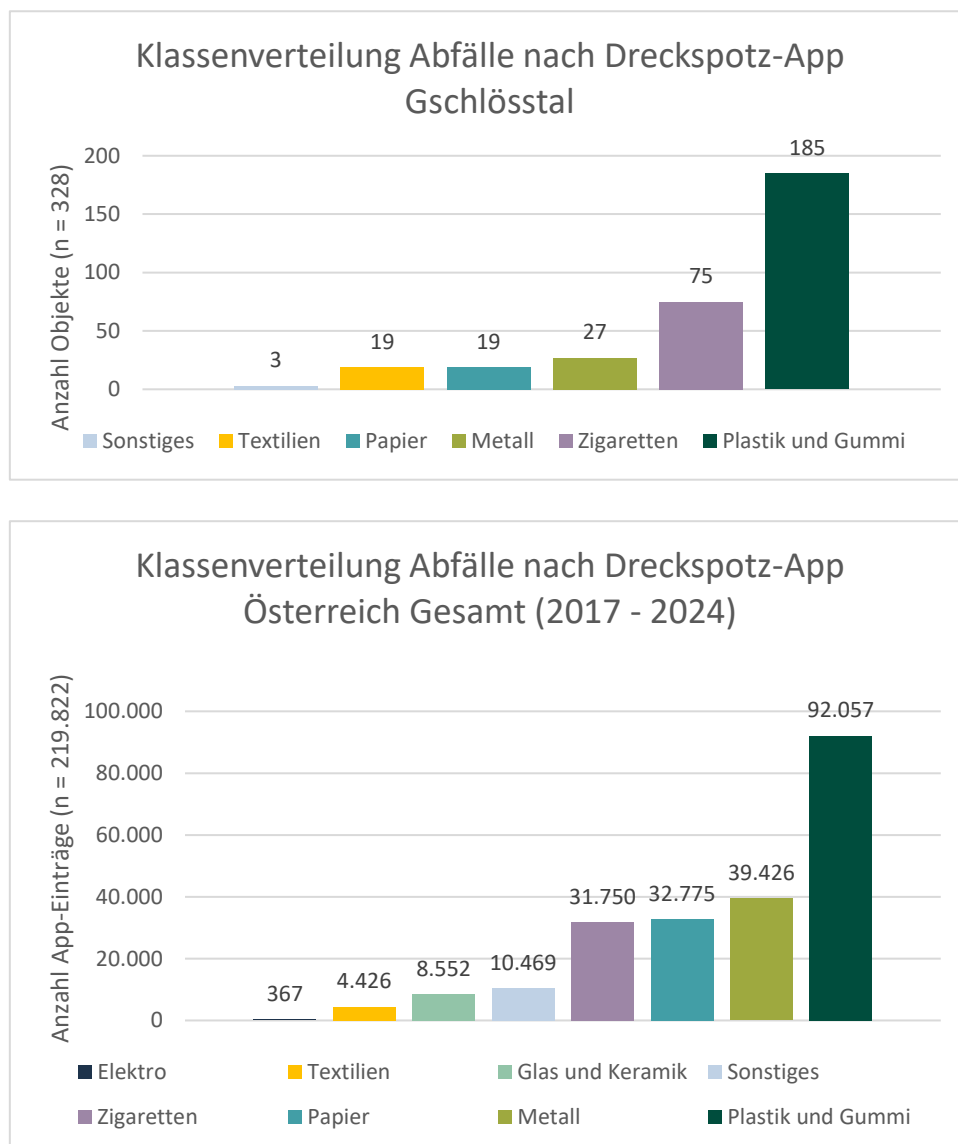


Abbildung 12: Klassenverteilung nach DreckSpotz-App für alle gefundenen Objekte im Gschlöstal (oben) und Klassenverteilung aller Einträge in der DreckSpotz-App in Österreich (15.05.2017 – 15.01.2024) (unten)

Der Vergleich der beiden Datensätze zeigt eine bemerkenswerte Übereinstimmung. Die am häufigsten gefundenen Abfälle sind in beiden Gruppen mit Abstand der Kategorie „Plastik & Gummi“ zugeordnet. Die zweit bis vierthäufigsten Abfallklassen sind in beiden Datensätzen „Metall“, „Papier“ und „Zigaretten“. Jedoch wurde im Gesamtdatensatz „Metall“ und „Papier“ häufiger gefunden, als „Zigaretten“. Hierfür kann es mehrere Gründe geben. Zum Beispiel könnten Zigarettenstummel aufgrund ihrer geringen Größe übersehen werden. Es ist aber auch möglich, dass der Anteil der Zigaretten am Datensatz der App unterrepräsentiert ist, da hier lediglich „Einträge“ erfasst werden. Bei jedem Eintrag können die Nutzer der App Mengenangaben für gefundenen Abfall machen. Wenn also ein Fund mit fünf Zigarettenstummeln dokumentiert wird, erscheint dieser nur als ein Eintrag in der Datenbank und wird als $n = 1$ gewertet. Dieser Umstand sollte auch allgemein bei der Auswertung des Datensatzes beachtet werden. Im Gschlöstal wurden, im Gegensatz zum Gesamtdatensatz, keine Elektroabfälle und auch keine Glas- oder Keramikabfälle gefunden. Diese Gruppen sind auch im Vergleichsdatsatz am geringsten vertreten. Das Fehlen von Elektroabfällen lässt sich vermutlich damit erklären, dass diese Abfälle mit hoher Wahrscheinlichkeit absichtlich in den Naturraum verbracht werden, also illegale Müllablagerung darstellen. Daher ist diese Müllkategorie im siedlungsnahen Bereich vermutlich häufiger vertreten. Die Daten aus den im Projekt „Alpen Littering“ begleiteten Flurreinigungsaktionen zeigen, dass bei Glasabfällen auf Wanderwegen der mit Abstand größte Anteil auf „Glasverpackungen von Getränken“ entfällt (Alpenverein Edelweiss 2017, S. 167–173). Glasflaschen sind jedoch deutlich schwerer als Flaschen aus Kunststoff. Eine Erklärung für das Fehlen der Fraktion „Glas- und Keramik“ im Untersuchungsgebiet könnte also sein, dass Wandernde aus Gründen der Gewichtsreduktion eher Flaschen aus Kunststoff oder wiederverwendbare Flaschen mitführen, als Glasflaschen.

Aufschlussreich ist auch die detaillierte Betrachtung der Kategorie „Plastik & Gummi“. Innerhalb dieser Kategorie wurden die meisten Objekte als „Sonstiges Plastik & Gummi“ klassifiziert (siehe Anhang III.3). Hier handelte es sich um Objekte, die keiner speziellen Subkategorie zugeordnet werden konnten. Häufig vertreten waren in dieser Kategorie undefinierbare Bruchstücke von Hartplastik, Aufkleber, sowie Teile von Wanderstöcken und Reflektoren (siehe Anhang III.4). Es wird vermutet, dass ein großer Teil des Kunststoffs in dieser Kategorie auf Ausrüstungsgegenstände von Besuchenden zurückzuführen ist. Die zweit- und drittgrößte

Subkategorie in der Kategorie „Plastik & Gummi“ machen „Süßigkeiten und Snackverpackungen“ und „Folien“ aus (Anhang III.3). Die von Parolini et al. (2021, S. 4) beschriebene Verteilung der Plastikpartikel nach Herkunft zeigt ein ähnliches Bild. Auch hier waren die größten Kategorien Ausrüstungsgegenstände und Bekleidung, sowie Verpackungen von Lebensmitteln.

Die spektroskopisch ermittelte Verteilung der Polymertypen entspricht der zu erwartenden Verteilung. Die größte Gruppe bildet Acetat, welches fast gänzlich auf die aufgesammelten Zigarettenfilter zurückzuführen ist (siehe Abbildung 11). Zigarettenfilter bestehen aktuell meist aus Cellulose-Acetat (Everaert et al. 2023, S. 4; Shen et al. 2021, S. 2). Abgesehen von Zigarettenfiltern bestanden die meisten identifizierten Kunststoffabfälle aus Polypropylen (PP), Polystyrol (PS) und Polyethylen (PE) (siehe Abbildung 10). Diese drei Polymere gehören zu den sogenannten „Standard-Polymeren“. Sie sind sehr günstig in der Herstellung und vielseitig einsetzbar. Daher werden sie häufig in Alltagsgegenständen verwendet (Kunststoffrohrverband e.V. o.J.). Sie gehören zu den in Europa am stärksten nachgefragten Kunststoffen, insbesondere im Bereich Verpackungsmaterial (Plastics Europe 2022a, S. 36f.). Es ist demnach nicht überraschend, dass auch Parolini et al. (2021, S. 4) einen ähnlichen Fingerabdruck bei der ATR-Identifikation von Makroplastik auf Gletscherwanderwegen beschreiben.

Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist auch der Vergleich der Polymerverteilung von Makroplastik und Mikroplastik auf alpinen Wanderwegen. Bei Untersuchungen auf dem Forni-Gletscher (Ortler-Gruppe im Stelvio-Nationalpark an der Grenze zwischen Südtirol und der Lombardei) konnten Mikroplastikpartikel in Ablagerungen auf der Gletscheroberfläche nachgewiesen werden. Die Forschenden nahmen vier Proben von Ablagerungen auf der Gletscheroberfläche in der Ablationszone des Gletschers und zwei Kryokonit-Proben (Ambrosini et al. 2019, S. 2). In allen gesammelten Proben wurde Mikroplastik nachgewiesen. Je Probe wurden zwischen zwei und sieben Fragmente detektiert, vornehmlich Fasern (65,2 %). Dabei handelte es sich vor allem um die Polymere Polyester (39 %), Polyamid (9 %), Polyethylen (9 %) und Polypropylen (4 %) (ebd. S. 3). Aufgrund des vorwiegenden Polyesters und Polyamids gehen die Autoren davon aus, dass signifikanten Mengen von Mikroplastik durch den Alpentourismus eingetragen wurden, da Polyamid und Polyester häufig in Ausrüstung und Kleidung verwendet werden (ebd. S. 4, Gewerbemuseum Winterthur 2022a, 2022b).

Eine weitere aktuelle Studie konnte zudem Mikroplastik auf unterschiedlich stark frequentierten Wanderwegen in vier Schutzgebieten in New-South-Wales (Australien) nachweisen. Konkret wurden in der Studie Wanderwege in zwei Naturreservaten und zwei Nationalparks untersucht. Zudem wurde in den Reservaten die atmosphärische Deposition von Mikroplastik über einen Zeitraum von sechs Monaten erfasst (Forster et al. 2023, S. 2–4). Auf allen beprobten Wanderwegen wurde Mikroplastik nachgewiesen. Im Vergleich von hoch und niedrig frequentierten Wanderwegen (Dumaresq Dam Loop Track und Duval Loop Track respektive) wurden auf den Wegen mit hoher Frequentierung etwa dreimal so viele Mikroplastikpartikel gefunden wie auf jenen mit geringer Aktivität. Auf allen beprobten Wegen machten ebenfalls Fasern den größten Anteil des gefundenen Mikroplastiks aus (ebd. S. 5). Die am häufigsten gefundenen Polymertypen waren Polyurethan (PU), Polyethylenterephthalat (PET) und Polystyrol (PS). Das Polyurethan schreiben die Autoren dem Abrieb von Ausrüstung zu (ebd. S. 8). Der Hauptteil des weltweit produzierten Polyurethans wird in der Schaumstoffindustrie verwendet (Kunststoffe.de o.J.d). So werden beispielweise Schuhsohlen aus Polyurethanen hergestellt, auch wird PU in der Herstellung für Fasern von Kleidung und Regenausrüstung verwendet (Arbeitschutz-Express GmbH o.J.; Kunststoffe.de o.J.d). PE, PP, PS und PVC wurden ebenfalls auf den Wegoberflächen nachgewiesen, aber nicht (oder nur in geringen Mengen) in der untersuchten atmosphärischen Deposition. Daher gehen die Autoren davon aus, dass die Zersetzung von größeren Abfallfragmenten und der Abrieb von Schuhen und Ausrüstung signifikante Quellen für das auf den Wanderwegen nachgewiesene Mikroplastik sind. Es ist demnach denkbar, dass zurückgelassenes Makroplastik zur Belastung von Wanderwegen und alpinen Gebieten mit Mikroplastik beiträgt, da es mit der Zeit verwittert und immer stärker fragmentiert. Eine nicht zu unterschätzende Quelle für Mikroplastik auf Wanderwegen scheint zudem der Abrieb von Kleidung und Ausrüstung von Besuchenden zu sein.

Zwar wurden im Gschlössstal in unserer Untersuchung nur geringe Mengen an Mikroplastik nachgewiesen, es handelte sich hierbei aber ebenfalls zum Großteil um Fasern, wie auch von Forster et al. (2023, S. 5) und Ambrosini et al. (2019, S. 3) beschrieben (vergleiche Platter in prep.). Es ist zudem durchaus möglich, dass die Menge des Mikroplastiks im Gschlössstal in unseren Untersuchungen unterschätzt wurde. Grund hierfür sind vor allem methodische Einschränkungen (Platter in prep.). An dieser Stelle sind weitere Untersuchungen dringend

erforderlich, um ein detailliertes Bild über die Verteilung von Mikroplastik im Gschlöstal zu erhalten, und die Ergebnisse mit den Ergebnissen aus der Makroplastikuntersuchung abzugleichen. So könnte ermittelt werden, inwiefern Littering zur Belastung von Wanderwegen mit Mikroplastik beiträgt.

4.2 Methodikdiskussion

Um das Ausmaß von Littering in alpinen Schutzgebieten besser einschätzen zu können, sind weitere Untersuchungen notwendig. Ein großes Problem hierbei ist, dass zurzeit kein einheitliches System zur Erfassung von Abfällen im Gebirge besteht. So wird bei Flurreinigungsaktionen häufig lediglich das Gewicht der gesammelten Abfälle erfasst (Alpenverein Edelweiss 2017, S. 165; Trikha, Iris (Digitale Rangerin, Naturpark Karwendel) 2023). Hierdurch wird jedoch gegebenenfalls, wie in Kapitel 4.1 beschrieben, der Anteil kleiner und leichter Abfälle deutlich unterschätzt. Ein weiteres Problem ist, dass kein einheitliches System zur Klassifizierung von Abfällen besteht. Dies gilt auch für die Erhebung von Mikroplastik im terrestrischen Raum; auch hier fehlt eine einheitliche Methodik bisher (Bläsing und Amelung 2018, S. 10; Möller et al. 2020, S. 9).

Aus diesem Grund soll hier kurz auf die Vor- und Nachteile der in dieser Untersuchung angewendeten Methodik eingegangen und Empfehlungen für zukünftige Untersuchungen abgeleitet werden. Zunächst sollte herausgestellt werden, dass sich das Gschlöstal als Untersuchungsgebiet für Abfälle auf Wanderwegen im Nationalpark Hohe Tauern insgesamt gut eignet. Es erscheint sinnvoll, eine Vergleichsuntersuchung des Abfallaufkommens an den Krimmler Wasserfällen im Salzburger Teil des Nationalparks durchzuführen. Die Krimmler Wasserfälle sind ebenfalls ein stark frequentiertes Gebiet im Nationalpark Hohe Tauern (Mattersberger, Helene (Öffentlichkeitsarbeit NPHT) 2023). Sollte eine erneute Erhebung des Abfallaufkommens im Gschlöstal vorgenommen werden, ist zu empfehlen, die Gesamtheit des Gletscherlehrweges und des Prager Hüttenweges zu beproben und gegebenenfalls weitere Wege in die Beprobung mit einzubeziehen. Aufgrund des begrenzten Beprobungszeitraums konnte in dieser Untersuchung nur eine recht geringer Stichprobenumfang bearbeitet werden. Eine breiter angelegte Untersuchung könnte die Aussagekraft der Daten deutlich verbessern. Unsere

Ergebnisse legen nahe, dass die Frequentierung der untersuchten Wege ein wichtiger Faktor in der Belastung mit Abfall ist. Auch hier wären weitere Untersuchungen sinnvoll. In dieser Arbeit wurde die „Heat Map“ des Anbieters STRAVA ausgewertet, um die Frequentierung der einzelnen Wege abzuschätzen (siehe Kapitel 2.3). Das Tool eignet sich sehr gut für eine allgemeine Einschätzung der Frequentierung, seine Aussagekraft ist allerdings deutlich begrenzt. So zeichnet vermutlich nur ein geringer Teil der Besuchenden im Nationalpark ihre Aktivitäten georeferenziert auf und stellt diese danach öffentlich zur Verfügung. Zudem ist es möglich, dass eben diese Aktivitätsdaten eher von Alpinsportlern aufgezeichnet werden, welche womöglich längere Strecken und mehr Höhenmeter zurücklegen, als die Gesamtheit der Besuchenden im Gschlöstal. Beide Effekte könnten zu einer Verzerrung der tatsächlichen Frequentierung führen. Abschließend muss beachtet werden, dass es sich bei der „Heat Map“ lediglich um eine relative Darstellung der Frequentierung handelt. Die Erfassung von absoluten Besucherzahlen an den einzelnen Wegen würde belastbarere Daten liefern, ist aber mit einem deutlich höheren Arbeitsaufwand verbunden.

Auch die in dieser Arbeit vorgenommene Laboranalyse gestaltet sich aufwendig, insbesondere bei hohen Abfallmengen. So muss für die Vermessung in der Software FIJI, ebenso wie für die Materialprüfung mittels Infrarotspektroskopie, jedes Objekt einzeln bearbeitet werden. Es wird empfohlen, die Vermessung in FIJI dennoch vorzunehmen, da die Größe der Objekte eine Einordnung nach Größenfraktion ermöglicht. So können die Daten aus verschiedenen Erhebungen besser verglichen werden. Auch die anschließende ATR-Spektroskopie ermöglicht einen direkten Vergleich mit anderen Erhebungen. Wie in Kapitel 3.5 beschrieben, zeigte sich jedoch auch, dass sich die im Feld vorgenommene Einschätzung nach Abfallklassen sehr gut mit den im Labor verifizierten Materialien deckt. Soll der Arbeitsaufwand möglichst geringgehalten werden, oder sich bei Erhebungen auf Citizen Science Daten gestützt werden, kann also auch eine rein visuelle Einschätzung des Abfalls wichtige Informationen liefern. Es sollte jedoch, insbesondere für die Verwendung von Citizen Science Daten, eine Qualitätskontrolle durchgeführt werden. Insgesamt lässt sich die hier beschriebene Beprobungsmethodik für Abfälle auf Wanderwegen weiterempfehlen, da sie kostengünstig, schnell und auch mit ungeschulten Personen leicht durchführbar ist. Zwei Aspekte der Beprobungsmethodik sollten hier noch einmal separat herausgestellt werden: Erstens ist es zu empfehlen, das Sammeln von

Abfall vor allem beim Bergaufgehen vorzunehmen. Hier ist die Laufgeschwindigkeit tendenziell langsamer und der Blick mehr auf den Weg fokussiert, was ein Auffinden besonders kleiner Abfälle erleichtert. Zudem sollten eher kürzere Transekte abgelaufen werden. Zwischen diesen sollten längere Pausen eingelegt werden, da nach einiger Zeit die Aufmerksamkeit der beprobenden Personen absinkt, wodurch Abfälle häufiger übersehen werden könnten. Zweitens ist nicht zu empfehlen, den Wegrand in die Beprobung miteinzubeziehen. Zwar können hierdurch ebenfalls Abfälle übersehen werden, jedoch sind die Wegränder unterschiedlicher Wanderwege häufig sehr verschieden und daher nur schwer vergleichbar. Zuletzt ist anzumerken, dass es sich bei der hier angewendeten Methode um eine rein visuelle Erfassung handelt. Es ist als durchaus möglich, dass trotz aufmerksamer Erfassung Objekte übersehen wurden und die tatsächliche Zahl der Abfälle höher liegt, als die hier angegebene. So wurde durch die visuelle Überprüfung kein Mikroplastik gefunden (siehe Tabelle 3). Es ist dennoch zu vermuten, dass Mikroplastikpartikel auf den Wegen vorkommen, wie die Ergebnisse von Platter (in prep.) zeigen. Diese können jedoch durch ihre geringe Größe rein visuell nicht erfasst werden. Zudem ist denkbar, dass Objekte mit auffälligen Farben oder Formen (wie etwa buntes Plastik) eher aufgefunden werden als zum Beispiel transparente Folien, die mit bloßem Auge nur schwer erkennbar sind.

Ein Fokus zukünftiger Erhebungen sollte die Untersuchung der Verteilungsmuster von Abfällen entlang von Wanderwegen sein. Vor allem der Zusammenhang von Abfallaufkommen und Infrastrukturausstattung sollte weiter untersucht werden. Eine Hürde für Untersuchungen im Gebirge stellt hierbei die Verlässlichkeit von GPS-Systemen dar. So konnten in dieser Untersuchung nur wenige verlässliche Geodaten rekonstruiert werden. Es empfiehlt sich, leistungsstarke GPS-Geräte bei der Erhebung mitzuführen, sodass die kontinuierliche Aufzeichnung von Geodaten im Feld gewährleistet ist. Nur mit exakten Lagedaten sind verlässliche Aussagen zu Littering-Mustern auf Wanderwegen möglich. Insgesamt besteht also noch viel Potential für weitere Erhebungen von Abfällen und Plastik im hochalpinen Raum.

5 Die Implikationen für den Nationalpark

Nach der Auswertung des Abfallaufkommens im Gschlössstal ergeben sich zwei essentielle Fragen, die eng miteinander verknüpft sind. Diese lauten:

1. Was bedeuten die erhobenen Daten für das Gschlössstal und seine Natur?
2. Sollten Maßnahmen gegen das Littering im Gschlössstal (und im weiteren Sinne im Nationalpark Hohe Tauern) ergriffen werden – und wenn ja, welche Maßnahmen?

Diese Fragen sind Gegenstand des folgenden Kapitels und beschließen die in dieser Arbeit angestellten Untersuchungen.

5.1 Abfälle im Nationalpark – Klein aber nicht fein

Zunächst soll hier auf die Gefährdungen eingegangen werden, die durch die auf den Wanderwegen zurückgelassenen Abfälle im Gschlössstal entstehen können. Der unmittelbarste Effekt von Abfällen in der Landschaft ist wohl die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes. So gibt ein Großteil befragter Nationalparkbesuchender an, „Erholung und Gesundheit in schöner Berglandschaft“ sei einer der wichtigsten Beweggründe für einen Urlaub im Nationalparkgebiet (Lehar und Bayer 2014, S. 22). Abfälle in der Landschaft setzen deren Erholungswert erheblich herab (Alpenverein Edelweiss 2017, S. 34; Stoifl und Oliva 2020, S. 23). Eine weitere direkte Auswirkung auf Besuchende ergibt sich durch eine erhöhte Verletzungsgefahr aufgrund von Abfällen (Stoifl und Oliva 2020, S. 23). Vor allem Metallabfälle, die in unserer Untersuchung die drittgrößte Abfallgruppe ausmachen, sind hier zu nennen. So wurden auf den Wegen im Gschlössstal beispielsweise eine Schraube und mehrere Deckel von Konservendosen gefunden. Letztere stellen ein besonderes Risiko dar, da diese Deckel sehr scharfkantig sind. Aber nicht nur für Menschen besteht ein erhöhtes Verletzungsrisiko, auch Tiere können Abfälle fressen und sich hierdurch verletzen (ebd.). So konnten Meyer et al. (2023, S. 5) in 30 von 100 untersuchten Kuhmägen anthropogene Fremdkörper feststellen. Neben Fasern, Hartplastik und Folien wurden auch Drähte, Nägel und Blech im Verdauungssystem der Rinder gefunden. Metallstücke im Magen der Rinder waren stark mit dem Auftreten von Zungenverletzungen und

Lungeninfektionskrankheiten korreliert (ebd.). Auch Textilien, denen etwa 6 % der im Gschlössstal gefundenen Abfälle zugeordnet wurden, können ein direktes Problem für Tiere darstellen. So beschreiben Meyer et al. (2023, S. 3), dass Vögel Plastikfasern für den Nestbau nutzen, was eine potentielle Gefährdung für Jungvögel darstellt. Eine ähnliche Beobachtung beschreiben auch Townsend und Barker (2014, S. 3) für nordamerikanische Krähen. Weitere 6 % der im Gschlössstal gefundenen Abfälle wurden der Kategorie Papier zugeordnet. Papier wird häufig achtlos weggeworfen, da es als leicht abbaubar gilt (Alpenverein Edelweiss 2017, S. 35). Zwar verrottet unbehandeltes Papier deutlich schneller in der Umwelt als beispielsweise Kunststoffabfälle (Alpenverein Edelweiss 2017, S. 31), jedoch ergeben sich zwei Probleme: Zum einen ist der Stoffabbau in alpinen Gebieten aufgrund der Witterungsbedingungen gehemmt, was die Verrottungszeiten für Abfälle verlängert, auch wenn sie grundsätzlich organisch sind (ebd.). Zum anderen sind nur wenige Papierprodukte tatsächlich unbehandelt. Gerade im Bereich von Lebensmittelverpackungen werden Papiere häufig mit Kunststoff beschichtet, was die Zersetzbarkeit der Verpackungen deutlich mindert (Dallmus 2021). Die weitaus größte Gefahr für die Natur im Nationalpark stellen allerdings die beiden abundantesten Abfallgruppen der Untersuchung dar: Kunststoffabfälle und Zigaretten. Auf diese soll an dieser Stelle gesondert eingegangen werden.

Zigaretten und ihre Bestandteile gehören zu den am häufigsten in der Umwelt zurückgelassenen (gelitterten) Abfällen. In unseren Untersuchungen machten Zigarettenabfälle rund 23 % des gefundenen Mülls aus (siehe Abbildung 6). Nach Hochrechnungen des Umweltbundesamtes werden jährlich in Österreich zwischen 2,9 und 10 Mrd. Zigaretten unsachgemäß entsorgt (Stoifl und Oliva 2020, S. 137f.). Zigarettenfilter werden heute meist aus Cellulose-Acetat gefertigt (ebd. S. 139). Dabei handelt es sich um einen halbnatürlichen Kunststoff. Er wird hergestellt, indem natürliche Cellulosefasern verestert und anschließend partiell hydrolisiert werden. So entsteht ein thermoplastischer Kunststoff, der heute vor allem für die Herstellung von Textilfasern verwendet wird (Gewerbemuseum Winterthur 2011). Je höher der Grad der Veresterung, desto schlechter ist das Material biologisch abbaubar (Everaert et al. 2023, S. 4). Daher sollten Zigaretten im Restmüll entsorgt werden (Stoifl und Oliva 2020, S. 138). Dennoch ist das achtlose Wegwerfen von Zigarettenabfällen vermutlich gesellschaftlich eher akzeptiert, wie eine Befragung von Hüttenwirten des Projekts „Alpen Littering“ ergab (Alpenverein

Edelweiss 2017, S. 35). Ein Grund hierfür könnte das mangelnde Bewusstsein über die Komposition von Zigarettenabfällen bei der Bevölkerung sein. So beschreiben Shen et al. (2021, S. 2), dass Additive und spezielle Umweltbedingungen den Abbau von Zigarettenresten zwar beschleunigen können, unter natürlichen Bedingungen konnte der gänzliche Abbau von Cellulose-Acetat jedoch bisher nicht nachgewiesen werden. Viele Rauchende seien sich nicht darüber bewusst, dass Zigarettenfilter in der Umwelt nicht biologisch abbaubar sind. Aber wenn Zigaretten nicht biologisch abbaubar sind, was geschieht dann mit den Resten, die in der Umwelt verbleiben? Die gelitterten Zigarettenstummel degradieren langsam und zerfallen zu immer kleineren Bestandteilen – sprich: Mikroplastik (Stoifl und Oliva 2020, S. 139). Mit diesem Zerfall gehen zwei gravierende Probleme einher. Erstens werden mikroskopisch kleine Fasern freigesetzt. Zweitens sind Zigarettenstummel stark toxisch, da sie Rückstände von Teer, Nikotin, Arsen und anderen Schadstoffen enthalten. Diese werden ebenfalls in der Umwelt freigesetzt (ebd.).

Das Beispiel von Nikotinresten in weggeworfenen Zigarettenstummeln macht den Effekt des sogenannten „Leachings“ von Schadstoffen aus Plastikabfällen besonders deutlich. In einer Laborstudie konnten Roder Green et al. (2014, S. 7) zeigen, dass nach 15 simulierten Regenfällen auf einen Gehweg (Gesamtmenge 21.6 mm) etwa 2,8 mg Nikotin pro Gramm Zigarettenstummel ausgewaschen wurden; etwa die Hälfte des ausgewaschenen Nikotins wurde bereits in den ersten beiden Beregnungsevents (1,6 mm) ausgewaschen. Wenn die Zigarettenstummel in Wasser gelagert wurden, wie es beispielsweise in Pfützen und Gewässerkörpern der Fall ist, war die detektierte Auswaschung noch einmal deutlich höher. Es wurden kumuliert 7,1 mg Nikotin pro Gramm Zigarettenstummel gemessen. Auch hier wurden bereits nach kurzer Zeit hohe Mengen des Stoffes ausgewaschen, nach einer halben Stunde bereits 50 % des insgesamt ausgewaschenen Nikotins, nach elf Stunden bereits 90 % (ebd. S. 6). Nikotin ist ein potentes Insektizid und klassifiziert als giftig für Gewässerorganismen mit Langzeitwirkung (Carl Roth GmbH 2022, S. 2; Zechmann 2017). Der PNEC-Schwellenwert für eine Auswirkung von Nikotin auf Süßwasserorganismen liegt bei $0,4 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ bei kurzzeitiger Exposition (Carl Roth GmbH 2022, S. 6). Das bedeutet, schon ein Zigarettenstummel in einem Liter Wasser, wie in der Untersuchung von Roder Green et al. (2014, S. 4), überschreitet diesen Schwellenwert bereits nach kurzer Zeit um ein Vielfaches. Ein einziger Zigarettenstummel kann mehr als 1000 l Wasser

über den PNEC-Schwellenwert hinaus kontaminieren (ebd. S. 7). Aber auch die bei der Degradation von Zigarettenstummeln entstehenden Mikroplastikfasern stellen ein ökologisches Problem dar, insbesondere in Gewässern. Beispielsweise zeigen Laborversuche von Belzagui et al. (2021, S. 3), dass ein Zigarettenfilter in leicht bewegtem Wasser innerhalb von zwei Wochen ca. 100 Mikroplastikfasern pro Tag verliert. Am ersten Tag lag der Wert noch einmal deutlich höher, bei 450 Fasern. Die Länge der Fasern lag dabei meist unter 0,2 mm, also im Mikroplastikbereich (vergleiche GESAMP 2019, S. 10). Die Autoren schätzen, dass weltweit durch die Degradation von nicht fachgerecht entsorgten Zigarettenstummeln ähnliche Mengen an Mikroplastikfasern in die Umwelt gelangen wie durch die Hauswäsche (Belzagui et al. 2021, S. 4). In der gleichen Studie wurde auch der Effekt von Zigarettenstummeln im Wasser auf *Daphnia magna* untersucht. Eine Sterblichkeit von 100 % der getesteten Daphnien wurde bei einer Konzentration von 0,62 gerauchten Filtern pro Liter angenommen (ebd. S. 4). Neben der Aufnahme der Fasern und Schadstoffe aus den Zigarettenstummeln, die zum Absterben der Daphnien führten, wurde ein weiterer Effekt deutlich: In einigen Proben verfangen sich Individuen von *Daphnia magna* in den Fasern, wodurch sie in ihren Bewegungen eingeschränkt wurden und vermutlich schneller abstarben (ebd. S. 5). Das Mikroplastik, welches sich aus den Zigarettenfiltern löst, kann so leicht in die Nahrungskette übergehen und durch eine Vielzahl von Organismen aufgenommen werden (ebd. S. 6). Belzagui et al (2021, S. 5) stellen zudem heraus, dass insbesondere aquatische Ökosysteme gefährdet sind, da sie eine Senke für aus der Umgebung ausgewaschene Zigarettenfilter darstellen. Darüber hinaus fördern die Bedingungen in aquatischen Ökosystemen die Degradation von Zigarettenfiltern. Das Gefährdungspotential durch auf den Wegen zurückgelassene Zigarettenstummel im Gschlössstal lässt sich demnach als hoch einschätzen. Insbesondere der teils als FFH-Lebensraumtyp geschützte Gschlössbach und die naturschutzfachlich wertvollen oligotrophen Kleingewässer im Gebiet wie der Salzbodensee und das Auge Gottes sind als besonders vulnerabel einzuschätzen (NPHT 2022; Stöhr et al. 2022, S. 15). Diese Vulnerabilität wird noch dadurch gesteigert, dass diese Lebensräume unmittelbar am Verlauf verschiedener Wege im Gschlössstal liegen.

Ähnliche Auswirkungen wie die für Zigarettenstummel beschriebenen sind auch durch die Degradation von anderen Kunststoffen zu erwarten. Auch hier stellt insbesondere die Entstehung von Mikroplastik ein Risiko für die Umwelt dar. So konnte eine aktuelle Studie zeigen, dass

modifiziertes Polystyrol im Größenbereich von Nanoplastik in der Nahrungskette weitergegeben werden kann. Dabei versetzten die Forschenden Algen mit Nanoplastikpartikeln. Diese wurden dann Individuen von *Daphnia magna* als Futter angeboten, die wiederum an Karauschen (*Carassus carassus*) verfüttert wurden (Mattsson et al. 2017, S. 5). Im Anschluss an das Experiment konnte im Gehirn aller Fische, an die die mit Nanoplastik belasteten Daphnien verfüttert wurden, Polystyrol nachgewiesen werden. Dies zeigt, dass diese Partikel die Blut-Hirn-Schranke in den Fischen überwinden können (ebd. S. 4). Es ist nicht auszuschließen, dass das Plastik auch über weitere Stufen der trophischen Kaskade weitergegeben werden kann (ebd. S. 5). Neben aquatischen Organismen sind auch Vögel durch Mikroplastik bedroht. Zusätzlich zu den bereits erwähnten Gefährdungen, die durch den Verbau von Plastikfasern in Nestern entstehen, stellt auch die Aufnahme von Plastik mit der Nahrung ein Risiko für Vögel dar. Bei einer Untersuchung der Gewölle von Schleiereulen (*Tyto alba*) konnten ebenfalls signifikante Mengen an Mikroplastik nachgewiesen werden. In 20 der 60 untersuchten Gewölle wurde Mikroplastik gefunden, vor allem Fasern aus Polyester, Polyamid und Polyacrylnitril (Nessi et al. 2022, S. 4f.). Diese werden typischerweise in Kleidung und Haushaltstextilien angewendet. Auch hier vermuten die Autoren einen Transfer von Mikroplastik über die Nahrungskette von Kleinsäugetern auf die Vögel (ebd. S. 6f.). Eine weitere Studie von Souza et al. (2022, S. 10) legt nahe, dass sich die Aufnahme von Mikroplastik durch Vögel auf die Gesundheit der Tiere auswirken kann. Nachdem in der Studie Wachteln (*Coturnix Coturnix japonica*) über neun Tage unterschiedliche Mengen Mikroplastik zugeführt wurden, hatten diejenigen Wachteln, die Plastik aufgenommen hatten, im Schnitt 10 % weniger Gewicht als die Kontrollgruppe. Zudem konnte nach dem Experiment auch Mikroplastik in der Leber der Tiere nachgewiesen werden, einhergehend mit Funktionsänderungen des Organs, welche die Lebertätigkeit beeinträchtigen könnten (ebd. S. 9; 12; 14). Die bisher verfügbaren Ergebnisse zeigen, dass Mikroplastik einen erheblichen Einfluss insbesondere auf die Fauna haben kann. Es muss hierbei allerdings erwähnt werden, dass die Studienlage in diesem Bereich derzeit noch nicht ausreicht, um belastbare Aussagen machen zu können. Auch potentielle Wirkungen von Plastik in abiotischen Matrices wie zum Beispiel in Böden sind aktuell noch wenig erforscht (Umweltbundesamt 2020a, S. 10). Dennoch sollte in Anbetracht der vorliegenden Daten der aktuelle Konsum von Plastik und vor allem der Umgang mit Abfällen stärker in den Fokus von Politik und Gesellschaft genommen werden.

5.2 Kleiner Müll – was tun? Maßnahmen und Handlungsempfehlungen

Es gibt mittlerweile zahlreiche Veröffentlichungen die Hinweise dazu geben wie die Umweltrisiken, die durch anthropogenen Abfall entstehen, gemindert werden können. So hat zum Beispiel das Projekt „Alpen Littering“ einen umfassenden Maßnahmenkatalog erstellt, der entsprechende Handlungsempfehlungen für verschiedene Akteure in Gebirgsregionen gibt (Alpenverein Edelweiss 2017, S. 39–143). Auch die Umweltbundesämter geben hierzu Empfehlungen (Stoifl und Oliva 2020, S. 25–27; Umweltbundesamt 2020b, S. 118–171). Jedoch ist nicht jede Maßnahme in einer Situation unbedingt effektiv, Maßnahmenpakete sollten daher immer mit Blick auf die speziellen Gegebenheiten in einem Gebiet erstellt werden (Stoifl und Oliva 2020, S. 27). Daher werden hier lediglich Maßnahmen erörtert, die für das Gschlössstal und gegebenenfalls für weitere besuchsstarke Gebiete des Nationalparks anhand der Ergebnisse dieser Arbeit als besonders effektiv eingeschätzt werden. Für weitere Maßnahmen sei auf die hier erwähnte, umfangreiche Literatur verwiesen. Wir schlagen für den Nationalpark eine dreiteilige Strategie vor, die folgende Punkte beinhalten sollte:

1. Effektive Reduzierung des Abfalls auf den Wegen
2. Information und Sensibilisierung von Besuchenden
3. Weitere Verbesserung der Datengrundlage

Die drei Punkte werden im Folgenden einzeln erläutert. Die Reduzierung des Abfalls auf den Wanderwegen steht dabei an erster Stelle, da diese Maßnahme den schnellsten und direktesten Weg zu einer Verbesserung der Abfallsituation im Gschlössstal darstellt. Einmal in der Natur zurückgelassen, kann Abfall schnell durch Wind oder Regen von den Wegen in die umliegende Natur verfrachtet werden, wo er nur sehr schwer zu entfernen ist. Zudem können zum Beispiel Zigarettenstummel bereits in wenigen Minuten signifikante Mengen Schadstoffe auslaugen (Roder Green et al. 2014, S. 6–7). Unsere Untersuchungen zeigen, dass vor allem stark frequentierte Wege wie der Fahrweg Innergschlöss und der Gletscherlehrweg Innergschlöss höhere Mengen an Abfällen verzeichnen. Zudem können Aussichtspunkte und Bänke „Hot-Spots“ für Abfälle sein. Für eine effektive Reduzierung des Abfalls wäre es also sinnvoll, sich auf diese zu konzentrieren. Es ist zu empfehlen, hier vermehrt Hinweise anzubringen, die auf die

Gefahren von Müll in der Umwelt aufmerksam machen. Es ist zwar in den allgemeinen Verhaltensregeln des Nationalparks festgehalten, dass Abfall von den Besuchenden wieder mit ins Tal zu nehmen ist (NPHT o.J.e), jedoch vermitteln Schilder diese Botschaft gleich vor Ort und damit unmittelbar (Alpenverein Edelweiss 2017, S. 72). Schilder und Plakate sollten dabei originell gestaltet sein, um das Interesse der Besuchenden zu wecken und die Botschaft effektiv zu vermitteln (ebd.). Das Projekt „Alpen Littering“ gibt hierzu einige Vorschläge (ebd. S. 74-87). Durch Hinweisschilder kann auch auf den Grund für fehlende Mülleimer im Nationalpark hingewiesen werden, was zur Sensibilisierung der Besuchenden beitragen kann (ebd. S. 82). Eine weitere wichtige Maßnahme ist es, die vor Ort bestehenden gastronomischen Betriebe in die Vermeidung von Abfällen mit einzubeziehen. Auf dem Fahrweg Innergschlöss wurden einige Objekte gefunden die aus der Gastronomie stammen, zum Beispiel Kronkorken oder Kaffeesahnebehälter. Gastronomische Betriebe können unmittelbar zur Abfallvermeidung beitragen, indem sie beispielsweise statt Kaffeesahne in Einwegbehältern größere Packungen verwenden und den Inhalt dann einzeln abfüllen. Gleiches gilt für Zucker-, Salz- und Pfeffertüten. Auch Kronkorken können vermieden werden. Zum Beispiel können die Gaststätten einen fest an der Wand verschraubten Flaschenöffner zur Verfügung stellen, unter dem gleich ein Kasten angebracht ist, in dem die Korken gesammelt werden. Bei Servietten sollte auf plastikfreies Material geachtet werden. Auch wenn Müsliriegel oder Ähnliches angeboten werden, können verpackungsarme Alternativen gewählt werden. In Anbetracht des hohen Aufkommens an Zigarettenabfällen auf dem Fahrweg Innergschlöss sollten die hier ansässigen gastronomischen Betriebe das Aufstellen von geschlossenen Aschenbechern erwägen. Es sollte eine Abstimmung zwischen den Betrieben und dem Nationalpark erfolgen, um zu erörtern, welche Maßnahmen für die Betriebe umsetzbar sind. Neben diesen grundlegenden Maßnahmen gibt es einige innovative Ideen zur Müllvermeidung, die im Gschlössstal Anwendung finden könnten. Eine solche Idee ist zum Beispiel das „Zrucksackerl“, das von den Naturfreunden Österreich vertrieben wird. Es handelt sich dabei um einen wasserdichten Packsack, der im Rucksack mitgenommen werden kann. Dieser dient dazu, Abfälle zu verstauen und wieder mit ins Tal zu nehmen, siehe Abbildung 13 (Naturfreunde Österreich o.J.). Auch der Alpenverein bietet auf seinen Hütten bereits Müllsäcke an, in denen Wandernde ihre Abfälle verstauen können (Alpenverein Edelweiss 2017, S. 125). Der Vorteil des „Zrucksackerls“ besteht allerdings darin, dass dieser wasserdicht verschließbar und leicht auszuwaschen ist. Dadurch bietet er für Wandernde, die

länger unterwegs sind, eine bessere Option. Zudem kann der Packsack im Gegensatz zu einfachen Mülltüten wiederverwendet werden (Naturfreunde Österreich o.J.). Allerdings muss ein solcher Müllbeutel aktiv genutzt werden, dafür ist zunächst eine Sensibilisierung für das Problem des Litterings notwendig (Alpenverein Edelweiss 2017, S. 124). Diese könnte erzeugt werden, wenn solche Säcke mit dem Nationalparklogo und einer entsprechenden Botschaft bedruckt an den Informationsstellen des Nationalparks oder in Partnerbetrieben ausgegeben werden. So dient der Sack gleichzeitig als „Andenken“ an den Besuch oder Urlaub und wird bestenfalls bei späteren Touren wieder verwendet.



Abbildung 13: Das 'Zrucksackerl' der Naturfreunde Österreich, © Naturfreunde/Carina Fritz (Quelle: Naturfreunde Österreich o.J.)

Für Zigarettenabfälle gibt es eine ähnliche Idee: den Taschenaschenbecher. Das sind kleine, geruchsdichte Dosen, in denen Zigarettenabfälle gesammelt werden können, um diese dann an einer geeigneten Stelle in den Restmüll zu entleeren. Durch ihre geringe Größe können die Dosen einfach im Rucksack oder der Hosentasche mitgeführt werden. Solche Taschenaschenbecher werden bereits von einigen Sektionen des Alpenvereins ausgegeben (Alpenverein Edelweiss 2017, S. 125f.). Auch der Naturpark Karwendel gibt die Taschenaschenbecher- mit eigenem Logo bedruckt – an Informationsstellen im Park aus. Die Dosen werden von Besuchenden dort sehr gut angenommen (Triakha, Iris (Digitale Rangerin, Naturpark Karwendel) 2023).

Ein weiterer Punkt, bei dem verschließbare Müllsäcke und Taschenaschenbecher Abhilfe schaffen könnten, ist das unbewusste Verlieren von Abfällen. Reste von Lebensmittelverpackungen oder Bonbonpapiere fallen schnell aus Taschen in Bekleidung, wenn diese nicht richtig verschlossen sind. Wird jedoch ein verschließbarer Abfallsack am Rucksack transportiert, könnte das ein Bewusstsein bei den Besuchenden schaffen auch „kleine“ Abfälle, die unterwegs im

Gehen entstehen, gleich in diesen zu entsorgen. Gefragt sind hier aber ebenso Hersteller von Sportbekleidung. Es sollten im Gehen gut erreichbare, sicher verschließbare Taschen an Ausrüstungsgegenständen vorhanden sein, sodass auch unterwegs anfallende Abfälle sicher verstaut werden können. Zudem sollten Hersteller möglichst auf lose Bestandteile an Ausrüstung verzichten. Auch Hersteller von Lebensmittelverpackungen sollten dazu angehalten werden, Verpackungen zu konstruieren, die möglichst ohne das Abreißen von Folienstücken geöffnet werden können. Diese landen beim Öffnen von Verpackungen oft unbemerkt in der Landschaft. Die bisher aufgelisteten Maßnahmen dienen jedoch lediglich der Prävention von weiteren Abfällen im Nationalpark. Es ist daneben auch erforderlich, bereits angefallenen Abfall auf den Wegen aufzusammeln und fachgerecht zu entsorgen. Hierfür bieten sich organisierte Flurreinigungsaktionen an. Dabei finden sich Freiwillige gemeinsam in Gruppen zusammen, um Abfälle einzusammeln. Solche Aktionen dienen zum einen der Müllbereinigung, zum anderen können sie aber auch Besuchende für die Themen Abfall und Littering sensibilisieren. Durch einen gemeinsamen Abschluss kann außerdem das Gemeinschaftsgefühl gestärkt werden (Stoifl und Oliva 2020, S. 26). Solche Flurreinigungsaktionen kommen bereits in vielen österreichischen Gemeinden erfolgreich zum Einsatz (Stoifl und Oliva 2020, S. 28–68).

Der letztgenannte Punkt stellt einen Synergieeffekt zwischen Maßnahme 1 „Abfälle effektiv reduzieren“ und Maßnahme 2 „Information und Sensibilisierung von Besuchenden“ dar. Es ist jedoch zu empfehlen, die Sensibilisierung von Besuchenden auf mehreren Ebenen anzulegen, da durch Flurreinigungsaktionen nur eine begrenzte Zahl an Menschen angesprochen wird. Die Sensibilisierung für das Thema Abfall ist essentiell um ein Verantwortungsbewusstsein bei Besuchenden zu erzeugen und so die Wirksamkeit von Anti-Littering Maßnahmen zu erhöhen (Stoifl und Oliva 2020, S. 25). Zudem zeigen unsere Untersuchungen, dass der Großteil des Abfalls, der im Gschlössstal gefundenen wurde, vermutlich durch Besuchende eingetragen wurde. Einen großen Anteil an Müll machen dabei Lebensmittelverpackungen, Folien und Zigarettenstummel aus, die ein hohes Risiko für die Natur darstellen. Gleichzeitig besteht für diese Abfälle jedoch auch ein hohes Reduktionspotenzial, wenn sich Besuchende angemessen verhalten. Daher ist dieser Punkt entscheidend für ein erfolgreiches Abfallmanagement. Informationen über die Gefahren von Abfällen im Gebirge und bestehende Möglichkeiten der Abfallentsorgung (etwa Hinweise auf Abfallsäcke auf Hütten) sollten bestenfalls bereits im

Internetauftritt des Nationalparks erscheinen. So können Besuchende diese Möglichkeiten schon bei der Tourenplanung berücksichtigen. Auch in den Einrichtungen des Nationalparks, sowie in Partnerbetrieben und Gaststätten im Park sollten entsprechende Informationen bereitgestellt werden. Gerade auf Hütten und in Beherbergungen halten sich Besuchende meist länger auf, sodass hier auch umfangreichere Informationen zur Verfügung gestellt werden können (Alpenverein Edelweiss 2017, S. 72). Ein Beispiel, wie ein solches Informationsmaterial aufgebaut sein könnte, findet sich im digitalen Begleitmaterial 3.2. In Kombination mit direkt vor Ort erhältlichen Abfallsäcken und Taschenaschenbechern kann so Sensibilisierung mit Aktion verbunden werden. Zuletzt finden in den Sommermonaten im Gschlössstal regelmäßige Rangertouren statt (Schlosser 2018, S. 151). Auch hier kann das Thema Abfall im Gebirge leicht aufgegriffen und eingängig vermittelt werden.

Abschließend sollte hier noch einmal darauf hingewiesen werden, dass es sich bei der vorliegenden Untersuchung um eine erste Erhebung des Abfallaufkommens im Gschlössstal handelt. Wie bereits erwähnt, sind weitere Untersuchungen notwendig, um „Hot-Spots“ für Abfälle zu erkennen und spezifische Maßnahmen abzuleiten. Es sollte zudem ein regelmäßiges Monitoring der Abfälle im Gschlössstal eingeführt werden, um die Wirksamkeit von gegebenenfalls eingeführten Maßnahmen zu überprüfen. Auf solche Maßnahmen bezieht sich Punkt drei der hier vorgestellten Strategie: „Verbesserung der Datengrundlage“. Auch hier bietet es sich an, Besuchende in das Monitoring mit einzubeziehen. Einerseits kann so ebenfalls das Bewusstsein für Abfälle in alpinen Schutzgebieten gestärkt werden, andererseits können so auch Ressourcen für die Datenerhebung genutzt werden, die sonst nicht im Nationalpark verfügbar wären. Wissenschaftlich auswertbare Daten könnten zum Beispiel im Zusammenhang mit Flurreinigungsaktionen gesammelt werden. Ein großes Problem von Flurreinigungsaktionen ist, dass Daten nicht standardisiert erfasst werden (Nelms et al. 2022, S. 7). Das in dieser Arbeit verwendete Untersuchungsdesign lässt sich jedoch auch sehr leicht mit Freiwilligen in Form eines Citizen Science-Konzeptes umsetzen. Die Erfassung der Abfälle kann durch das Kategoriesystem der DreckSpotz-App standardisiert erfolgen (GLOBAL 2000 o.J.). Zudem würde der Abfall so gleich fotografisch dokumentiert. Im besten Fall könnten diese Fotos anschließend verwendet werden, um Größe und Form der Objekte zu bestimmen. So können sinnvoll vergleichbare Daten erzeugt werden. Auch zeigen unsere Untersuchungen, dass sich die

Kategorisierung von Abfällen im Feld anhand der Klassen der DreckSpotz-App und die Ergebnisse der Laboranalysen zu großen Teilen decken. Es muss also nicht unbedingt auf Laboranalysen zurückgegriffen werden, um valide Ergebnisse zu erhalten. So kann im Prinzip jeder und jede einen wichtigen Beitrag zur Erforschung von Abfällen im Hochgebirge leisten.

Das Beispiel Gschlöstal zeigt: Sogar in hochalpinen Nationalparks fallen durch die Aktivitäten des Menschen signifikante Abfallmengen an. Diese Abfälle stellen ein Risiko für die Umwelt und insbesondere die Fauna dar. Den Zielkonflikt von Nationalparks zwischen Nutzung und Naturschutz als gegeben zu betrachten reicht jedoch nicht aus. Im Gegenteil: Gerade die Besuchenden, die den Nationalpark auf Grund seiner einzigartigen Natur aufsuchen, können zu deren Schutz beitragen. Ein effektives Abfallmanagement ist auch im Hochgebirge möglich, wenn Nationalparkverwaltung, Besuchende, Anrainer und Betriebe zusammenarbeiten.

Zusammenfassung

Bergsport boomt. Immer mehr Menschen verbringen ihren Sommer- oder Winterurlaub in den Alpen. Vor allem die einzigartige Berglandschaft zieht tausende Besuchende an. Doch mehr Besuchende bedeuten nicht nur eine höhere Wertschöpfung in alpinen Regionen, sondern auch größere Herausforderungen für das Management dieser Regionen. Ein großes Problem stellt das „Littering“ da, das achtlose Hinterlassen von Abfällen am Weg oder in der Natur. Besonders problematisch: Zigaretten und Plastikabfälle die über Jahre in der Natur verbleiben und ein großes Gefährdungspotential für sensible Gebirgslebensräume darstellen. Ziel dieser Untersuchung war es, festzustellen inwiefern ein stark frequentiertes Gebiet im Nationalpark Hohe Tauern (das Gschlössstal) von diesem Problem betroffen ist. Das Ergebnis: Signifikante Mengen an Abfällen konnten auf allen Wegen gefunden werden. Die Hauptbestandteile des Abfalls waren Plastikabfälle und Zigarettenstummel, aber auch Metall und Textilabfälle wurden gefunden. Besonders stark belastet waren dabei hoch frequentierte Wege und die Umgebung von Bänken und Aussichtspunkten. Die gefundenen Abfälle stellen ein Risiko für die Schutzgüter des Nationalparks dar. Es wird daher in dieser Arbeit abschließend eine dreistufige Strategie empfohlen, wie das Abfallaufkommen in solchen stark frequentierten Gebieten gemindert werden kann: Abfälle reduzieren, Besuchende aufklären und weitere Forschung fördern.

Summary

Mountaineering is booming. Ever more people are spending their holidays in the Alps. The unique mountain landscape in particular is attracting thousands of visitors each year. However, higher numbers of visitors do not only improve income in alpine communities, they also increase the challenges these regions face. One major problem is "littering", the careless leaving behind of waste along trails or in nature. Cigarette butts and plastic wastes in particular pose a major threat to sensitive mountain habitats due to their prolonged persistence in high alpine nature. The aim of this study was to determine the extent to which a heavily frequented area in the High Tauern national park (the "Gschlössstal") is affected by this problem. The result: significant quantities of waste were found on all trails surveyed. The main items of litter found were plastic waste and cigarette butts, however, metal and textile waste was also found. Highly frequented paths and hotspots such as areas around benches and viewpoints were particularly heavily contaminated. The waste found poses a risk to the conservation assets of the national park. This work therefore concludes by recommending a three-stage strategy for reducing the amount of litter in such heavily frequented parts of alpine protected areas: reduce litter, educate visitors and encourage further research.

Danksagung

Allen voran möchte ich mich ausdrücklich bei der Verwaltung des Nationalparks Hohe Tauern Tirol, sowie der Bezirkshauptmannschaft Lienz bedanken, die diese Untersuchung möglich gemacht haben. Mein Dank gilt insbesondere den Nationalparkmitarbeitenden Helene Mattersberger und Florian Jurgeit für ihre Hilfsbereitschaft und die Bereitstellung umfangreicher Datensätze zum Gschlössstal. Danken möchte ich auch dem gesamten Team des Projektes „Plastic.Alps“ der Universität Innsbruck. Neben Klemens Weisleitner und Daniel Gattinger möchte ich ganz besonders Sophia Mützel für ihre unermüdliche wissenschaftliche und moralische Unterstützung danken. Die statistischen Auswertungen und kartographischen Darstellungen in dieser Arbeit wären ohne die Hilfe von Frank Torkler, Jürgen Engel und Marlon Fügenschuh nicht möglich gewesen. Kevin Platter möchte ich für die gegenseitige Unterstützung und produktive Zusammenarbeit im Feld wie im Labor danken. Nicht zuletzt gilt mein Dank meinen engagierten Betreuerinnen Prof. Dr. Uta Steinhardt und Dr. Birgit Sattler, die mir bei Fragen und Problemen stets mit einem guten Rat zur Seite standen.

Literaturverzeichnis

Alean, Jürg; Hambrey, Michael (2017): Ablationsgebiet / Ablationszone, auch Zehrgebiet. Hg. v. Verein SwissEduc. Online verfügbar unter <<https://www.swisseduc.ch/glaciers/glossary/ablation-area-de.html>>, zuletzt aktualisiert am 19.06.2017, zuletzt geprüft am 08.02.2024.

Alpenverein Edelweiss (2017): Alpen Littering. Entwicklung einer regional replizierbaren Strategie zur Vermeidung von Littering in den alpinen Regionen Österreichs. Gesamtbericht - Projekt Alpen Littering. Unter Mitarbeit von Hans Daxbeck, Stefan Neumayer, Nathalia Kislikova, Alexandra Weintraud, Florian Hutz, Barbara Reitler, Christoph Weitz, Georg Hauger, Ulrike Schandl. Hg. v. Alpenverein Edelweiss. Online verfügbar unter <https://www.alpenverein-edelweiss.at/alpenverein-edelweiss/verein/natur-umwelt/news_detail.php?newsId=8668>, zuletzt geprüft am 26.01.2024.

Ambrosini, Roberto; Azzoni, Roberto Sergio; Pittino, Francesca; Diolaiuti, Guglielmina; Franzetti, Andrea; Parolini, Marco (2019): First evidence of microplastic contamination in the supraglacial debris of an alpine glacier. In: *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)* 253, S. 297–301. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.07.005.

Amt der Tiroler Landesregierung (o.J.): Tourismus in Tirol. Zeitreihen für Gemeinden, Bezirke und Tourismusverbände: Zeitreihe Ankünfte und Nächtigungen - Sommersaison 2000 - 2023. Hg. v. Amt der Tiroler Landesregierung - Abteilung Raumordnung und Statistik. Online verfügbar unter <<https://www.tirol.gv.at/statistik-budget/statistik/tourismus/>>, zuletzt geprüft am 07.02.2024.

Arbeitsschutz-Express GmbH (o.J.): Laufsohle aus PU, TPU oder Gummi? Hg. v. Arbeitsschutz-Express GmbH. Online verfügbar unter <<https://blog.arbeitsschutz-express.de/laufsohle-aus-pu-tpu-oder-gummi/>>, zuletzt geprüft am 06.02.2024.

ARGE Gschlöß (o.J.): Taxi, Gschlößer Panoramazug. Hg. v. ARGE Gschlöß - Arbeitsgemeinschaft Gschlöß. Online verfügbar unter <<https://www.gschloess.com/gschl%C3%B6sser-panoramazug-taxi/>>, zuletzt geprüft am 08.01.2024.

Belzagui, Francisco; Buscio, Valentina; Gutiérrez-Bouzán, Carmen; Vilaseca, Mercedes (2021): Cigarette butts as a microfiber source with a microplastic level of concern. In: *The Science of the total environment* 762, S. 144165. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.144165.

Bläsing, Melanie; Amelung, Wulf (2018): Plastics in soil: Analytical methods and possible sources. In: *The Science of the total environment* 612, S. 422–435. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.086.

BML (2023): Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2020. Felbertauerntunnel-Süd. Hg. v. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft. Online verfügbar unter <<https://wiski.tirol.gv.at/hydro/#/Lufttemperatur/Drau%2FIsel/114900>>, zuletzt geprüft am 08.01.2024.

BRUKER (o.J.): Attenuated Total Reflectance (ATR). Hg. v. Bruker Corporation. Online verfügbar unter <<https://www.bruker.com/en/products-and-solutions/infrared-and-raman/ft-ir-routine-spectrometer/what-is-ft-ir-spectroscopy/atr-attenuated-total-reflectance.html>>, zuletzt geprüft am 17.01.2024.

Carl Roth GmbH (2022): Sicherheitsdatenblatt Nikotin >99 %, für die Biochemie. Hg. v. Carl Roth GmbH + Co. KG. Online verfügbar unter <<https://www.carlroth.com/com/en/a-to-z/%28-%29-nicotine/p/8746.1>>, zuletzt aktualisiert am 20.04.2022, zuletzt geprüft am 30.01.2024.

CIPRA Deutschland e.V. (2023): Facts4Tourism. Dossier zur Vermittlung tourismusrelevanter Forschungsergebnisse für den deutschen Alpenraum. Unter Mitarbeit von Henriette Adolf, Kathrin Holstein, Leonie Nawroth, Felix Schlereth, Philipp Namberger, Uwe Roth. Hg. v. CIPRA Deutschland e.V. (CIPRA). Online verfügbar unter <<https://www.cipra.org/de/publikationen/dossier-facts4tourism>>, zuletzt geprüft am 02.02.2024.

Courbin, Nicolas; Garel, Mathieu; Marchand, Pascal; Duparc, Antoine; Debeffe, Lucie; Börger, Luca; Loison, Anne (2022): Interacting lethal and nonlethal human activities shape complex risk tolerance behaviors in a mountain herbivore. In: *Ecological applications : a publication of the Ecological Society of America* 32 (7), e2640. DOI: 10.1002/eap.2640.

Dallmus, Alexander (2021): Echtes Recyclingproblem: Papier mit Kunststoffbarrieren. Hg. v. Bayerischer Rundfunk. Online verfügbar unter <<https://www.br.de/nachrichten/wissen/echtes-recyclingproblem-papier-mit-kunststoffbarrieren,SYVaVTA>>, zuletzt aktualisiert am 27.05.2021, zuletzt geprüft am 29.01.2024.

Ebner, Manuel; Schirpke, Uta; Tappeiner, Ulrike (2022): How do anthropogenic pressures affect the provision of ecosystem services of small mountain lakes? In: *Anthropocene* 38, S. 100336. DOI: 10.1016/j.ancene.2022.100336.

EUROPARC Deutschland (2010): Richtlinien für die Anwendung der IUCN-Managementkategorien für Schutzgebiete. Online verfügbar unter <<https://nationale-naturlandschaften.de/quellen/richtlinien-fuer-die-anwendung-der-iucn-managementkategorien-fuer-schutzgebiete-deutsche-uebersetzung-2>>, zuletzt geprüft am 01.12.2023.

Everaert, Stijn; Schoeters, Greet; Lardon, Filip; Janssens, Annelies; van Larebeke, Nicolas; Raquez, Jean-Marie et al. (2023): Protecting public health and the environment: towards a general ban on cellulose acetate cigarette filters in the European Union. In: *Frontiers in public health* 11, S. 1282655. DOI: 10.3389/fpubh.2023.1282655.

Forster, Nicola A.; Wilson, Susan C.; Tighe, Matthew K. (2023): Microplastic pollution on hiking and running trails in Australian protected environments. In: *The Science of the total environment* 874, S. 162473. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.162473.

Fouinat, Laurent; Alfthan, Björn (2021): Plastics on the Peak. The 2021 global mountain waste survey. Hg. v. GRID-Arendal. Online verfügbar unter <<https://www.grida.no/publications/815>>, zuletzt geprüft am 02.02.2024.

Fraunhofer UMSICHT (o.J.): Grundlagen zu Polymeren und Kunststoff. Hg. v. Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT. Online verfügbar unter <https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/ueber-fraunhofer-umsicht/nachhaltigkeit/nationale-informationsstelle-nachhaltige-kunststoffe/polymere-kunststoff/grundlagen.html>, zuletzt geprüft am 05.02.2024.

GESAMP (2019): Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the ocean. Hg. v. United Nations Environment Programme (UNEP). Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP) (Reports and Studies, 99). Online verfügbar unter <http://www.gesamp.org/publications/guidelines-for-the-monitoring-and-assessment-of-plastic-litter-in-the-ocean>, zuletzt geprüft am 14.06.2023.

Gewerbemuseum Winterthur (2011): Celluloseacetat (CA). Hg. v. MATERIAL ARCHIV. Online verfügbar unter https://materialarchiv.ch/de/ma:material_21?type=all&n=EinsatzundVerarbeitung, zuletzt geprüft am 30.01.2024.

Gewerbemuseum Winterthur (2022a): Polyamid. Hg. v. MATERIAL ARCHIV. Online verfügbar unter https://materialarchiv.ch/de/ma:materialgroup_6517fa93-1be6-434b-a572-aa84ecd3c469?type=all&n=Anhang, zuletzt geprüft am 06.02.2024.

Gewerbemuseum Winterthur (2022b): Polyester. Hg. v. MATERIAL ARCHIV. Online verfügbar unter https://materialarchiv.ch/de/ma:materialgroup_66aa1108-0236-4e30-88b3-91a11e24cad8?type=all&n=Anhang, zuletzt geprüft am 06.02.2024.

Geyer, Roland; Jambeck, Jenna R.; Law, Kara Lavender (2017): Production, use, and fate of all plastics ever made. In: *Science advances* 3 (7), e1700782. DOI: 10.1126/sciadv.1700782.

GLOBAL 2000 (o.J.): DreckSpotz-App. Hg. v. GLOBAL 2000. Online verfügbar unter <https://www.global2000.at/dreckspotz>, zuletzt geprüft am 19.12.2023.

GLOBAL 2000 (2024): Gesamtdatensatz aller Einträge in der DreckSpotz App. (unveröff.). Ausgewertet durch: Klemens Weisleitner (Universität Innsbruck).

Harvey, Phil (o.J.): ExifTool by Phil Harvey. Read, Write and Edit Meta Information! Online verfügbar unter <<https://exiftool.org/>>, zuletzt geprüft am 08.02.2023.

Hasslacher, Peter; Lanegger, Christian (1988): Österreichisches Gletscherbachinventar. In: *Fachbeiträge des Österreichischen Alpenvereins, Serie: Alpine Raumordnung* (1), S. 1–216. Online verfügbar unter <https://www.alpenverein.at/portal/natur-umwelt/publikationen/x_fachbeitraege/01_gletscherbachinventar.php>, zuletzt geprüft am 07.01.2024.

Heinrich-Böll-Stiftung (2019): Plastikatlas. Daten und Fakten über eine Welt voller Kunststoff. Ein Kooperationsprojekt von Heinrich-Böll-Stiftung und Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland. Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung. Online verfügbar unter <<https://www.boell.de/de/plastikatlas>>, zuletzt geprüft am 05.02.2024.

Hydrographischer Dienst Tirol (o.J.a): Felbertauerntunnel-Südportal / Tauernbach (Betreiber: HD Tirol). Stammdaten. Hg. v. Land Tirol. Online verfügbar unter <<https://wiski.tirol.gv.at/hydro/#/Lufttemperatur/Drau%2FIsel/114900>>, zuletzt geprüft am 08.01.2024.

Hydrographischer Dienst Tirol (o.J.b): Innerschlöss / Gschlössbach (Betreiber: HD Tirol). Durchfluss Jahr. Jänner 2023 - Jänner 2024. Hg. v. Land Tirol. Online verfügbar unter <<https://wiski.tirol.gv.at/hydro/#/Wasserstand?station=212068>>, zuletzt geprüft am 26.01.2024.

IfBB (o.J.): Was bedeutet biologisch abbaubar? Hg. v. Hochschule Hannover - IfBB Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe. Online verfügbar unter <<https://www.ifbb-hannover.de/de/faq/was-bedeutet-biologisch-abbaubar.html>>, zuletzt geprüft am 05.02.2024.

Jurget, Florian (Forschung und GIS NPHT Tirol) (2023): Geodaten für den Tiroler Teil des Nationalparks Hohe Tauern, 04.10.2023. Email an Tabea Grube.

Käppler, Andrea; Fischer, Dieter; Oberbeckmann, Sonja; Schernewski, Gerald; Labrenz, Matthias; Eichhorn, Klaus-Jochen; Voit, Brigitte (2016): Analysis of environmental microplastics by vibrational microspectroscopy: FTIR, Raman or both? In: *Analytical and bioanalytical chemistry* 408 (29), S. 8377–8391. DOI: 10.1007/s00216-016-9956-3.

Kunststoffe.de (o.J.a): Polyethylen (PE). Hg. v. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. Online verfügbar unter <<https://www.kunststoffe.de/a/grundlagenartikel/polyethylen-pe-254120>>, zuletzt geprüft am 23.01.2024.

Kunststoffe.de (o.J.b): Polypropylen (PP). Einsatzgebiete / Anwendungen. Hg. v. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. Online verfügbar unter <<https://www.kunststoffe.de/a/grundlagenartikel/polypropylen-pp-264406>>, zuletzt geprüft am 23.01.2024.

Kunststoffe.de (o.J.c): Polystyrol (PS). Hg. v. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. Online verfügbar unter <<https://www.kunststoffe.de/a/grundlagenartikel/polystyrol-ps-264382>>, zuletzt geprüft am 23.01.2024.

Kunststoffe.de (o.J.d): Polyurethan. Polyurethan Anwendungen & Einsatzgebiete. Hg. v. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. Online verfügbar unter <<https://www.kunststoffe.de/werkstoffe/polyurethan>>, zuletzt geprüft am 06.02.2024.

Kunststoffrohrverband e.V. (o.J.): Klassifizierung der Kunststoffe nach ihrer Temperaturbeständigkeit und Einsatzgebieten. 1. Standard- Kunststoffe (Standard- Thermoplaste). Hg. v. Kunststoffrohrverband e.V. Online verfügbar unter <<https://www.krv.de/wissen/nach-temperaturbestaendigkeit-einsatzgebieten>>, zuletzt geprüft am 06.02.2024.

Lehar, Günther; Bayer, Jannes (2014): Nationalpark Hohe Tauern. Tirol, Kärnten, Salzburg. Besucherbefragung und Wertschöpfungserhebung 2013. (unveröff.). Hg. v. Management Center Innsbruck- MCI, Tourismus. Innsbruck.

Lehar, Günther; Hausberger, Karin; Fuchs, Liebgard (2004): Besucherzählung, Wertschöpfungs- und Motiverhebung im Nationalpark Hohe Tauern und im Naturpark Rieserferner-Ahrn. Hg. v. Institut für Verkehr und Tourismus Innsbruck. Innsbruck. Online verfügbar unter <https://www.parc.at/nphtt/mmd_fullentry.php?docu_id=28895>, zuletzt geprüft am 07.02.2024.

Liebmann, Bettina (2015): Mikroplastik in der Umwelt. Vorkommen, Nachweis und Handlungsbedarf. Unter Mitarbeit von Heike Brielmann, Holger Heinfellner, Philipp Hohenblum, Sebastian Köppel, Stefan Schaden und Maria Uhl. Wien (Report / Umweltbundesamt, REP-0550). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.at/studien-reports/publikationsdetail?pub_id=2141&cHash=bb64aede884f7bca31080b5be30dd6ad>, zuletzt geprüft am 30.01.2024.

Mattersberger, Helene (Öffentlichkeitsarbeit NPHT) (2023): Potentielle Untersuchungsgebiete für Abfall im Nationalpark Hohe Tauern, 26.06.2023. E-Mail an Tabea Grube.

Mattsson, Karin; Johnson, Elyse V.; Malmendal, Anders; Linse, Sara; Hansson, Lars-Anders; Cedervall, Tommy (2017): Brain damage and behavioural disorders in fish induced by plastic nanoparticles delivered through the food chain. In: *Scientific reports* 7 (1), S. 11452. DOI: 10.1038/s41598-017-10813-0.

Meyer, Gabriele; Puig-Lozano, Raquel; Fernández, Antonio (2023): Anthropogenic litter in terrestrial flora and fauna: Is the situation as bad as in the ocean? A field study in Southern Germany on five meadows and 150 ruminants in comparison with marine debris. In: *Environmental pollution* 323, S. 121304. DOI: 10.1016/j.envpol.2023.121304.

Möller, Julia N.; Löder, Martin G. J.; Laforsch, Christian (2020): Finding Microplastics in Soils: A Review of Analytical Methods. In: *Environmental science & technology* 54 (4), S. 2078–2090. DOI: 10.1021/acs.est.9b04618.

Nationalparks Austria (o.J.): Alpine Natur der Superlative. Nationalpark Hohe Tauern. Online verfügbar unter <<https://www.nationalparksaustria.at/de/nationalpark-hohe-tauern.html>>, zuletzt geprüft am 01.12.2023.

Naturfreunde Österreich (o.J.): Das Zrucksackerl für's Rucksackerl. Dein Müll hat in der Natur nichts verloren. Hg. v. Naturfreunde Österreich. Online verfügbar unter <<https://umwelt.naturfreunde.at/service/publikationen-aus-dem-umweltbereich/infolder-broschueren/zrucksackerl/>>, zuletzt geprüft am 01.02.2024.

Nelms, Sarah E.; Easman, Emily; Anderson, Nichola; Berg, Madeleine; Coates, Sue; Crosby, Abigail et al. (2022): The role of citizen science in addressing plastic pollution: Challenges and opportunities. In: *Environmental Science & Policy* 128, S. 14–23. DOI: 10.1016/j.env-sci.2021.11.002.

Nessi, Alessandro; Winkler, Anna; Tremolada, Paolo; Saliu, Francesco; Lasagni, Marina; Ghezzi, Luca Luigi Mario; Balestrieri, Alessandro (2022): Microplastic contamination in terrestrial ecosystems: A study using barn owl (*Tyto alba*) pellets. In: *Chemosphere* 308, S. 136281. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.136281.

NPHT (o.J.a): Daten & Fakten über den größten Nationalpark im Alpenraum. Der Nationalpark Hohe Tauern in Zahlen. Hg. v. Nationalpark Hohe Tauern. Online verfügbar unter <<https://hohetauern.at/de/bildung-hohetauern/bildungshaeuser/54-naturraum/tiere-und-pflanzen/tiere/salamander/138-flussuferlaeuer.html>>, zuletzt geprüft am 01.12.2023.

NPHT (o.J.b): Gletscher und Wasser. Hg. v. Nationalpark Hohe Tauern. Online verfügbar unter <<https://hohetauern.at/de/natur/gletscher-und-wasser.html>>, zuletzt geprüft am 05.02.2024.

NPHT (o.J.c): Gletscherweg Innergschloß. Gewaltige Gletscherschliffe und imposante Gletscher. Hg. v. Nationalpark Hohe Tauern. Online verfügbar unter <<https://hohetauern.at/de/besuchen/hotspots/ausflugsziele-im-nationalpark-hohe-tauern/402-gletscherthemenweg-innergshloess.html>>, zuletzt geprüft am 08.01.2024.

NPHT (o.J.d): Lebensräume im Nationalpark Hohe Tauern. Hg. v. Nationalpark Hohe Tauern. Online verfügbar unter <<https://hohetauern.at/de/natur/lebensraeume.html>>, zuletzt geprüft am 14.12.2023.

NPHT (o.J.e): Verhaltenstipps. Hg. v. Nationalpark Hohe Tauern. Online verfügbar unter <<https://hohetauern.at/de/besuchen/aktiv-im-sommer/91-besuchen/aktiv-im-sommer/2021-verhaltenstipps.html>>, zuletzt geprüft am 01.02.2024.

NPHT (2016): Länderübergreifender Zielekatalog zur Managementplanung. Hg. v. Sekretariat des Nationalparkrates Hohe Tauern. Online verfügbar unter <<https://hohetauern.at/de/taetigkeitsberichte.html>>, zuletzt geprüft am 02.11.2023.

NPHT (2022): Vegetationskartierung 2022. (unveröffentlicht). Hg. v. Nationalpark Hohe Tauern.

NPHT (2023): Tätigkeitsbericht 2022. Nationalpark Hohe Tauern. Hg. v. Nationalpark Hohe Tauern. Online verfügbar unter <<https://hohetauern.at/de/taetigkeitsberichte.html>>, zuletzt geprüft am 01.12.2023.

Osttirol Online (o.J.): 30jähriges Hochwasser in Hinterbichl, Schäden im Gschlöss. Hg. v. Osttiroler Bote Medienunternehmen GmbH. Online verfügbar unter <<https://www.osttirol-online.at/aktuelles/osttirol-aktuell/30jaehriges-hochwasser-in-hinterbichl-schaeden-im-gschloess.html>>, zuletzt aktualisiert am 28.08.2023, zuletzt geprüft am 26.01.2024.

Özbek, Sati Elifcan; Lanzavecchia, Alberto; Ferrarese, Francesco (2023): Participatory Geographic-Information-System-Based Citizen Science: Highland Trails Contamination due to Mountaineering Tourism in the Dolomites. In: *Sustainability* 15 (18), S. 13908. DOI: 10.3390/su151813908.

Padha, Shaveta; Kumar, Rakesh; Dhar, Anjali; Sharma, Prabhakar (2022): Microplastic pollution in mountain terrains and foothills: A review on source, extraction, and distribution of microplastics in remote areas. In: *ENVIRONMENTAL RESEARCH* 207, S. 112232. DOI: 10.1016/j.envres.2021.112232.

Parolini, Marco; Felice, Beatrice de; Lamonica, Chiara; Cioccarelli, Sara; Crosta, Arianna; Diolaiuti, Guglielmina et al. (2021): Macroplastics contamination on glaciers from Italian Central-Western Alps. In: *Environmental Advances* 5, S. 100084. DOI: 10.1016/j.envadv.2021.100084.

Plastic.Alps (o.J.): Plastic.Alps - Plastik in sensiblen Hochgebirgsregionen. Über das Projekt. Hg. v. Plastic.Alps. Online verfügbar unter <<https://www.plasticalps.com/>>, zuletzt geprüft am 05.02.2024.

Plastics Europe (o.J.a): Was sind Kunststoffe? Hg. v. PlasticsEurope Deutschland e.V. Online verfügbar unter <<https://legacy.plasticseurope.org/de/about-plastics/what-are-plastics>>, zuletzt geprüft am 05.02.2024.

Plastics Europe (o.J.b): Wie Kunststoffe hergestellt werden. Hg. v. PlasticsEurope Deutschland e.V. Online verfügbar unter <<https://legacy.plasticseurope.org/de/about-plastics/what-are-plastics/how-plastics-are-made>>, zuletzt geprüft am 05.02.2024.

Plastics Europe (2022a): PLATICS - THE FACTS 2022. Plastics Europe AISBL. Brüssel. Online verfügbar unter <<https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022-2/>>, zuletzt geprüft am 05.02.2024.

Plastics Europe (2022b): Weltweite und europäische Kunststoffproduktion in den Jahren von 1950 bis 2021 (in Millionen Tonnen). Hg. v. Statista GmbH. Online verfügbar unter <<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167099/umfrage/weltproduktion-von-kunststoff-seit-1950/>>, zuletzt geprüft am 02.11.2023.

Platter, Kevin (in prep.): Microplastics on hiking trails in a highly visited area of High Tauern national park. (working title). Bachelor Thesis.

Roder Green, Amy L.; Putschew, Anke; Nehls, Thomas (2014): Littered cigarette butts as a source of nicotine in urban waters. In: *Journal of Hydrology* 519, S. 3466–3474. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.05.046.

Sauberer, Norbert; Prinz, Martin; Essl, Franz (2017): Österreichs Klima, Geographie und Landbedeckung im Überblick. In: *Denisia* (39), S. 27–34. Online verfügbar unter <https://www.zobodat.at/publikation_volumes.php?id=52858>, zuletzt geprüft am 02.12.2023.

Scherer, Christian; Weber, Annkatrin; Lambert, Scott; Wagner, Martin (2018): Interactions of Microplastics with Freshwater Biota. In: Martin Wagner und Scott Lambert (Hg.): *Freshwater Microplastics*, Bd. 58. Cham: Springer International Publishing (The Handbook of Environmental Chemistry), S. 153–180.

Schindelin, Johannes; Arganda-Carreras, Ignacio; Frise, Erwin; Kaynig, Verena; Longair, Mark; Pietzsch, Tobias et al. (2012): Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. In: *Nature methods* 9 (7), S. 676–682. DOI: 10.1038/nmeth.2019.

Schlosser, Hannes (2018): Naturkundlicher Führer Gletscherweg Innergschlöß. Venedigergruppe. (unveröffentlichte Ausgabe, finale Ausgabe online verfügbar) (Naturkundliche Führer Nationalpark Hohe Tauern, 1). Online verfügbar unter <<https://hohetauern.at/de/online-shop/produktkategorien/natur-und-kulturfuehrer/naturkundlicher-fuehrer-gletscherweg-in-nergshloess.html>>, zuletzt geprüft am 05.02.2024.

Shen, Maocai; Li, Yougong; Song, Biao; Zhou, Chenyun; Gong, Jilai; Zeng, Guangming (2021): Smoked cigarette butts: Unignorable source for environmental microplastic fibers. In: *The Science of the total environment* 791, S. 148384. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148384.

Souza, Sindoval Silva de; Freitas, Ítalo Nascimento; Gonçalves, Sandy de Oliveira; Da Luz, Thiarlen Marinho; Da Araújo, Amanda Pereira Costa; Rajagopal, Rajakrishnan et al. (2022): Toxicity induced via ingestion of naturally-aged polystyrene microplastics by a small-sized terrestrial bird and its potential role as vectors for the dispersion of these pollutants. In: *Journal of hazardous materials* 434, S. 128814. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2022.128814.

Stöhr, Oliver; Langer, Christoph; Gewolf, Susanne (2022): Vegetationskartierung auf ausgewählten Flächen des Nationalparks Hohe Tauern. Gebietsanalyse Innergschlöss. Hg. v. Nationalpark Hohe Tauern. Online verfügbar unter <https://www.parks.at/npht/mmd_fullen-try.php?docu_id=50365>, zuletzt geprüft am 31.01.2024.

Stoifl, Barbara; Oliva, Judith (2020): Littering in Österreich. Wien: Umweltbundesamt (Perspektiven für Umwelt & Gesellschaft, [Neue Folge], 730). Online verfügbar unter <<https://www.umweltbundesamt.at/news200630>>, zuletzt geprüft am 29.01.2024.

STRAVA (2023): Globale Heatmap. Hg. v. STRAVA. Online verfügbar unter <<https://www.strava.com/heatmap#6.32/-123.65542/37.22672/hot/all>>, zuletzt geprüft am 02.11.2023.

Tirol Tourism Research (o.J.a): Sommersaison 2023. Hg. v. Tirol Werbung GmbH. Online verfügbar unter <<https://www.ttr.tirol/statistik/tiroler-statistik/sommersaison-2023>>, zuletzt geprüft am 02.02.2024.

Tirol Tourism Research (o.J.b): Sommersaison 2023. Top Gemeinden. Hg. v. Tirol Werbung GmbH. Online verfügbar unter <<https://www.ttr.tirol/statistik/tiroler-statistik/sommersaison-2023>>, zuletzt geprüft am 02.02.2024.

Tourismusverband Achensee (o.J.): Rein in den Sportschuh und rauf auf den Berg! Bergsport im Karwendel & Rofan. Hg. v. Tourismusverband Achensee. Online verfügbar unter <<https://www.achensee.com/erleben/sommerurlaub/bergsport-tirol-oesterreich/>>, zuletzt geprüft am 02.02.2024.

Tourismusverband Mayrhofen-Hippach (o.J.): Sommerurlaub im Zillertal. Sportlich & Aktiv. Hg. v. Tourismusverband Mayrhofen-Hippach. Online verfügbar unter <<https://www.mayrhofen.at/de/pages/sommerurlaub-im-zillertal>>, zuletzt geprüft am 02.02.2024.

Tourismusverband Seefeld (o.J.): Sportlich und aktiv in unberührter Natur. Aktivitäten im Sommerurlaub. Hg. v. Tourismusverband Seefeld. Online verfügbar unter <<https://www.seefeld.com/de/aktivitaeten-im-sommerurlaub.html>>, zuletzt geprüft am 02.02.2024.

Townsend, Andrea K.; Barker, Christopher M. (2014): Plastic and the nest entanglement of urban and agricultural crows. In: *PloS one* 9 (1), e88006. DOI: 10.1371/journal.pone.0088006.

Trikha, Iris (Digitale Rangerin, Naturpark Karwendel) (2023): Flurreinigungsaktionen im Naturpark Karwendel und Ausgabe von Taschenaschenbechern. Zirl, Tirol, 21.10.2023. mündliche Mitteilung an Tabea Grube.

Umweltbundesamt (2020a): Kunststoffe in Böden: Derzeitiger Kenntnisstand zu Einträgen und Wirkungen. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kunststoffe-in-boeden-derzeitiger-kenntnisstand-zu>>, zuletzt geprüft am 31.01.2024.

Umweltbundesamt (2020b): Status Quo, Handlungspotentiale, Instrumente und Maßnahmen zur Reduzierung des Litterings. Unter Mitarbeit von Christin Belke, Julia Kuhlmann, Dirk Schreckenberger, Jasmin Weishäupl. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (Texte | 69/2020). Online verfügbar unter <<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/status-quo-handlungspotentiale-instrumente>>, zuletzt geprüft am 01.02.2024.

Umweltbundesamt (2022): Bezugswerte zur Bewertung von Spurenstoffen in Gewässern. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <<https://www.umweltbundesamt.de/bezugswerte-zur-bewertung-von-spurenstoffen-in>>, zuletzt aktualisiert am 21.08.2022, zuletzt geprüft am 05.02.2024.

WIBIS (2023): Bruttoregionalprodukt (BRP). Hg. v. Wirtschaftspolitisches Berichts und Informationssystem (WIBIS). Online verfügbar unter <<https://wibis-steiermark.at/glossar/wirtschaft/bruttoregionalprodukt-brp/>>, zuletzt aktualisiert am 24.07.2023, zuletzt geprüft am 08.02.2024.

WIFO (2021): Tourismus als regionaler Wirtschaftsfaktor. Beitrag zum Bruttoregionalprodukt der Bundesländer variiert zwischen 2,6% und 16,9%. Hg. v. Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung. Online verfügbar unter <<https://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/main.jart?rel=de&content-id=1487278189573&j-cc-node=news&j-cc-id=1635461236570>>, zuletzt aktualisiert am 12.11.2021, zuletzt geprüft am 02.02.2024.

Zechmann, Silvia (2017): Nikotin aus Tabak – ein „natürliches“ Mittel gegen Pflanzenschädlinge? Hg. v. Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Stuttgart. Online verfügbar unter <https://www.ua-bw.de/pubmobil/beitrag.asp?subid=1&Thema_ID=5&ID=2563>, zuletzt geprüft am 30.01.2024.

Anhang

I Glossar	77
II Methodik der Besuchszahlenschätzung für die Sommersaison 2023.....	79
III Ergänzende Darstellungen zur Auswertung der gefundenen Objekte.....	82
III.1 Farbaufteilung der gefundenen Objekte	82
III.2 Verteilung der Ausreißer der gemessenen Objektflächengrößen.....	83
III.3 Detaillierte Darstellung der Abfallkategorie „Plastik & Gummi“	84
III.4 Aufteilung der Subkategorie „Sonstiges Plastik & Gummi“	84

I Glossar

Begriff	Definition	Quelle
Ablationszone	Der Teil der Eisfläche eines Gletschers, bei dem jährlich mehr Eis abschmilzt als neues hinzukommt (auch Zehrgebiet genannt)	(Alean und Hambrey 2017)
Additiv	Zusatzstoffe, welche die Eigenschaften von Kunststoffen beeinflussen können	(Fraunhofer UMSICHT o.J.)
ATR	Attenuated Total Reflection (dt.: Abgeschwächte Totalreflexion) Methode der Infrarotspektroskopie, bei der Infrarotlicht durch ein Refraktionsmedium auf ein Testmedium gesendet wird und das vom Testmedium zurückgeworfene Lichtspektrum detektiert wird	(BRUKER o.J.)
Biologisch abbaubar	Ein Stoff gilt als biologisch abbaubar, wenn dieser durch Organismen vollständig zu anorganischen Endprodukten abgebaut werden kann	(IfBB o.J.)
Bruttoregionalprodukt	Das Bruttoinlandsprodukt berechnet für eine Region	(WIBIS 2023)
Citizen-Science	Man spricht von Citizen-Science wenn Freiwillige, die normalerweise nicht über Expertenwissen in einem Fachbereich verfügen, wissenschaftliche Daten für diesen Fachbereich erheben	(Nelms et al. 2022, S. 2)
Duroplast	Ein Kunststoff, der nach der Produktion nicht mehr weich wird	(Fraunhofer UMSICHT o.J.)
Hochgebirge	In dieser Arbeit werden als "Hochgebirge" die im Nationalpark Hohe Tauern repräsentierten Höhenstufen aufgefasst, also die Höhenstufen: Montan (ca. 700-1.700 m ü. NN), Subalpin (1.600 - 2.300 m ü. NN), Alpin (2300 - 3000 m ü. NN), und Nival (ab 3.000 m ü. NN)	(NPHT o.J.d)
Illegale Müllablagerung	Im Unterschied zu Littering versteht man unter illegaler Müllablagerung die illegale Entsorgung von Abfällen in der Umwelt. Diese Abfälle fallen nicht im öffentlichen Raum an, sondern werden erst später in diesen verbracht.	(Stoifl und Oliva 2020, S. 17)

Kryokonite	Kryokonite sind kleine, wassergefüllte Vertiefungen auf einer Gletscheroberfläche, die durch das Einschmelzen von Gletscherablagerungen entstehen und eine hohe biologische Aktivität aufweisen	(Ambrosini et al. 2019, S. 2)
Leaching	Das Austreten von umweltgefährlichen Stoffen aus Kunststoffabfällen	(Liebmann 2015, S. 23)
Littering	Das Hinterlassen von Abfällen im öffentlichen Raum, ohne dass zur Verfügung stehende Entsorgungsmöglichkeiten genutzt werden	(Stoifl und Oliva 2020, S. 17)
Makroplastik	Plastikpartikel mit einem maximalen Durchmesser von mindestens 2,5 cm	(GESAMP 2019, S. 10)
Mesoplastik	Plastikpartikel mit einem maximalen Durchmesser von 0,5 - 2,5 cm	(GESAMP 2019, S. 10)
Mikroplastik	Plastikpartikel mit einem maximalen Durchmesser von < 0,5 cm	(GESAMP 2019, S. 10)
Monomer	Kurzkettige Moleküle, die durch unterschiedliche chemische Verfahren zu Polymeren verbunden werden können	(Fraunhofer UMSICHT o.J.)
Nanoplastik	Plastikpartikel mit einem maximalen Durchmesser von < 1 µm	(GESAMP 2019, S. 10)
Nationalpark	Großflächige Schutzgebiete, in denen der Erhalt von ungestört ablaufenden eigendynamischen Umweltprozessen im Vordergrund steht	(EUROPARC Deutschland 2010, S. 21)
PNEC-Schwellenwert	Predicted no effect concentration - Maximale Konzentration, bei der ein Stoff oder dessen Abbauprodukte noch keinen Effekt auf ein Ökosystem haben	(Umweltbundesamt 2022)
Polymer	Langkettige Moleküle, die durch chemische Verfahren aus sich wiederholenden, kleineren Einheiten (Monomeren) gebildet werden	(Fraunhofer UMSICHT o.J.)
Primäres Mikroplastik	Mikroplastik, welches bereits als solches produziert wird	(Liebmann 2015, S. 11)
Sekundäres Mikroplastik	Mikroplastik, welches durch die Degradation von größeren Kunststoffen entsteht	(Liebmann 2015, S. 11)
Thermoplast	Kunststoffe, die nach der Produktion beim Erwärmen erweichen und nach dem Auskühlen wieder erhärten	(Fraunhofer UMSICHT o.J.)

II Methodik der Besuchszahlenschätzung für die Sommersaison 2023

Umfangreiche Erhebungen der Besuchszahlen im Nationalpark Hohe Tauern wurden im Jahr 2004 und 2013 durchgeführt. In 2004 wurden die Gesamtbesuche im Nationalpark über die gesamte Sommersaison 2003 (01.05.2003 - 31.10.2003) geschätzt. Diese Schätzung basiert auf Dauerzählstellen (z.B. Mautstraßen und Parkplätze). An 4 Tagen in der Sommersaison 2003 wurden an insgesamt 65 verschiedenen Zählstellen im Nationalparkgebiet die Besucher gezählt. Die an einer Zählstelle erhobenen Tagesbesuche wurden dividiert durch die Tagesbesuche des gleichen Tages an allen zur Verfügung stehenden Dauerzählstellen. Das Ergebnis dieser Rechnung: Wie viele Besucher, die an einer Zählstelle im Park erhoben wurden kommen auf einen Besucher an der Dauerzählstelle? Diese Rechnung wurde für alle Zählstellen im Park für alle gezählten Tage ($n \leq 4$) durchgeführt. Aus den errechneten Anteilswerten (wie viele Besucher an einer Tageszählstelle kommen auf einen Besucher an einer Dauerzählstelle) wurde der Mittelwert und die Standardabweichung berechnet. Die Dauerzählstelle mit der geringsten Standardabweichung der Anteilswerte wurde als Referenzstelle für eine Zählstelle herangezogen, da diese den Saisonverlauf der Zählstelle im Park am besten repräsentiert. Für jeden Tag der Sommersaison wurden dann die in der als Referenz ausgewählten Dauerzählstelle erhobenen Besuchszahl mit dem errechneten mittleren Anteilswert multipliziert. So kann man für jeden Tag berechnen, wie viele Besuchende schätzungsweise an der Zählstelle im Park gezählt würden. Alle Tageswerte der Sommersaison 2003 ($n = 184$) wurden dann addiert, um die Gesamtbesuchszahl der Sommersaison an jeder Zählstelle zu schätzen. Die Summe der Gesamtbesuche je Zählstelle im jeweiligen Bundesland ergibt die Gesamtbesuchszahl im Nationalpark Hohe Tauern nach Bundesland. Eine ausführliche Beschreibung der Hochrechnungsmethodik findet sich in Lehar et al. (2004, S. 21–40).

So errechneten Lehar et al. (2004) für den Nationalpark eine Gesamtbesuchszahl von 446.720 Besuchen im Tiroler Teil des Nationalparks, 1.138.860 Besuchen im Salzburger Teil, und 165.180 Besuchen im Kärntener Teil des Nationalparks. Auf den gesamten Nationalpark berechnet, ergeben sich 1.750.760 Besuche, mit einem durchschnittlichen Fehler von $\pm 23\%$ (Lehar et al. 2004, S. 33–36).

Umgerechnet auf die Fläche des Nationalparks ergibt sich für die Sommersaison 2003 eine Besuchsdichte von 975 Besuchen je km² (Lehar et al. 2004, S. 39). In der Studie wurde ebenfalls die Kennziffer "Nationalparkbesuche je Übernachtung in den Nationalparkgemeinden" für die drei Bundesländer errechnet. Dabei wurden die geschätzten Besuchszahlen für die einzelnen Nationalparkregionen durch die Übernachtungen in den Nationalparkgemeinden der Region dividiert. Für Tirol und Salzburg ergab sich, dass auf zehn Übernachtungen in den Nationalparkgemeinden etwa acht Parkbesuche entfallen. Für die Kärntner Gemeinden sind es rund fünf Besuche je zehn Übernachtungen. Diese Kennziffer veranschaulicht den Anteil des Nationalparks an der touristischen Auslastung der Nationalparkgemeinden gut, ist jedoch mit zwei Einschränkungen zu interpretieren. Diese sind: Erstens übernachteten nicht alle Urlauber in der Region und nur ein Teil der übernachtenden Gäste übernachtet auch in den Nationalpark-Gemeinden. Zweitens machen einen Teil der Besuche auch Einheimische aus, die nicht in die Übernachtungsstatistik eingehen (Lehar et al. 2004, S. 40f.).

In der Folgerhebung aus dem Jahr 2013 wurden die Besuchszahlen durch ein vereinfachtes Verfahren geschätzt. Die Schätzung erfolgte, indem zunächst die Besuchszahlen der Dauerzählstellen für die Sommersaison 2013 summiert wurden. Diese Summe wurde dann mit den 2003 (bzw. 2006 für den Tiroler Teil des Nationalparks) ermittelten Besuchszahlen ins Verhältnis gesetzt. Das Ergebnis war ein prozentualer Rückgang der in den Dauerzählstellen erfassten Saisonbesuche um 18,4 %. Dieser prozentuale Rückgang wurde dann auf die in 2003 für Tirol ermittelte Besuchszahl von 446.720 angewandt. So errechneten die Autoren einen Wert von 364.539 Besuchen im Tiroler Teil des Nationalparks in der Sommersaison 2013 (Lehar und Bayer 2014, S. 36).

Bemerkenswert ist hierbei, dass die Autoren eine hohe Übereinstimmung in den prozentualen Rückgängen von Nationalparkbesuchen in Tirol und Nächtigungen in den Nationalparkgemeinden Tirols feststellen konnten (18,4% und 19,7 % respektive) (ebd.). Da für den Kärntner Teil des Nationalparks in 2013 keine Ergebnisse von Dauerzählstellen vorlagen, wurde dieser parallele Verlauf zwischen Übernachtungszahlen und Besuchszahlen ebenfalls zugrunde gelegt, um die Besuchszahlen im Kärntner Nationalparkteil für 2013 zu errechnen. Die Übernachtungen in den Kärntner Nationalparkgemeinden gingen zwischen 2003 und 2013 um 16,3 % zurück.

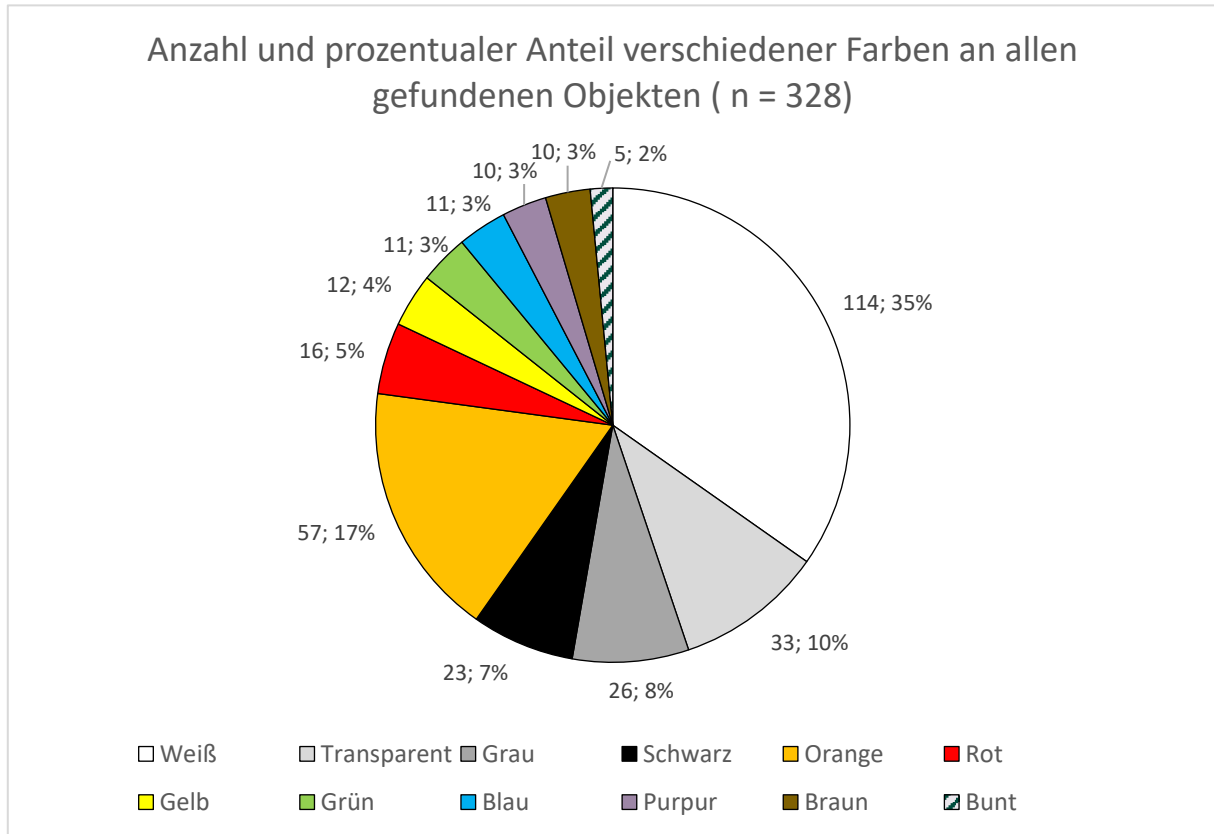
Legt man diesen prozentualen Rückgang auch für die Besuche im Nationalparkgebiet Kärnten an, kommt man auf 138.246 Besuche im Jahr 2013 (Lehar und Bayer 2014, S. 37). Diese Vorgehensweise erlaubt selbstverständlich nur eine grobe Abschätzung der tatsächlichen Besuchszahlen. Da für diese Arbeit jedoch ebenfalls keine Daten der Dauerzählstellen im Nationalparkgebiet eingeholt werden konnten, wurde die von Lehar und Bayer (2014, S. 36f.) für Kärnten angewandte Methode verwendet, um die Besuchszahlen im Tiroler Teil des Nationalparks für die Sommersaison 2023 zu schätzen.

Die Daten für die aktuelle Schätzung stammen vom Land Tirol (Amt der Tiroler Landesregierung o.J.). Der für die Berechnung verwendete Datensatz liegt dieser Arbeit im digitalen Begleitmaterial bei (Excel-Mappe 2.1.1). Es wurden die Übernachtungszahlen in den zehn Tiroler Nationalparkgemeinden, die in Lehar und Bayer (2014, S. 37) angegeben sind, zwischen 2013 und 2023 verglichen. Hierbei ergibt sich eine Steigerung der Übernachtungen zwischen 2013 und 2023 um 24,1 % (2013: 479.595 Nächtigungen in Nationalparkgemeinden in Tirol; 2023: 595.004 Nächtigungen).

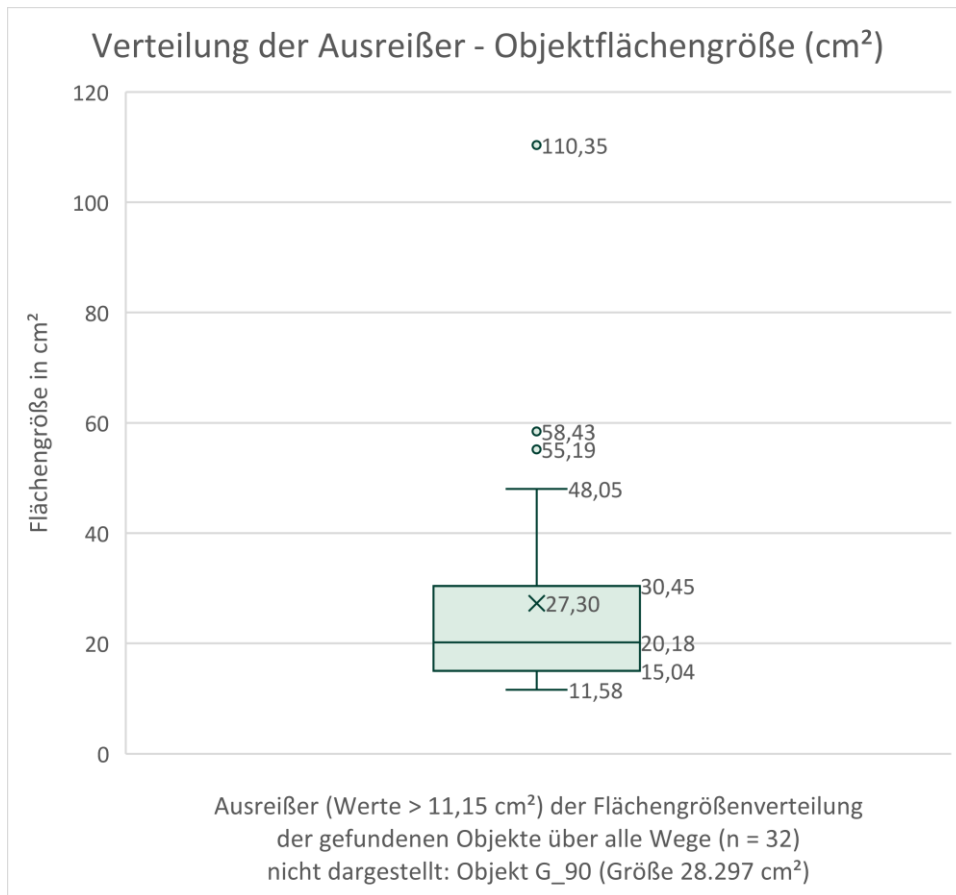
Legt man diese 24,1 % ebenfalls als Steigerung für die Besuchszahlen im Nationalpark Hohe Tauern Tirol an, kommt man auf ein Plus von 88.854 Besuchen. Das ergibt für die Sommersaison 2023 eine Gesamtzahl von 453.393 Besuchen. Dieser Wert nähert sich dem 2003 für Tirol ermittelten Wert von 446.720 Besuchen stark. Diese Ähnlichkeit zeigt sich auch im Vergleich der Übernachtungszahlen: Setzt man die Übernachtungszahlen in den Tiroler Nationalparkgemeinden in 2003 (597.148 erhobene Übernachtungen) als Ausgangswert, weichen die Übernachtungszahlen in 2023 nur um 0,4 % nach unten ab. Aus der für 2023 errechneten Besuchszahl von 453.393 Besuchen im Nationalpark Hohe Tauern Tirol lässt sich eine Besuchsdichte von 742 Besuchen pro Quadratkilometer ermitteln (Nationalparkfläche Tirol: 611 km², NPHT o.J.a.) Für die Kennzahl der "Nationalparkbesuche je Übernachtung in den Nationalparkgemeinden" ergibt sich ein Wert von 0,76. Das bedeutet: Auf 10 Übernachtungen in den Nationalparkgemeinden kommen rund 8 Besuche des Nationalparks. In 2023 ist also, mit den oben genannten Einschränkungen, die Relevanz des Nationalparks in der Region Tirol im Vergleich zu 2003 ungefähr gleich geblieben, im Vergleich zu 2013 leicht gestiegen.

III Ergänzende Darstellungen zur Auswertung der gefundenen Objekte

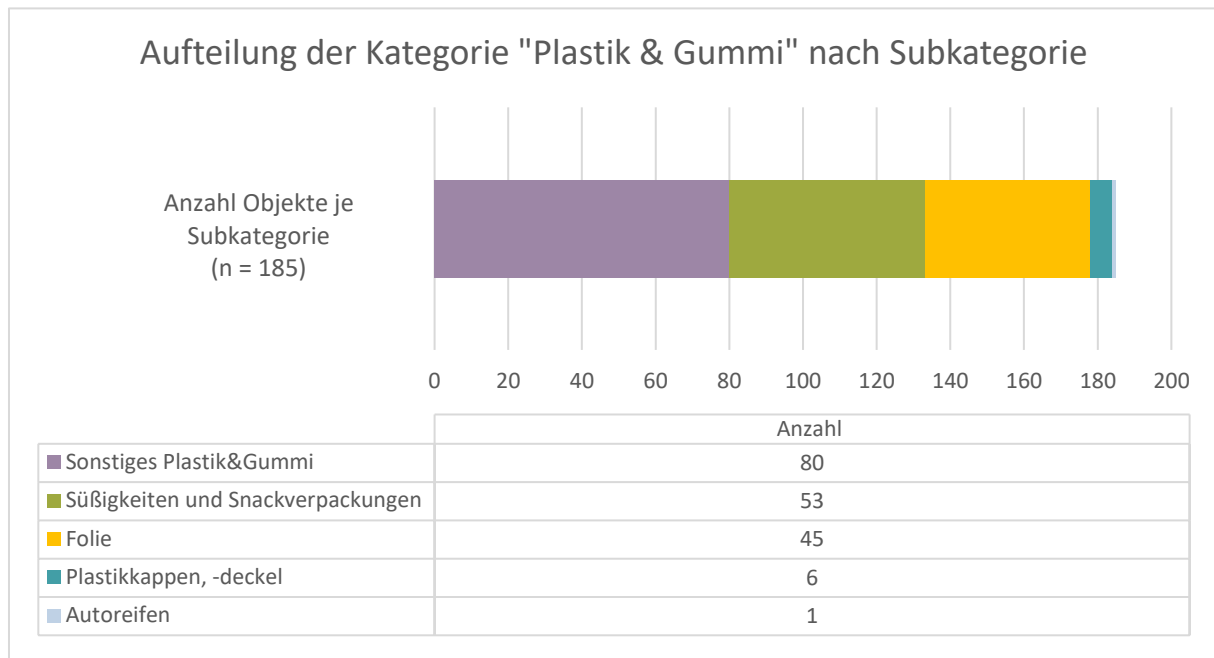
III.1 Farbaufteilung der gefundenen Objekte



III.2 Verteilung der Ausreißer der gemessenen Objektflächengrößen



III.3 Detaillierte Darstellung der Abfallkategorie „Plastik & Gummi“



III.4 Aufteilung der Subkategorie „Sonstiges Plastik & Gummi“

Beschreibung der Objekte in der Kategorie „Sonstiges Plastik & Gummi“	Anzahl Objekte
Bruchstücke eines Lippenpflegestiftes	34
Hartplastik	11
Reflektor (Auto oder Fahrrad)	5
Aufkleber	5
Beutelverschluss	4
Keine Angabe	3
Wanderstock	3
Haargummi	2
Schuhsohle	2
Tesafilm	1
Luftballon	1
Playmobil	1
Isolierband	1
Gummi	1
Kamm	1
Elektroaunfaser	1
Medikamentenverpackung	1
Barcode (Verpackung)	1
Versandmaterial	1
Gummiband	1

Persönliche Erklärung

Hiermit versichere ich, *Tabea Maria Grube*, dass ich die vorliegende Abschlussarbeit (Bachelor-Thesis) selbstständig erstellt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Angaben von Dritten (wörtlich oder sinngemäß) sind ordnungsgemäß belegt. Die Arbeit wurde in dieser oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfstelle vorgelegt.

X 
19.02.2024 Tabea Maria Grube