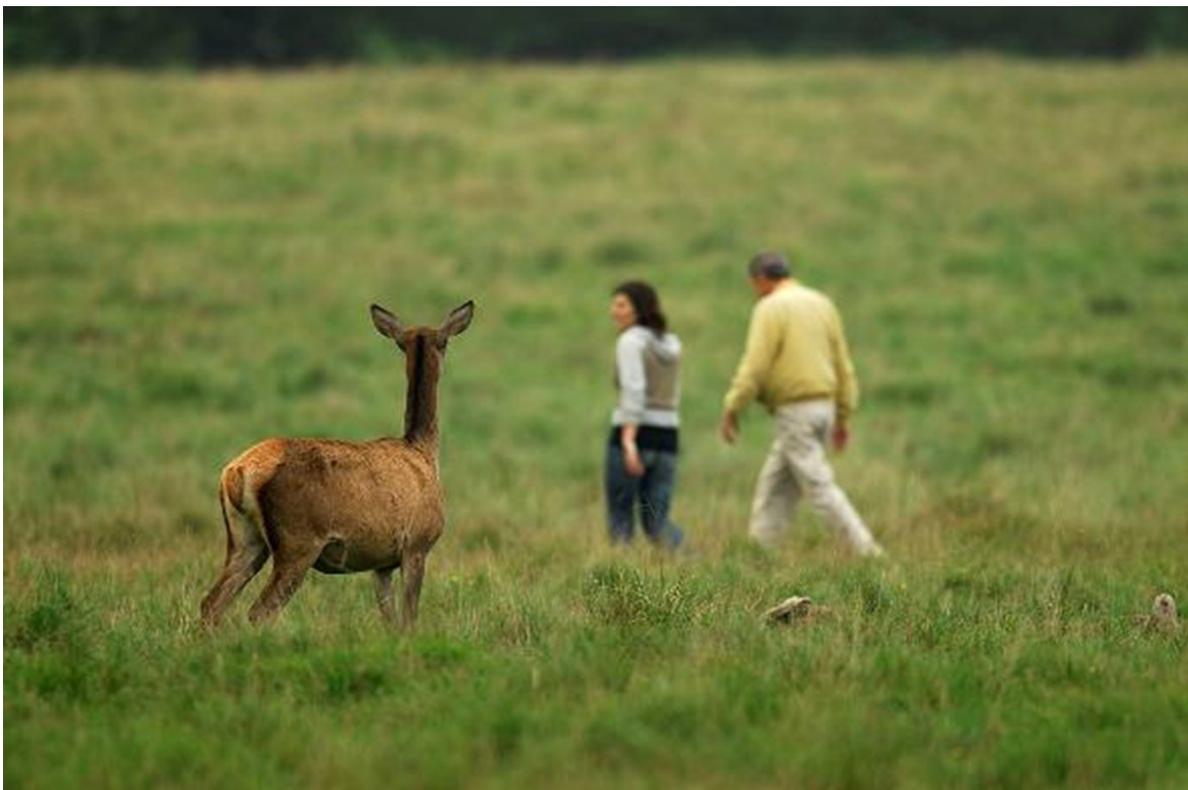


# Abschlussbericht des DBU - Projekts

## „Optimierung von Naturschutzleistungen und der Erholungsnutzung in Großschutzgebieten zur Entscheidungsunterstützung für das Schutzgebietsmanagement“

Aktenzeichen: 33 059/01

Projektlaufzeit: 01.04.2017 - 31.01.2022



vorgelegt von

Prof. Dr. Carsten Dormann - Universität Freiburg (Antragsteller)

Dr. Claudia Dupke – Universität Freiburg

Freiburg, den 9.05.2022

gefördert durch



Deutsche  
Bundesstiftung Umwelt

[www.dbu.de](http://www.dbu.de)

# 1. Zusammenfassung

Nationalparke leisten einen wichtigen Beitrag zum Schutz der Biodiversität und sind gleichzeitig attraktive Destinationen für einen naturorientierten Tourismus. Beide Ziele gehören entsprechend den Definitionen der International Union for Conservation of Nature zu den Hauptaufgaben eines Nationalparks. Allerdings kommt es vor, dass sich die Schutzziele und die Öffnung der Schutzgebiete für den Erholungsverkehr schwierig in Einklang bringen lassen. Deshalb ist es eine große Herausforderung für das Schutzgebietsmanagement, den Erholungsverkehr und andere anthropogene Störungen so zu steuern, dass beide Ziele erreicht werden können, ohne das jeweilig andere wesentlich zu beeinträchtigen.

Es gibt zwar Forschungsarbeiten, die sich grundsätzlich mit der Auswirkung von Störungen auf Wildtiere beschäftigen, allerdings werden die Entscheidungen über Erschließungsprojekte in den Schutzgebietsverwaltungen bislang oft aus dem Bauch heraus getroffen, da konkrete Handlungsanweisungen fehlen. Deshalb war das Ziel dieses Projektes im ersten Schritt zu untersuchen, welche Veränderungen menschliche Störungen durch Tourismus, Wildtierregulierung und Waldmanagement im Verhalten von Wildtieren zur Folge haben. Dabei wurden verschiedene Tierarten einbezogen, vom vermeintlich störungsunempfindlichen Reh bis zum sehr sensibel reagierenden Auerhuhn. Für die Analysen konnte auf eine einzigartige Datengrundlage aus dem Nationalpark Bayerischer Wald und dem Schweizerischen Nationalpark zurückgegriffen werden, die sowohl Informationen zum Vorkommen und dem Bewegungs- und Aktivitätsverhalten von Wildtieren als auch von Nationalparkbesuchern und -mitarbeitern umfasst. Durch die Einbeziehung der beiden Schutzgebiete können sowohl Aussagen für alpine als auch für bewaldete Schutzgebiete der Mittelgebirge getroffen werden. Auf Basis dieser Ergebnisse wurden im zweiten Schritt gezielte Erhebungen im Gelände durchgeführt, um Daten zum Einfluss von Besucherströmen auf die Abundanz und die Stressbelastung von Wildtieren zu sammeln. Im dritten Schritt sollte auf Basis dieser Ergebnisse Ansätze mit mathematischer Optimierungsverfahren aus dem Bereich des Operations Research getestet werden, wie die vielfältigen Ziele miteinander in Einklang zu bringen sind.

Die Ergebnisse dieses Projektes geben einen Überblick über den derzeitigen Umgang mit diesem Zielkonflikt im Management von Nationalparks und wie perspektivisch mit diesem Konflikt umgegangen werden kann. Steigende Besuchszahlen stellen die Manager der Besucherlenkung von Schutzgebieten vor große Herausforderungen. Ein vorherrschendes Problem ist, dass kaum ein Park Wissen darüber hat, wo sich wie viele Besucher aufhalten und welche Wirkungen das Verhalten der Besucher auf die Schutzgüter hat. In diesem Bericht werden Monitoring- und Analysemethoden vorgestellt und am Beispiel des Nationalparks Bayerischer Wald evaluiert, die das Potenzial haben genau diese Wis-

senslücke zu schließen. Dafür werden Analysemethoden zum Untersuchen des Raum-Zeit-Verhaltens der Wildtiere sowie der Besucher vorgestellt. Die Ergebnisse dieser Analysen werden zu einem erheblichen Fortschritt im Verständnis der Wechselwirkungen zwischen menschlichen Störungen und Wildtieren führen, aus denen sich konkrete Handlungsempfehlungen ableiten lassen. Mit dem vorhandenen Wissen lassen sich Handlungsoptionen hinsichtlich ihres Störungspotenzials bewerten und vergleichen. Auf Basis dieses Projektes können auch gezielte Empfehlungen zum Monitoring von Wildtieren und Menschen gegeben werden. Diese Daten liefern schließlich die Grundlage für den Einsatz von geostatistischen Verfahren und individuen-basierter Modellierung, die es erlauben, verschiedene Handlungsoptionen zu bewerten und damit die Entscheidungsfindung im Management von Schutzgebieten zu unterstützen.

# Inhaltsverzeichnis

.....	1
1. Zusammenfassung.....	2
2. Bericht.....	5
2.1. Einführung/Motivation.....	5
2.2. Erhebung von Grundlageninformationen aus Praxis und Forschung.....	6
2.2.1 Befragung der Nationalparkverwaltungen.....	6
2.2.2 Literaturreview.....	8
2.3. Aktivitätsmuster und Stressbelastung von Säugetieren.....	8
Bewegungs- und Habitatnutzungsmuster von Luchsen, Gämsen, Rehen und Rothirschen.....	12
2.4. Optimierung von Entscheidungen zur touristischen Infrastruktur.....	15
2.4.1 Forschungsansätze zum Wildtiermonitoring.....	15
2.4.2 Analyse der Daten des Besuchermonitorings.....	16
2.4.2.1 Interpolation auf das Wegenetz.....	17
2.4.2.2 Nutzung von Online-Daten.....	18
2.4.2.3 Agenten-basierte Modellierung des Besucherverhaltens.....	19
2.4.3 Ergebnisse.....	20
2.4.3.1 Interpolation auf das Wegenetz.....	20
2.4.3.2 Nutzung von Online-Daten.....	23
2.4.3.3 Agenten-basierte Modellvorhersagen.....	23
3. Zusammenfassung der Ergebnisse.....	25
4. Fazit für die Praxis.....	29
5. Diskussion der Zielerreichung des Projektes.....	32
5.1. Arbeitspaket I: Erhebung von Grundlageninformationen aus Praxis und Forschung.....	32
5.2. Arbeitspaket II: Aktivitätsmuster und Stressbelastung von Säugetieren.....	32
5.3. Arbeitspaket III: Bewegungs- und Habitatnutzungsmuster von Luchsen, Gämsen, Rehen und Rothirschen.....	33
5.4. Arbeitspaket IV: Optimierung von Entscheidungen zur touristischen Infrastruktur.....	33
6. Öffentlichkeitsarbeit.....	33
7. Ausblick.....	34
8. Literatur.....	35
9. Anhänge.....	39

## 2. Bericht

### 2.1. Einführung/Motivation

Die Aufgaben von Nationalparks und allgemein von Schutzgebieten sind vielfältig (EUROPARC and IUCN, 2000). Ein Hauptauftrag ist die natürliche biologische Vielfalt zusammen mit der ihr zugrundeliegenden ökologischen Struktur und den unterstützenden ökologischen Prozessen zu schützen. Das bedeutet Schutz der Biodiversität in Genen, Arten und Lebensräumen, sowie der natürlichen Prozesse. Die selbstregulierende Dynamik von Ökosystem soll bewahrt bzw. reaktiviert werden. Gleichzeitig sollen Schutzgebiete Menschen als Naturerfahrungs- und Erholungsräume dienen, in denen Natur hautnah erlebt, gespürt und bestaunt werden kann. Daneben ist die Vermittlung des Wertes und der Schönheit, den die Natur für den Menschen hat, insbesondere für Nationalparks elementar. Dieser Bildungsauftrag ist deswegen so bedeutsam, weil Menschen vor allem durch persönliche Naturerlebnisse motiviert werden, Natur aktiv zu schützen (Evans et al., 2013).

Die weltweit steigenden Besuchszahlen veranschaulichen die Beliebtheit von Schutzgebieten (Pickering et al., 2018). Durch die steigende Nachfrage in Kombination mit neuen Technologien (z.B. E-Mountain-bikes) werden nun auch Bereiche von Schutzgebieten aufgesucht, die vorher schwer erreichbar und von Störungen weitestgehend verschont waren (Monz et al., 2021). Auch im Zuge der Covid-19 Pandemie wurden Schutzgebiete mit neuen Herausforderungen konfrontiert, die vor allem durch den Besucheransturm verursacht wurden (McGinlay et al., 2020). Aus zahlreichen Studien ist allerdings bekannt, dass wildlebende Tiere den Menschen und seine Aktivitäten in der Natur als Störung wahrnehmen (zusammengefasst durch (Larson et al., 2016)). Daher muss insbesondere in Schutzgebieten berücksichtigt werden, dass Wildtiere auf den Menschen mit Vermeidungsstrategien reagieren, die denen gegenüber natürlichen Beutegreifern ähneln (Frid and Dill, 2002). Die Wirkungen von Störungen auf das Tierreich sind vielfältig (Wilson et al., 2020). Zum Beispiel passen Wildtiere ihr Verhalten an, indem sie Menschen in Raum und Zeit meiden und mehr Sicherheitsverhalten zeigen (Bonnot et al., 2020). Es gibt einen messbaren Trend, dass Tiere stärker nachtaktiv werden, je stärker sie menschlichen Störungen ausgesetzt sind, was sich weltweit für zahlreiche Tierarten beobachten lässt (Gaynor et al., 2018). Durch die Meidung menschlich genutzter Orte müssen Wildtiere an Orten und während Zeiten aktiv sein, die nur ein suboptimales Ressourcenangebot bieten (Coppes et al., 2017). Dadurch werden Überlebens- und Reproduktionsrate und folglich die Fitness der Wildtiere reduziert (McLoughlin et al., 2006). In Folge kann es zu Auswirkungen auf ganze Populationen (White Jr et al., 1999) und schließlich über trophische Kaskadenketten sogar auf das Ökosystem kommen (Wilson et al., 2020). Für ein konkretes Naturschutzgebiet lässt sich dies gegen-

wärtig nur mutmaßen, da wissenschaftliche Studien zur Übertragbarkeit fehlen vgl. (Möst et al., 2015). Der Artikel von Peters et al. (in Vorbereitung) fasst den Kenntnisstand über die Effekte anthropogener Störungen auf die Tierwelt zusammen.

Auf Grundlage bereits vorhandener Forschungsergebnisse lässt sich schlussfolgern, dass die beiden zentralen Ziele von Nationalparks, Erholung in freier Natur und der Schutz der Biodiversität mit der ihr zugrundeliegenden Prozesse, miteinander im Konflikt stehen. Wie soll das Management in Nationalparks also mit steigenden Besuchszahlen umgehen? Handlungsoptionen können nur dann entwickelt werden, wenn das Problem hinreichend bekannt ist und entsprechende Informationen vorliegen. Wenn der Druck durch Besucher auf die Wildtiere minimiert werden soll, muss bekannt sein, wo sich die Menschen und die Wildtiere im Gebiet aufhalten. Denn erst mit dem Wissen um besondere Schutzgüter und potentielle Konfliktorte lassen sich effiziente Maßnahmen in der Besucherlenkung durchführen.

Die Ergebnisse dieses Projektes liefern einen Überblick, wie das Management deutscher Nationalparks mit dem zu erwartenden steigenden Besucherdruck derzeit umgeht. Anhand von Daten aus dem Nationalpark Bayerischer Wald veranschaulichen wir Ansätze, mit deren Hilfe, Wissen über die Nutzung des Gebiets durch Wildtiere und Besucher generiert werden kann und diskutieren sie hinsichtlich ihrer Praktikabilität. Schließlich bieten wir Handlungsempfehlungen für die Forschung und die Praxis als Diskussionsgrundlage an.

## **2.2. Erhebung von Grundlageninformationen aus Praxis und Forschung**

### **2.2.1 Befragung der Nationalparkverwaltungen**

Das Projekt begann mit der Befragung aller 13 terrestrischen deutschen Nationalparks. Dafür wurde von Vertretern aller Nationalparks ein Online-Fragebogen ausgefüllt und anschließend in einem Telefon-Interview befragt. Das Ziel war es zu ergründen, wie deutsche Nationalparks mit den entgegengesetzten Zielen umgehen, einerseits natürliche Biodiversität und Prozesse zu schützen und andererseits Bildung und Erholung von einer zunehmenden Zahl von Besuchern zu fördern bei gleichzeitig steigendem Druck von außenstehenden Interessensvertretern, Tourismus und Politik.

Drei grundlegende Probleme, die sich in fast allen Nationalparks wiederfanden, konnten wir identifizieren.

Erstens: Besucherströme werden in Nationalparks kaum kontrolliert oder aktiv gelenkt. Eine generelle Regulierung der Besucher, zeitlich oder räumlich, ist in den meisten Nationalparks weder umgesetzt noch geplant. Schließlich gilt laut §14 des Bundeswaldgesetz das freie Betretungsrecht in Wald

und Flur zum Zwecke der Erholung, das nur aus wichtigen Gründen eingeschränkt werden darf. Wenngleich Besucher mit Hilfe von Broschüren und Tafeln auf Grundlage eines von der Besucherlenkung vorgegebenen Wegesystems durch die Parke geleitet und damit von sensiblen Bereichen ferngehalten werden sollen, wird laut Nationalparkmitarbeitern angesichts des weiteren Anstiegs der Besuchszahlen auch die Störung im gesamten Gebiet der Nationalparks zunehmen. Selbst störungsempfindliche Bereiche, von denen Besucher weggeleitet werden sollen, werden zunehmend häufiger besucht, da Menschen weniger genutzte Wege bevorzugen oder gar in nicht erlaubte Gebiete ausweichen, um eine zu starke Nutzung (*crowding*) zu meiden (Manning and Valliere, 2001).

Zweitens: Flexible Zugangsregelungen werden durch Entscheidungsstrukturen eingeschränkt, die durch beschränkte Befugnisse und langwierige bürokratische Prozesse gekennzeichnet sind. Eine nicht ausreichende Personal- und Finanzausstattung, die oft nur das minimale operative Geschäft aufrechterhalten kann, erschwert die Situation zusätzlich. Als weitere große Belastung wird von vielen Parks die politisch und gesellschaftlich gewünschte Beteiligung von Interessengruppen an Entscheidungsprozessen wahrgenommen, die viele Ressourcen bindet. Von der Mehrheit der befragten Nationalparkvertreter erhielten wir Zustimmung zur Aussage, dass Partizipation zu einer Prioritätenverschiebung führt, weg vom Schutzziel hin zu einem Anbieter von Dienstleistungen für verschiedene Interessenvertreter. Ein Grund dafür sind nicht zugängliche oder verwertbare Fakten zur Wildtierstörung, auf die Nationalparkmanager ihre Argumente in Diskussionen stützen könnten. Der Transfer von wissenschaftlichen Erkenntnissen in die Praxis scheitert daran, dass Manager entweder keine Zeit haben, wissenschaftliche Studien zu lesen oder dass zu überzeugende Interessenvertreter nicht gewillt sind, die Relevanz der Studienergebnisse von z.T. weit entfernten Orten für ihr konkretes Gebiet anzuerkennen.

Drittens: Die lokale Bevölkerung hat zum Teil hohe Erwartungen an den Nationalpark, da bei der Gründung ökonomische Vorteile für die Region in den Vordergrund gestellt wurden, um die lokale Akzeptanz zu steigern (Job et al., 2005). Damit wird dem Nationalpark eine ökonomische Bringeschuld auferlegt, die er bestenfalls durch mehr Besucher erfüllen kann. Entsprechend fordernd ist auch die Haltung von Politik und Tourismuswirtschaft. Zugleich stellen sich Nationalparks auf Tourismusmessen und anderen Gelegenheiten als Dienstleistungsanbieter dar und werben für Urlaub in der Nationalparkregion. Der Erwartungshaltung von Besuchern kann seitens des Naturschutzes oft kein äquivalentes Gegengewicht entgegengesetzt werden.

Der Fokus des Management von Nationalparks scheint auf Akzeptanzerhaltung bzw. -steigerung zu liegen, was langfristig Nachteile für die Naturschutzziele haben könnte. Die meisten Manager, mit denen wir gesprochen haben, sind zwar gewillt den Naturschutzziele mehr Geltung zu verschaffen, sehen sich aber mit den Grenzen ihres Steuerungsmöglichkeiten konfrontiert.

Die detaillierten Ergebnisse dieser Studie finden sich in Anlage 1:

Dupke C., Dormann C. F. and Heurich M. (2019) Does public participation shift German national park priorities away from nature conservation? *Environ. Conserv.* 46, 84-91.

## 2.2.2 Literaturreview

Hier untersuchten wir die Auswirkungen von Freizeitaktivitäten auf den Stress von freilebenden Hirschartigen. Dabei wurden Messarten von Stress, Auswirkungen von verschiedenen Aktivitäten und Interaktionen zwischen diesen Störquellen untersucht. Bei den Stressauslösern wurde zwischen Tourismus und Jagd unterschieden und dazu als dritter Faktor der Kontext genommen. Für die Untersuchung in dieser Arbeit wurde eine qualitative Literaturanalyse durchgeführt. Die Analyse orientierte sich methodisch dabei an der strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse, bei der das Material anhand von deduktiv und induktiv entwickelten Kategorien codiert und somit qualitativ analysiert wurde.

Die Ergebnisse legen nahe, dass die Art, wie sich Freizeitaktivitäten auf den Stress von freilebenden Hirschartigen auswirken, von vielen Faktoren bestimmt wird. Diese sind hauptsächlich die Art der Aktivität und der Kontext, in dem diese stattfinden. Die herausgearbeiteten Auswirkungen sind zum Großteil als negativ für die Tiere zu bewerten, da sie hauptsächlich zu Fluchtreaktionen führten. Allerdings können Aktivitäten unter manchen Bedingungen deren negative Beeinträchtigungen vermeiden, indem sie durch eine gewisse Regelmäßigkeit vorhersehbar werden. Damit können die Tiere mit diesen Aktivitäten rechnen und sich entsprechend anpassen (Habituation).

Konkrete Vorschläge für das Management lassen sich daraus ableiten, die im Fazit für die Praxis zusammengefasst sind. Die detaillierten Ergebnisse dieser Studie finden sich in Anlage 1:

Del Fuente Hering, P.S. 2019. Verhaltensreaktionen von Hirschartigen auf Freizeitaktivitäten – Eine Literaturstudie.

## 2.3. Aktivitätsmuster und Stressbelastung von Säugetieren

Raubtiere können für ihre Beute eine „Angstlandschaft“ (*landscape of fear*) schaffen, in der das Risiko erbeutet zu werden lokal sehr unterschiedlich ist. In den letzten Jahrzehnten ist eine Debatte darüber entstanden, ob der Mensch durch seine Jagdaktivitäten ebenso eine „Angstlandschaft“ für Wildtierarten schafft. Da die Jagd nicht die einzige menschliche Aktivität ist, die in Wildtierlebensräumen stattfinden kann, stellt sich die Frage, ob Wildtiere auch andere menschliche Aktivitäten als Prädationsrisiko wahrnehmen.

Zwischen November 2009 und Mai 2012 wurden an 28 Positionen Kamerafallen im Nationalpark Bayerischer Wald aufgestellt. Die Ergebnisse der Analyse der Kamerafallendaten zeigen deutlich, dass die Aktivitätsmuster stark vom Sonnenstand beeinflusst werden. Während Menschen und Fahrzeuge vor allem während der hellen Tageszeit aufgenommen wurden, waren alle Tierarten tendenziell in der Nacht aktiv. Für Rehe zeigte sich eine erhöhte Aktivität im direkten Anschluss an die Morgen- und Abenddämmerung. Bei Hirschen hingegen war das Maximum der Aktivität noch vor Sonnenaufgang bzw. nach Sonnenaufgang.

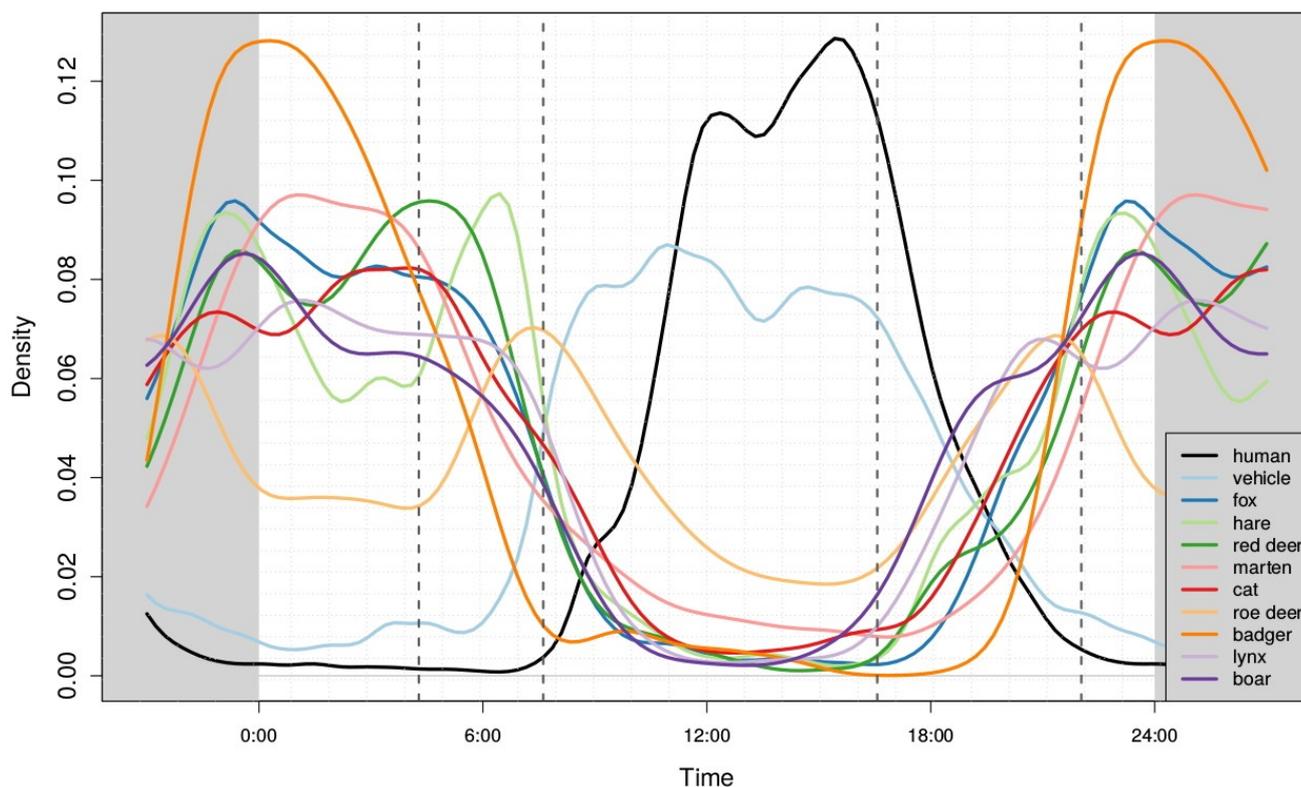


Abbildung 1 Tageszeitliche Aktivitätsphasen der beobachteten Tierarten. Gestrichelte Linien zeigt die maximale Zeitspanne der Dämmerung. Nur Menschen mit (blau) und ohne (schwarz) Auto nutzen das Tageslicht.

Eine Analyse des Zusammenhangs zwischen der Wahrscheinlichkeit einer Tieraufnahme und weiteren Effekten, wie zum Beispiel die Aufnahme eines Menschen, lieferten klare Ergebnisse in Bezug auf kleinskaliges Meidungsverhalten der Tiere. Eine deutliche Divergenz zwischen den zeitlichen Nutzungen der beobachteten Orte durch Tiere und Menschen lässt sich auf großer Skala nicht auf kleiner zeitlicher Skala feststellen. Menschen (inkl. Fahrzeuge) nutzen hauptsächlich tagsüber die Wege, Tiere nachts. Rehe zeigen allerdings die stärkste zeitliche Überlappung mit dem Menschen, während die Überlappung mit dem Luchs verglichen mit allen anderen Tierarten am geringsten war (bis auf Dachs), wenn auch noch recht hoch. Die generelle Vermeidung des Menschen durch die Tiere tagsüber ließ kein kurzzeitiges Meidungsverhalten feststellen. Selbst eine generell höhere Frequentierung der Wege tagsüber zeigte keinen Effekt auf die Überquerungswahrscheinlichkeiten an den unter-

suchten Orten. Die Analyse zeigt, dass die Meidung von Menschenkontakt auf der tageszeitlichen Skala über alle untersuchten Tierarten hinweg stattfindet.

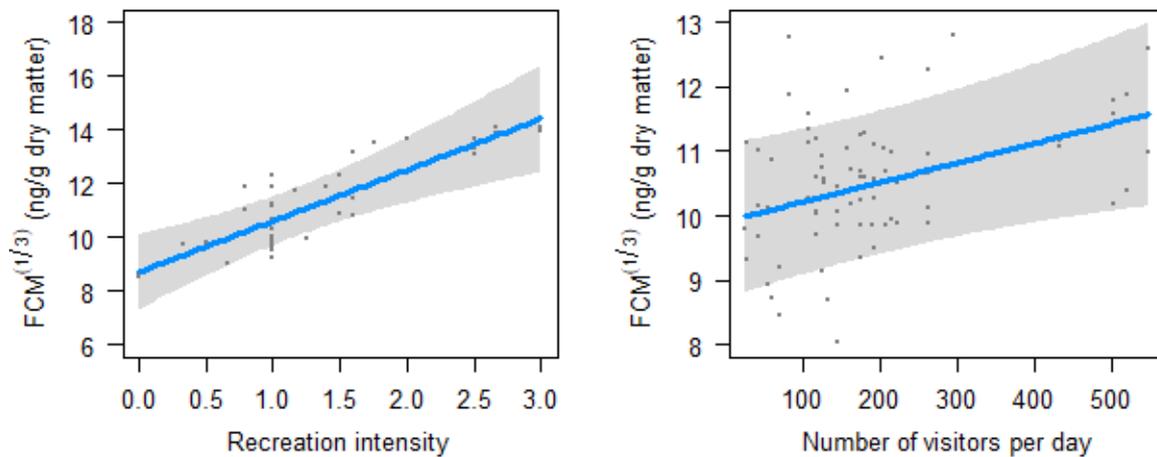


Abbildung 2 Links: Signifikanter Effekt der Erholungsintensität zur Erklärung der fäkalen Cortisol-Metaboliten (FCM)Konzentration. Die FCM-Konzentration stieg mit zunehmender Erholungsintensität. Der schattierte Bereich stellt das 95%-Konfidenzintervall dar, die grauen Punkte zeigen die Verteilung der Datenpunkte. Rechts: Signifikanter Effekt der Besucherzahlen zur Erklärung der fäkalen Cortisol-Metaboliten (FCM)Konzentration. Die FCM-Konzentration stieg mit steigenden Besucherzahlen. Der schattierte Bereich stellt das 95%ige Konfidenzintervall dar, die grauen Punkte zeigen die Verteilung der Datenpunkte.

Der Einfluss von Freizeitaktivitäten, Jagd und Holzeinschlag auf Rotwild wurden als potenzielle Faktoren für eine vom Menschen verursachte Angstlandschaft im Ökosystem Böhmerwald analysiert. Zu diesem Zweck wurde der Kot von 12 weiblichen Rothirschen (*Cervus elaphus*) von Juni bis November 2018 im Bayerischen Wald gesammelt und auf den Gehalt an fäkalen Cortisolmetaboliten (FCM) als Stressparameter und den Gehalt an fäkalem metabolischem Stickstoff (MFN) als Parameter der Futterqualität analysiert. Die FCM- und MFN-Werte stiegen mit zunehmender Erholungs- und Jagdintensität und sanken mit zunehmender forstwirtschaftlicher Aktivität. Die Erholung des Menschen hatte den stärksten Einfluss auf den Stress der Tiere, gefolgt von der Jagd.

Höhere FCM- und MFN-Werte in Gebieten mit hoher menschlicher Aktivität stehen im Einklang mit der Vorhersage, dass Tiere, die in gefährlichen Gebieten auf Nahrungssuche sind, gestress-ter und aufmerksamer sind, was zu einer kürzeren Nahrungssuche und damit zur Auswahl von qualitativ hochwertiger Nahrung führt. Die geringen Auswirkungen der forstlichen Maßnahmen sind wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die Eingriffe räumlich und zeitlich sehr begrenzt sind. Die Ergebnisse dieser Studie unterstreichen, wie wichtig es ist, die Freizeitgestaltung in den Managementplänen für Schutzgebiete zu berücksichtigen, da die Tiere durch die Anwesenheit des Menschen negativ beeinflusst werden können, auch wenn sie nicht bejagt werden.

Außerdem zeigt sie, dass neben der Analyse des zeitlich-räumlichen Verhaltens der Tiere auch die Analyse physiologischer Parameter wie FCM und MFN Aufschluss über eine vom Menschen verursachte Angstlandschaft geben kann. Die detaillierten Ergebnisse dieser Studie finden sich in Anlage

2: Sophie Kirberg. Do red deer (*Cervus elaphus*) perceive a human-induced “landscape of fear” in the Bohemian Forest Ecosystem? - New insights through the analysis of stress physiology and nutritional parameters.

Im Zuge des Projekts untersuchten wir Positionsdaten von GPS-besenderten Rehen und Hirschen im Nationalpark Bayerischer Wald. Wir analysierten das Bewegungsverhalten der Wildtiere, die zeitlich befristeter Jagd sowie permanentem Besucherdruck ausgesetzt sind, in Bezug auf Wegevermeidung zu verschiedenen Zeiten. Dabei berücksichtigten wir weitere Faktoren wie zum Beispiel Deckung und Nutzung der Wege und unterschieden zwischen Jagdsaison und Nicht-Jagdsaison, sowie zwischen Jagdgebiet und Nicht-Jagdgebiet.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass das Habitatwahlverhalten von Rotwild durch Jagd- und Freizeitaktivitäten negativ beeinflusst wird und dass Huftiere anthropogene Infrastrukturen noch stärker meiden, wenn beide Störungsquellen zusammen auftreten, was auf einen kumulativen Effekt hindeutet. Rotwild mied die Nähe von Wanderwegen in Zeiten intensiver Störungen, d.h. insbesondere tagsüber, wenn die Freizeitaktivitäten hoch waren und die Jäger aktiv waren. Während der Jagdsaison wurden die Wege auch außerhalb des Jagdgebiets gemieden. In der jagdfreien Zeit wurde jedoch in keinem Gebiet eine Meidung von Wegen beobachtet, wobei das Überqueren von Wegen stets vermieden wurde.

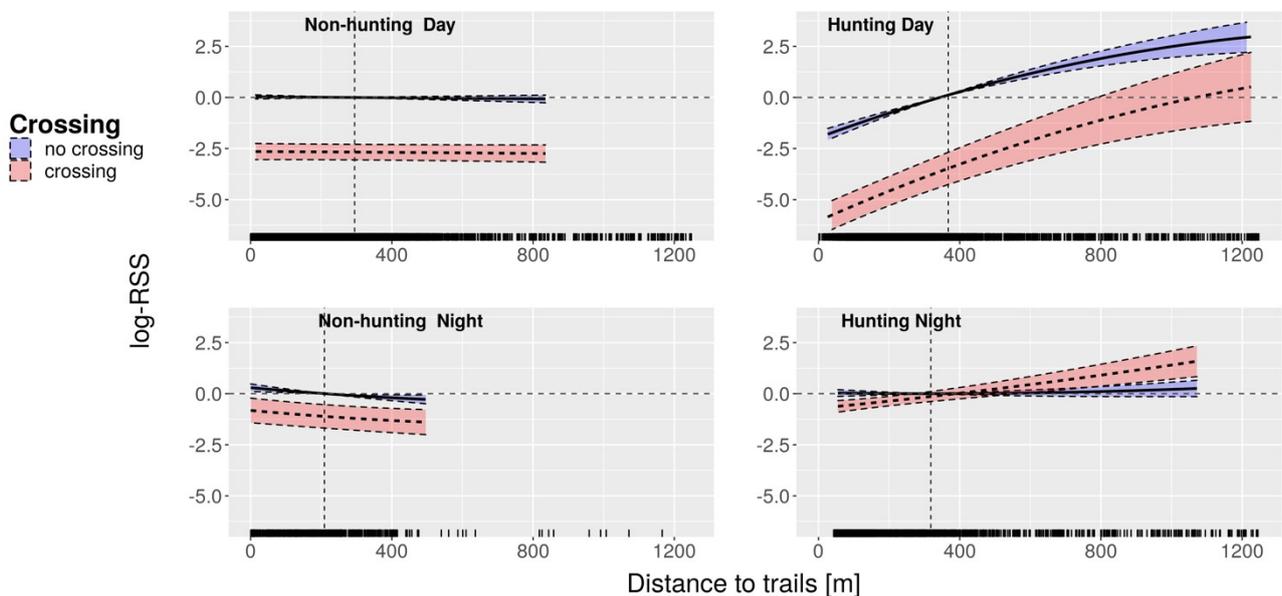


Abbildung 3 Die Auswirkung der Entfernung zu Wegen auf die relative Selektionswahrscheinlichkeit (log RSS) für Rotwild bei Tag (obere Reihe) und bei Nacht (untere Reihe), außerhalb (links) und während der Jagdsaison (rechts). Die unterschiedlich gefärbten Kurven geben die log-RSS für verschiedene Ereignisse an: gestrichelte Linien mit roten Vertrauensbereichen zeigen die Werte für die Bedingung, dass ein Rothirsch einen Weg überqueren musste, um einen Standort zu erreichen, solche mit blauen gelten für Rothirsch ohne Wegquerung.

Unsere Ergebnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass Wildtiere den Menschen als potentielle Gefahr wahrnehmen, auch wenn sie ihn nur zeitlich und örtlich begrenzt als Jäger erfahren, wobei sie augenscheinlich zwischen Zeiten und Orten mit erhöhter Gefahr und weniger Gefahr unterscheiden können. Damit trägt der Mensch maßgeblich zur Gestaltung der „Angstlandschaft“ bei. Dieses Erkenntnis muss in der Gestaltung von Managementmaßnahmen Einfluss nehmen, dahingehend, dass der Abschuss von Tieren möglichst unbeachtet von überlebenden Tieren stattfinden sollte.

Die detaillierten Ergebnisse dieser Studie finden sich in Anlage 5 und 6:

Dupke, C., Lamprecht, N., van Beeck Calkoen, S., Peters, A., Signer, J., Heurich, M. 2022. Hunting amplifies the effects of recreational activities on ungulate behaviour. Manuskript.

Und:

Lamprecht, N., Auswirkung der zeitlich-variierenden Nutzung unterschiedlicher Wegetypen durch Erholungssuchende auf die Habitatwahl von Schalenwild am Beispiel des Nationalpark Bayerischer Wald

## **Bewegungs- und Habitatnutzungsmuster von Luchsen, Gämsen, Rehen und Rothirschen**

In den letzten Jahren hat die Zahl der Freizeitaktivitäten in der Natur stetig zugenommen, insbesondere in den ursprünglichsten Gebieten, wie den Nationalparks. Dies wirft die Frage nach den möglichen Auswirkungen von Freizeitaktivitäten auf die im Park lebenden Wildtiere auf. Die größte Herausforderung für die Verwaltung von Nationalparks ist daher ein Gleichgewicht zwischen Tourismus und Naturschutz herzustellen. Um die Auswirkungen der Besucher auf die Tierwelt zu beurteilen, haben wir untersucht, wie sich die täglichen Besucherzahlen auf die Entfernungen der Alpengämse (*Rupicapra rupicapra*) und des Rothirsches (*Cervus elaphus*) zu Wanderwegen beeinflusst, in einem alpinen Gebiet, das seit über 100 Jahren streng geschützt ist, einschließlich eines Jagdverbots, und in dem keine großen Raubtiere leben.

Wir führten eine geografische und statistische Analyse durch, bei der wir die Informationen aus GPS-Positionen von 36 Gämsen und 20 Rothirschen mit Besucherzahlen und verschiedener umwelt- und individuenspezifischer Faktoren über einen Zeitraum von 9 Jahren im Rahmen eines additiven Modells in Beziehung setzten.

Die Ergebnisse deuten auf ein gewisses Maß an Stress hin, dem Gämsen und Rotwild ausgesetzt sind, aber im Vergleich zu anderen Einflüssen ist dieser nur sehr gering. Andere Umweltvariablen, z. B. die Höhenlage, scheinen die Entfernung und die Raumnutzung im Allgemeinen viel stärker zu beeinflussen. Zum Beispiel sind Gämsen eher an steilen Hängen und in Gebieten mit niedrigem NDVI und geringer Strahlung anzutreffen. Eine Frage, die wir beantworten wollten, ist, ob Gämse und Rot-

wild ein ähnliches oder unterschiedliches Verhalten in Bezug auf schwankende Besucherfrequenzen zeigen. Wir fanden gegensätzliche Auswirkungen für die Fangmethode und die Saisonalität. Für die Auswirkungen von Alter und Deckung ergaben unsere Modelle keine deutlichen Unterschiede. Außerdem erwarteten wir ein gewisses Maß an Gewöhnung an den Menschen, was vor allem auf größeren Zeitskalen, d. h. in der Lebensgeschichte einzelner Tiere, wichtig zu sein scheint. Auf der Skala einer Saison hingegen scheinen Veränderungen in der Verfügbarkeit von Futterressourcen die Unterschiede im räumlichen Verhalten besser zu erklären.

Aus Sicht des Besuchererlebens ist die Sichtbarkeit von Wildtieren der wichtigste Aspekt, den es zu berücksichtigen gilt. Die unmittelbare Begegnung mit großen Wildtierarten wie Gämsen und Rotwild ist eine der Hauptattraktionen des SNP. Daher sollten die Besucher die Möglichkeit haben, sie zu erleben. Die Sichtbarkeit im Park ist nach unseren Modellvorhersagen gut. Außerdem nutzen Gämse und Rotwild die Hänge der Täler, die in der Regel frei von dichter Vegetation sind.

Generell wird die Sichtbarkeit sowohl des Tieres als auch des Wanderers von der Tageszeit (Lichtverhältnisse), den Lebensraumeigenschaften (Vegetationsbedeckung), den Wetterbedingungen (Wolken), der relativen Position des Tieres und des Wanderers (Sehkraft), dem Gelände (Bedeckung, Hintergrundfarbe) und der Wildtierart selbst (auffällige Form, kontrastreiches Fell) beeinflusst. Aus dieser Aufzählung wird deutlich, dass die Entfernung von Wanderwegen nur ein Faktor von vielen ist, die die Sichtbarkeit eines Tieres ausmachen. Um Frustration zu vermeiden und das Erlebnis für die Besucher zu verbessern, könnte der SNP einen pädagogischen Ansatz verfolgen, indem er über besonders gute Bedingungen für die Beobachtung von Wildtieren informiert, die Verwendung von Ferngläsern empfiehlt und bestimmte Richtlinien für das Verhalten im Gelände hervorhebt, um die Auswirkungen auf die Tiere zu minimieren. Diese würden von einem rücksichtsvolleren Verhalten profitieren, da der Mensch zu Fuß als das größte Risiko im Vergleich zu anderen Störungsarten.

Die detaillierten Ergebnisse dieser Studie finden sich in der Anlage 3:

Jakob Viße, 2018. Investigating the effect of visitor frequency on ungulate distance to hiking trails in the Swiss National Park Msc Arbeit, Universität Freiburg.

Außerdem wurde untersucht, wie tolerant der Eurasische Luchs (*Lynx lynx*) gegenüber der menschlichen Anwesenheit ist. Dabei wurde analysiert, ob das lokale Besucherniveau einen Einfluss auf (a) die Zeit, die der Luchs bei erlegter Beute verbringt, sowohl in Bezug auf die Anzahl der Stunden pro Nacht als auch auf die Anzahl der Nächte (d. h. das Fressverhalten) und (b) die Auswahl der Tagesruheplätze hat. Darüber hinaus wurde geprüft, ob die einzelnen Verhaltensweisen von lokalen Habitatmerkmalen beeinflusst wurden, die eine geringe Zugänglichkeit für den Menschen und eine hohe Ve-

getationsbedeckung gewährleisten, sowie vom Grad der Ungestörtheit, der verschiedenen Teilen des Untersuchungsgebiets zugewiesen wurde. Schließlich haben wir die Auswirkungen dieser Variablen auf saisonale Veränderungen (Winter vs. Sommer) betrachtet. Während des gesamten Jahres war die Intensität und Häufigkeit der Erholungsnutzung negativ mit der Wahrscheinlichkeit korreliert, dass Luchse einen bestimmten Ort für die Tagesruhe nutzen würden, sowie mit der Anzahl der Stunden, die Luchse jede Nacht an der zuvor erlegten Beute verbrachten. Darüber hinaus korrelierten Habitatmerkmale, die Schutz bieten, positiv mit beiden Verhaltensweisen, und die Wahrscheinlichkeit, dass Luchse einen bestimmten Ort zum Ruhen am Tag nutzen, war innerhalb von Schutzgebieten höher als außerhalb. Schließlich korrelierte die Erholung nur im Winter (d. h. von Oktober bis April) negativ mit der Anzahl der Nächte, die Luchse bei ihrer zuvor erlegten Beute verbrachten.

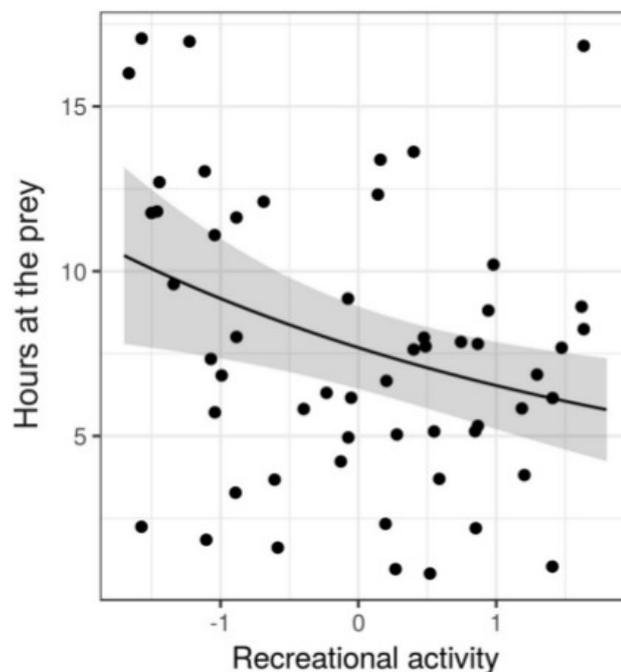


Abbildung 4 Beziehung zwischen der Anzahl der Stunden, die Luchse an der Beute (während einer einzigen Nacht) verbrachten, und der Intensität der Freizeitaktivitäten. Der schatterierte Bereich bezeichnet das 95%Konfidenzintervall.

Die detaillierten Ergebnisse dieser Studie finden sich in Anlage 4:

Belotti E., Mayer K., Kreisinger J., Heurich M. and Bufka L. (2018) Recreational activities affect resting site selection and foraging time of Eurasian lynx (*Lynx lynx*). *Hystrix* 29, 181-189.

In einer weiteren Studie wurden die von Mensch und Luchs ausgehenden Risiken für das Futtersuchverhalten von Huftieren verglichen, indem die Auswirkungen der Verbissintensität (auf zwei räumlichen Ebenen), der Nahrungsqualität und der Baumartenwahl untersucht wurden. Wir stellten die Hypothese auf, dass: (1) in Gebieten mit hoher Gefährdung durch Mensch und Luchs die Verbissintensi-

tät reduziert wird; (2) die Auswirkungen der Gefährdung mit der Sichtbarkeit des Lebensraums auf einer feinen Skala interagieren, was zu unterschiedlichen Verbissmustern als Reaktion auf die Gefährdung durch Mensch und Luchs führt; (3) Huftiere die höheren Kosten, die in Gebieten mit hoher Gefährdung anfallen, durch eine höhere Nahrungsqualität kompensieren und (4) einen höheren Anteil an bevorzugten Baumarten verbeißen. Diese Hypothesen wurden durch die Messung der Verbissintensität entlang von 48 Transekten in unterschiedlichen Entfernungen von menschlichen Siedlungen in den bejagten und nicht bejagten Gebieten des Bayerischen Waldes überprüft. Dungproben wurden gesammelt und analysiert, um die Qualität der Nahrung (C:N-Verhältnis, Faser) zu bestimmen. Die räumlichen Muster der Verbissintensität, der Nahrungsqualität und der Baumartenwahl wurden dann mit dem Luchsrisiko, der Jagdintensität, der Tourismusintensität und der Entfernung zu menschlichen Siedlungen in Verbindung gebracht. Unsere Ergebnisse zeigen, dass (1) die Verbissintensität mit zunehmender Freizeitaktivität stark abnahm, während sie mit dem Luchsrisiko anstieg; (2) nur in unmittelbarer Nähe menschlicher Siedlungen war der Baumverbiss in dichten Lebensräumen höher und (3) die Qualität der Nahrung besser. Schließlich (4) wurde in Gebieten mit hoher Jagdintensität eine stärkere Vermeidung der weniger bevorzugten Baumarten festgestellt. Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Risikoeffekte menschlicher Aktivitäten die eines natürlichen Großraubtiers überwiegen. Damit wird deutlich, wie wichtig es ist, diese Aktivitäten bei der Vorhersage der Auswirkungen von Großraubtieren auf Huftiere und deren Auswahl an pflanzlicher Nahrung zu berücksichtigen.

Die detaillierten Ergebnisse dieser Studie finden sich in Anlage 7:

van Beeck Calkoen S. T., Deis M. H., Oeser J., Kuijper D. P. and Heurich M. (2022) Humans rather than Eurasian lynx (*Lynx lynx*) shape ungulate browsing patterns in a temperate forest. *Ecosphere*, in press.

## **2.4. Optimierung von Entscheidungen zur touristischen Infrastruktur**

### **2.4.1 Forschungsansätze zum Wildtiermonitoring**

Das Wildtiermonitoring dient der Überwachung von Wildtierarten hinsichtlich ihrer Bestandsgrößen, räumlichen Verbreitung, Geschlechterverteilung und Altersstruktur. Die Vielfalt an Möglichkeiten zur Überwachung der Tiere ist groß, angefangen bei der digitalen Datenerhebung durch das Wildtier-Informationssystem der Länder Deutschlands (WILD, (Baudach et al., 2021), über die Analyse genetischer Daten (Holderegger et al., 2019) und den Einsatz von Kamerafallen (Fiderer et al., 2021), hin zu

GPS-basierten Positionssendern an Wildtieren (Cagnacci et al., 2010). Nicht nur die Datengewinnung ist mittlerweile technisch vielfach erprobt. Dank einer großen Forschergemeinschaft und ihres intensiven Austauschs wurden viele Probleme der Anfangszeit durchdacht und Lösungen präsentiert, wie zum Beispiel für das Datenmanagement (Urbano et al., 2021) oder für die Auswertung der Daten (Signer et al., 2019a).

Dank dieser Auswertungsmethoden erlauben uns die Daten, Erkenntnisse zum Tierverhalten zu gewinnen und Aussagen zu treffen über ihr Raum-Zeit-Verhalten (Dupke et al., 2016), auch in Abhängigkeit von menschlichen Störungen (Ladle et al., 2019, Scholten et al., 2018), und schließlich wertvolle und damit zu schützende Bereiche zu identifizieren (Signer et al., 2019b, Belotti et al., 2018). Die daraus gewonnenen Habitatmodelle bzw. Karten über das Vorkommen besonders schützenswerter Tierarten (Oeser et al., 2020) können als Grundlage für die Steuerung von Maßnahmen in Schutzgebieten herangezogen werden. Die zeitliche und räumliche Auflösung dieser Habitatmodelle kann entsprechend der Fragestellung beliebig kleinskalig gewählt werden und damit an die hochaufgelösten Modelle angepasst werden, die das Besuchsaufkommen beschreiben.

## **2.4.2 Analyse der Daten des Besuchermonitorings**

Das Wissen über die zeitlich-räumliche Verteilung der Tiere kann mit dem Wissen über die Besucher-Verteilung in den Schutzgebieten kombiniert werden, um lokal angepasste Managementmaßnahmen zu treffen. Diese Informationen liegen allerdings den Nationalparks meist nicht in der notwendigen räumlichen und zeitlichen Auflösung vor (Dupke et al., 2019). Hier zeigen wir, wie trotzdem Informationen über das Raum-Zeit-Verhalten der Besucher generiert werden können.

Wo sich Besucher aufhalten, kann über klassische Befragungen, Zählgeräte an fest installierten Punkten oder über variabel aufstellbare Kamerafallen ermittelt werden (Muhar et al., 2002). Die gewonnenen Daten können in GIS Software visualisiert und anschließend mit Hilfe statistischer Werkzeuge hinsichtlich allgemeiner Muster ausgewertet werden. Um den Besucherdruck in einem Wegenetz eines beliebigen Gebiets abbilden zu können, müssen die Zählpunkte an hinreichend vielen Positionen am Wegenetz aufgestellt werden. Anschließend werden diese Aufnahmen in Datentabellen übersetzt, die für jede Aufnahme Informationen über die Art der Nutzung (z.B. für Fotofallen Einzelperson, Wandergruppe, Reiter, Radfahrer, motorisiert, ...), den Aufnahmezeitpunkt (Datum, Uhrzeit) und den Aufnahmeort enthält. Die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von Störungsereignissen lassen sich zunächst in einem Modell in Abhängigkeit von der Zeit (Jahreszeit, Wochentag, Uhrzeit, Feiertag) und anderen erklärenden Faktoren wie z.B. Wetter (mittlere Tagestemperatur, Niederschlagsmenge, etc.), sowie mit dem Ort assoziierte Variablen (Entfernung zum Parkplatz oder Gastronomie, Meereshöhe, etc.) schätzen. Dieses Modell kann dann genutzt werden, um für einen bestimm-

ten Zeitpunkt (und konkrete Werte für die verwendeten Modellvariablen) eine Schätzung für die mittlere Besucherzahl an den verschiedenen Orten zu liefern. Diese Modelle bieten einen großen Erkenntnisgewinn, da sie formal beschreiben, welche Faktoren wie stark dazu beitragen, dass die Besuchszahlen im Gebiet schwanken. Außerdem können sie genutzt werden, um Prognosen zu erstellen (s.u.).

### **2.4.2.1 Interpolation auf das Wegenetz**

Die Punktschätzungen aus den vorher beschriebenen Modellen lassen sich mit Hilfe von geostatistischen Verfahren auf das gesamte Wegenetz interpolieren (Ladle et al. 2017). Mit Hilfe des Network-based ordinary krigings wird für jeden beliebigen Ort im Wegenetz die zu erwartende Besucherzahl geschätzt. Dabei gilt das Prinzip der räumlichen Autokorrelation: je näher ein Ort zu einem anderen ist, desto ähnlicher sind sie sich in Bezug auf eine räumliche Variable, hier die Anzahl der Besucher. Anders als beim herkömmlichen Kriging wird aber nicht die euklidische Distanz verwendet, sondern die Distanz im Wegenetz. In einer Anwendung dieser räumlichen Besucherdruck-Schätzung in den Rocky Mountains zeigen Ladle et al. (2019), dass Braunbären tatsächlich nicht allein auf das Vorhandensein von Wegen reagierten, sondern auch auf die Stärke und Art der menschlichen Aktivität.

Den von Ladle et al. (2017) vorgestellten Ansatz verfolgten wir für das Wegenetz des NPBWs. Wir konnten auf Daten zurückgreifen, die im Rahmen des Luchsprojektes des Nationalparks gewonnen wurden (Palmero et al., 2021). Dafür wurden seit 2013 insgesamt 23 Kameras am Wegesrand aufgestellt, die nicht nur Wildtiere sondern ebenfalls die vorbeigehenden Besucher aufnahmen. Außerdem wurden ab 2013 im Nationalpark an 19 Standorten Besucherzählstationen aufgestellt, die die Besucher elektronisch zählten. Auf Grundlage dieser Daten wurde zunächst ein Modell erstellt, das die Schwankungen der Besuchszahlen über die Zeit erklären sollte. Als Prädiktoren nutzen wir Informationen über Wochentag, Feiertag, Niederschlag, Temperatur, Jahreszeit, Eigenschaften des Weges (geteert, Schotter, Erdweg, ...), Entfernung zur nächstgelegenen Berghütte, zum Parkplatz, eine Attraktion (Quelle: Open Street Map), der Anstieg des Weges und die Meereshöhe. Das Modell lieferte dann Vorhersagen für das gesamte Wegenetz.

Anschließend wurde ein Variogramm berechnet. Dies schätzt die Autokorrelation der Besuchszahlen über das Wegenetz in Abhängigkeit von der Entfernung. Ladle et al. (2017) definierten die Entfernung zwischen zwei Orten als kürzeste euklidische Distanz über das Wegenetz. Wir nahmen eine weitere Distanzmetrik hinzu, nämlich die Anzahl der Wegekrenzungen auf dem Weg zwischen zwei Orten, da wir annahmen, dass eine Änderung der Besuchszahlen zwischen zwei Orten nur dann zu erwarten ist, wenn die Besucher auch die Möglichkeiten haben den Weg zu verlassen. Allerdings lie-

ferte auch die Berücksichtigung der räumlichen Autokorrelation, die diese Variogramme darstellen, keine Verbesserung des Modells.

### 2.4.2.2 Nutzung von Online-Daten

Weitere Datenquellen zu den Aufenthalten von Besuchern liefern Online-Plattformen wie zum Beispiel Flickr oder Instagram, über die günstig Informationen über den Aufenthalt von Menschen an bestimmten Orten gesammelt werden können. In einer Übersichtsstudie zur Nutzung von online-verfügbaren Daten zur Analyse von Touristenverhalten schlussfolgern da Mota and Pickering (2020), dass digitale Plattformen mit Hilfe von automatisierten Prozessen hervorragende Datenquellen in der Erforschung von Besucherverhalten darstellen. Neben punktuellen Schätzungen der Besuchszahlen, können dadurch auch Routen der Besucher analysiert werden. Diese können ergänzt werden durch Daten aus Tourenportalen wie Komoot oder Outdooractive. Anhand der Routenverläufe, die von Nutzern bei der Ausübung ihrer Aktivitäten aufgezeichnet werden, können Bewegungsmuster nachvollzogen und Nutzungsschwerpunkte auf der gesamten Fläche eines Schutzgebietes identifiziert werden .

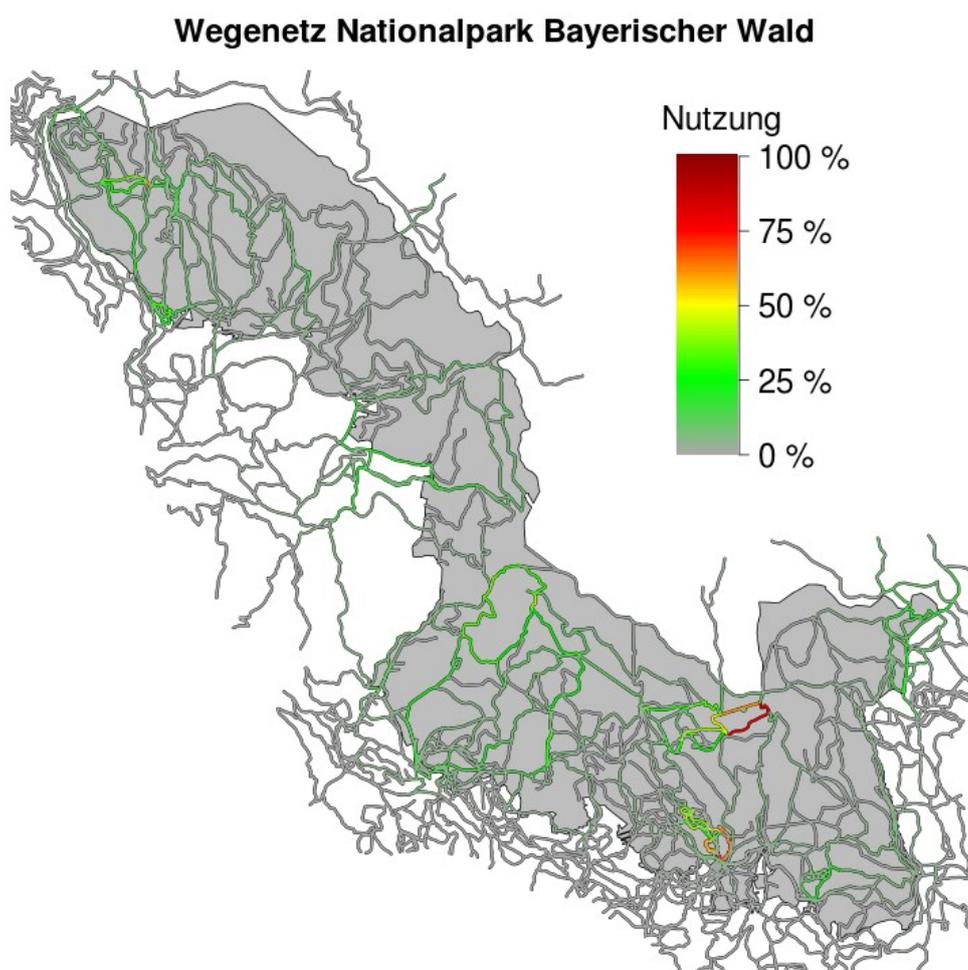


Abbildung 5 Wegenutzung im Nationalpark Bayerischer Wald auf Grundlage von Daten aus Routenportalen.

Routendaten von drei Online-Tourenportalen (GPSies, Komoot und Outdooractive) wurden verwendet, um das Verhalten der Besucher im NPBW nachzuvollziehen. Die im Studiengebiet verlaufenden Routen wurden als GPX-Datei sowie eine Tabelle mit zusätzlichen Informationen (z.B. Name der Tour, Länge, Erstellungsdatum) gespeichert. Personenbezogene Daten wurden nicht erhoben.

Anbieter	Anzahl der Strecken im Park	url
gpsies	1066	www.alltrails.com
Komoot community	2484	www.komoot.de
Komoot smart	344	www.komoot.de
Outdooractive	449	www.outdooractive.de
Gesamt	4921	

Die Daten wurden statistisch auf zwei Entscheidungs-Hierarchieebenen ausgewertet. Die erste Analyseebene untersuchte die allgemeine Nutzung der Wege im NPBW. Dafür wurden die Eigenschaften der genutzten Wege mit nicht gewählten aber von genutzten Kreuzungen abgehenden Wegen, verglichen. Hier wurden logistische Regressionsmodelle verwendet. Diese Modelle beschreiben die allgemeine Nutzung der Wege im NPBW. In einem zweiten Schritt (zweite Entscheidungsebene) wurden routenweise diejenigen Wege, die von dem Besucher an Kreuzungen gewählt wurden, mit denen, die nicht gewählt wurden, verglichen. Diese Analyse erforderte ein konditional logistisches Modell mit einem zufälligen Effekt für jeden Besucher. Diese Ergebnisse beschreiben das Entscheidungsverhalten der Besucher, wobei sich Rückschlüsse auf die allgemeine Wegenutzung ziehen lassen. Außerdem wurden diejenigen Wege gesondert analysiert, mit denen die Besucher ihre Tour begonnen haben.

### **2.4.2.3 Agenten-basierte Modellierung des Besucherverhaltens**

Eine weitere Möglichkeit Besucherströme nachzuvollziehen, sind Agenten-basierte Modelle (ABMs). ABMs werden verwendet, um komplexe Systeme besser zu verstehen. Dabei werden mit Hilfe von wenigen angenommenen Regeln die zu Grunde liegenden Prozesse eines Systems nachgebaut (Grimm and Railsback, 2005). Die Objekte (oder Agenten) des Systems werden hinsichtlich ihrer Eigenschaften, Fähigkeiten und Interaktionen definiert und in einer Software implementiert. Ein regelbasierter Algorithmus simuliert dann das Zusammenspiel der Objekte, woraus sich das Systemverhalten in Abhängigkeit von problemorientierten Rahmenbedingungen analysieren lässt. Anwendungsfelder sind die Simulation von Pandemieausbreitungen (Priesemann et al., 2021) oder Verkehrsflüsse in großen Metropolen (Buliung and Kanaroglou, 2007).

ABMs wurden vereinzelt auch in der Analyse von Touristenverhalten verwendet (Nicholls et al., 2017). Dabei sind die Besucher eines Gebiets die Agenten, die sich in Abhängigkeit ihres Typs (z.B.

Wandern, Rad-, Skifahren), Fähigkeiten (z.B. schnell/langsam) und persönlichen Interessen (Restaurant/Naturerlebnis) individuell durch das zu untersuchende Gebiet bewegen. Das Ergebnis ist eine prognostizierte zeitlich-variiierende Raumnutzung. Die Prognose basiert stets auf vorher gemachten Annahmen, wie zum Beispiel die mittlere Anzahl der Besucher oder die räumliche Verteilung der Start- und Verweilpunkte, die anhand der Daten aus dem Besuchermonitoring ermittelt werden können. So lässt sich zum Beispiel die Wegenutzung in Abhängigkeit von Jahreszeiten oder Wochentagen punktuell und für das gesamte Wegenetz vorhersagen. Ob die Regeln gut oder schlecht getroffen wurden, lässt sich mit Hilfe bereits vorhandener Daten feststellen. Einem gut validierten Modell geht meist ein zeitaufwändiger Kalibrierungsprozess voran, in dem alle einzustellenden Parameter so eingegrenzt werden, dass die Vorhersage des Modells von den echten Daten hinreichend wenig abweichen. Mit einem akzeptierten, gut kalibrierten Modell lassen sich dann auch die Auswirkungen von Änderungen des Wegenetzes auf die Wegenutzung analysieren.

Wir entwickelten ein ABM für Besucher im NPBW, das während einer Simulation die Störungen durch Besucher quantifizierte und implementierten es in der Modellierungs- und Simulationsentwicklungsumgebung GAMA zur Erstellung räumlich expliziter agentenbasierter Simulationen (<http://gama-platform.org>). Eine detaillierte Beschreibung des Modells ist im Anhang zu finden (Anhang 9). Die Validierung der Vorhersagen erfolgte mit den Zählraten der Besucherzählgeräte.

## **2.4.3 Ergebnisse**

### **2.4.3.1 Interpolation auf das Wegenetz**

Die Schwankungen der Besuchszahlen ließen sich vor allem durch Informationen über Wochenende, Feiertag, Niederschlag, Tagesmitteltemperatur und Jahreszeit erklären (Abb. 6). Während des Wochenendes, an den Feiertagen und im Sommer und Herbst waren die Besuchszahlen an den untersuchten Orten höher als zu den restlichen Zeiten (Abb. 6 und 7).

Mit zunehmendem Niederschlag nahmen die Besuchszahlen ab. Bei einem Tagesniederschlag (zwischen 8 und 20 Uhr) von mehr als 0.5mm wurden nur noch ca. 1/3 der Besuchszahlen ermittelt im Vergleich zu Tagen, an denen es nicht regnete. Bezogen auf die Temperatur gibt es ein Maximum bei 20°C, bei dem fast doppelt so viele Besucher im Park unterwegs sind im Vergleich als bei 10°C. Liegt die Temperatur unter 0°C beträgt die geschätzte Besucherzahl nur die Hälfte der Zahl im Vergleich zu 10°C Außentemperatur.

Im Jahresverlauf schwanken die Besuchszahlen enorm. Hohes Besuchsaufkommen ist im Winter und im Frühherbst zu verzeichnen, während im frühen Frühjahr und am Ende des Herbsts die Besuchszahlen geringer sind. Geographische Information über den Weg, an dem gezählt wurde, wie zum Beispiel der Anstieg, die Beschaffenheit des Weges, Meereshöhe oder die Entfernung zu wichti-

gen Punkten wie Hütten, Parkplatz oder Attraktion hatten auf die durch die Zählgeräte ermittelten Besuchszahlen kaum einen Einfluss.

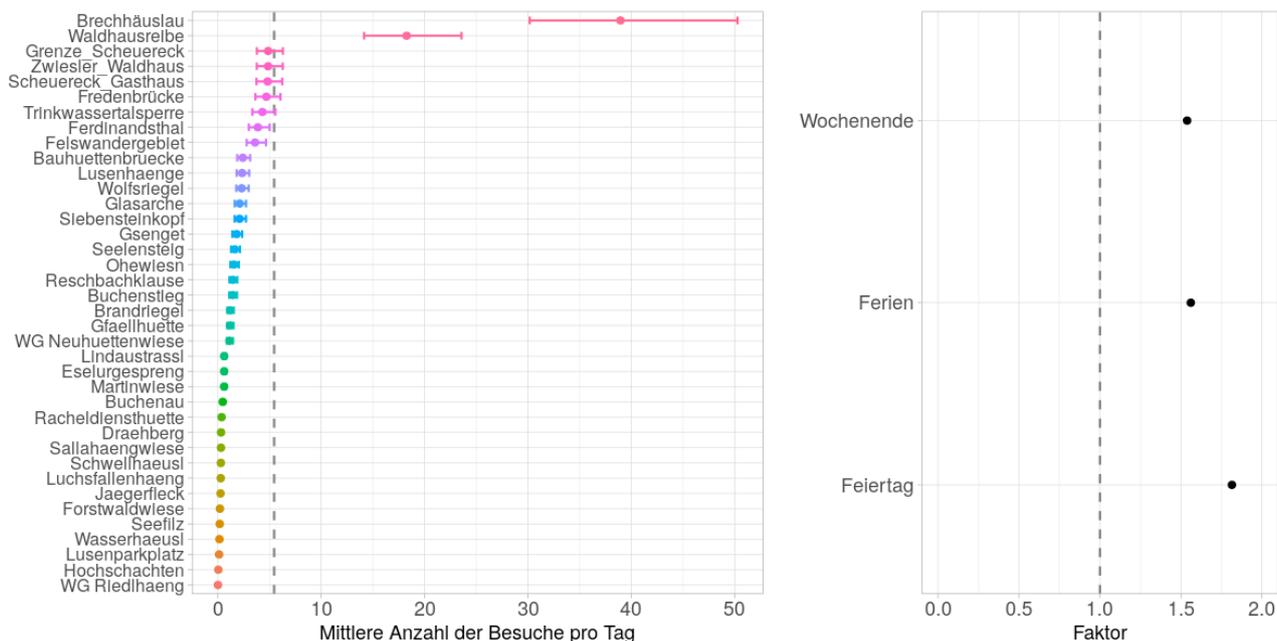


Abbildung 6 Stärke des Einflusses (x-Achse) der Variablen (y-Achse) auf die Schwankungen der Besuchszahlen auf Grundlage der Zählgeräte. Die linke Seite zeigt die geschätzten mittlere Besuchszahl für die einzelnen Zählstationen pro Tag. Rechts werden der Faktor angezeigt, um wie viel die Besuchszahlen beim Eintreten des Ereignisses sich erhöhen. Da der Wert für alle Ereignisse (Wochenende, Ferien und Feiertag) größer als 1 ist, erhöhen diese Ereignisse die Besuchszahlen um den jeweiligen Faktor, z.B. am Wochenende um den Faktor 1,5.

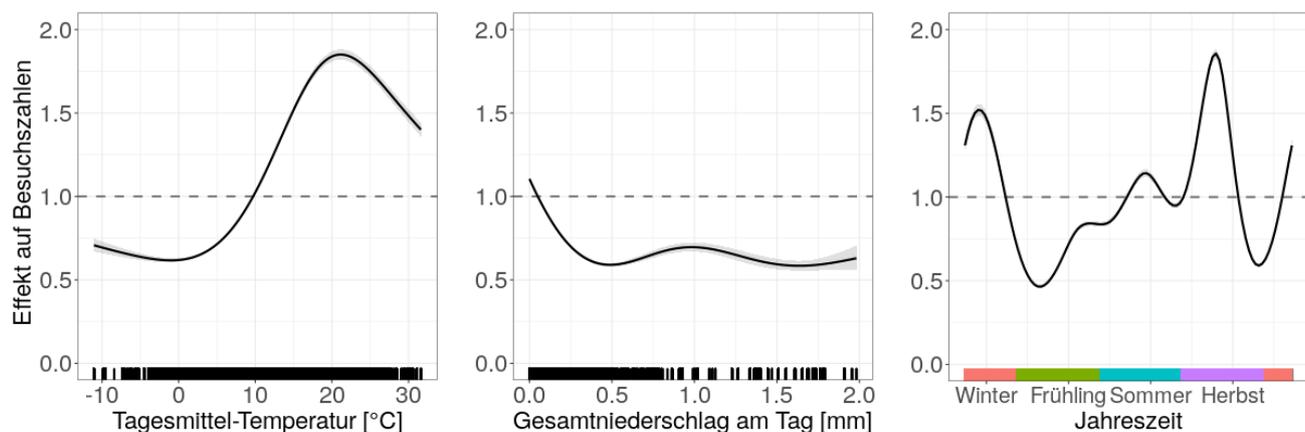


Abbildung 7 Veranschaulichung der Effekte, die einen Einfluss auf die Schwankungen der Besuchszahlen im Nationalpark Bayerischer Wald haben auf Grundlage der Zählgeräte. Ist der Wert (y-Achse) für eine Variable größer als 1 erhöht sich die geschätzte mittlere Anzahl der Besucher um diesen Faktor. Ist der Wert kleiner als 1 verringert sich die Schätzung um diesen Faktor. Zum Beispiel lässt sich in der ersten Graphik ablesen, dass fast doppelt so viele Besucher im Park sind, wenn die Temperatur ca. 20°C beträgt im Vergleich zu 10°C. Ist es hingegen kälter als 0°C sind nur ca. halb so viele Besucher im Park im Vergleich zu der Situation mit 10 °C. Sobald es regnet (mittlere Graphik) reduziert sich die Besucherzahl. Der Schwankungen der Besuchszahlen im Jahresverlauf lassen sich in der rechten Graphik ablesen.

Das empirische Variogramm zeigte keinen nachvollziehbaren Effekt der Entfernungen (euklidisch oder Anzahl Wegkreuzungen) auf die Ähnlichkeiten in den Vorhersagen der Besuchszahlen. Das bedeutet, dass die Modelle für die Berechnung der Autokorrelation nicht hilfreich waren. Für die Schätzung der übrigen, nicht untersuchten Wegsegmente wurde daher nur eine geringe räumliche Autokorrelation verwendet, so dass die erklärenden Variablen aus dem zeitlichen Modell die Vorhersagen dominieren. So nutzten wir die Modelle, um räumliche und zeitliche Vorhersagen der Wegenutzung für das komplette Wegenetz zu berechnen. Die wenigen unserer Analyse zugrundeliegenden Daten konnten leider nur sehr schlecht durch die Modelle angenähert werden, so dass auch die Vorhersagen bislang nicht überzeugen können.

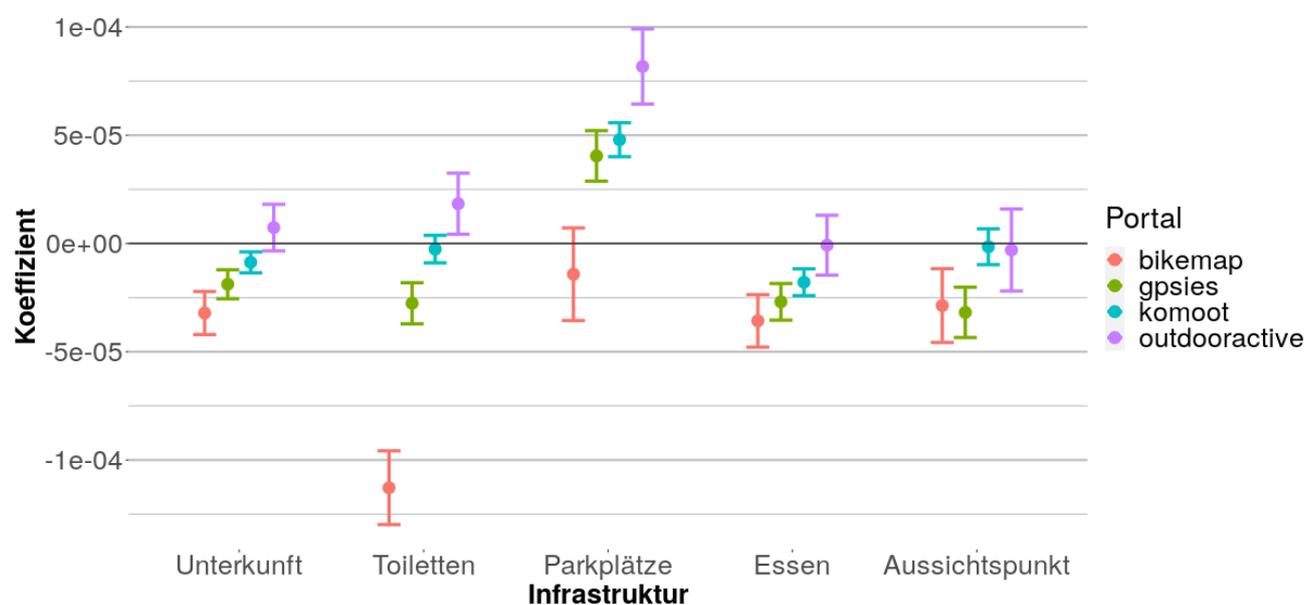


Abbildung 8 Vorlieben (Koeffizient < 0) und Abneigung (> 0) von Besuchern für Infrastruktur im Nationalpark Bayerischer Wald, basierend auf Daten aus vier verschiedenen Routenportalen. Die Fehlerbalken zeigen das 95%-Konfidenzintervall des Schätzers an. Der jeweilige Koeffizient gibt an, wie stark die Entfernung einer jeweiligen Infrastruktur die Anzahl der Besuche an einem Ort beeinflusst. Zum Beispiel sagt ein negativer Koeffizient aus, dass in der Nähe von Unterkünften mit vielen bikemap-Nutzern zu rechnen ist. Es gibt z.T. deutliche Unterschiede zwischen den Routenportalen.

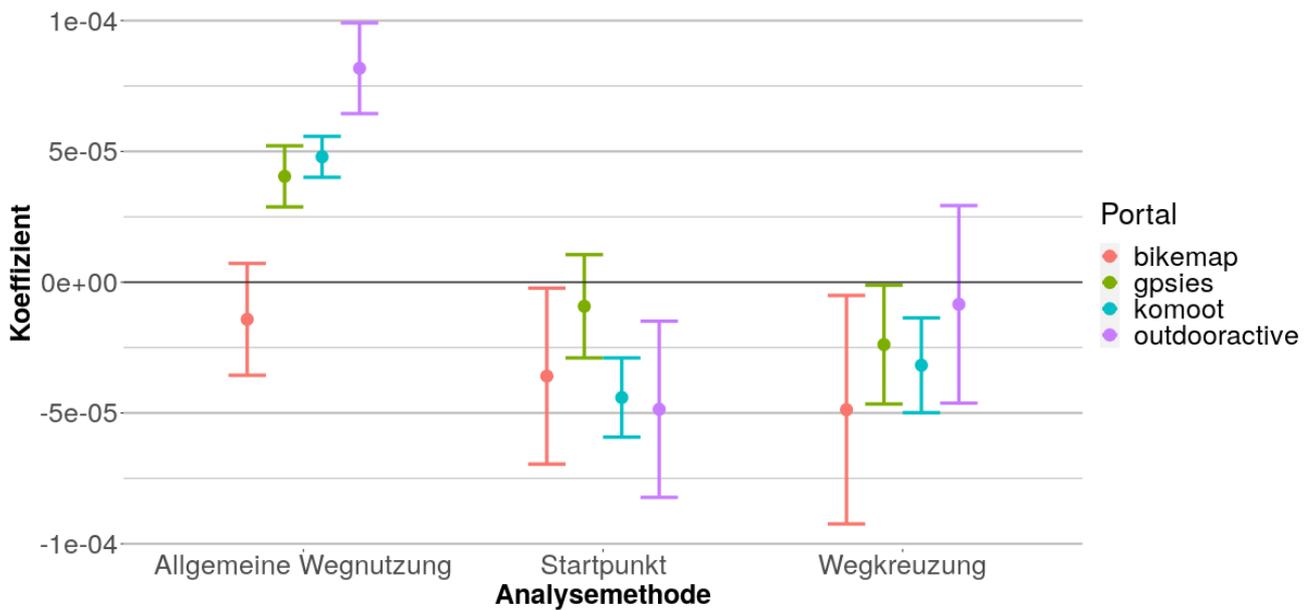


Abbildung 9 Einfluss der Parkplatznähe. Parkplätze beeinflussen die Ortswahl der Besucher auf unterschiedliche Weise. Während die Startpunkte von Routen sehr nah zu Parkplätzen liegen (negativer Koeffizient), halten sich die meisten Besucher eher weiter entfernt von Parkplätzen auf. Wobei Letzteres nicht auf die Nutzer von bikemap zutrifft.

### 2.4.3.2 Nutzung von Online-Daten

Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass die Besucher sich tendenziell in der Nähe zu Unterkünften und bewirtschafteten Hütten aufhielten (Abb. 8). Bushaltestellen, Attraktionen, Parkplätze und Toiletten hatten einen anziehenden Einfluss auf die Besucher. Die Stärke der Anziehung unterschied sich zwischen den Nutzern der verschiedenen Portale. Lange Wegsegmente wurden von den Besuchern gemieden (außer von Nutzern von outdooractive). Allgemein werden die Kamm- und Gipfellagen im NPBW lieber besucht und Gegenden mit großen Anstiegen gemieden. Wege, die durch eine geringe Baumdeckung und damit einer besseren Aussicht charakterisiert sind, wurden intensiver genutzt als Wege mit einer hohen Waldbedeckung.

### 2.4.3.3 Agenten-basierte Modellvorhersagen

Der Vergleich der beobachteten und simulierten Zählraten an den Positionen der Zählgeräte ergab, dass für manche Orte die Besuchszahlen gut simuliert werden. Allerdings bilden die Modellregeln noch unzureichend das Besucherverhalten im gesamten Gebiet des NPBW ab. Da wir keine Informationen über die Verteilung der Startpositionen der Besucher hatten und auch nicht wussten, wie sehr sich die Beliebtheit verschiedener Rundwege unterscheidet, gab es bereits bei der Initialisierung große Unsicherheiten. Durch die wenigen Stützstellen (Zählorte im Park) war die Kalibrierung des Modells daher nur unzureichend möglich. Im Anhang 9 ist eine Simulation zur Veranschaulichung des Modells hinterlegt.

Hier stellten wir drei komplementäre Ansätze vor, wie Besucherdruck ermittelt werden kann. Den von Ladle et al. (2017) beschriebenen Ansatz zur Schätzung des zeitlich-räumlichen variierenden Besucherdrucks halten wir für am erfolgversprechendsten. Ein engmaschigeres räumliches Monitoring würde genauere Schätzungen ermöglichen und die Vorhersagen ließen sich besser validieren. Ladle et al. (2017) deckte zum Beispiel mit insgesamt 116 Kameras ein Gebiet von 2824 km<sup>2</sup> ab, das eine Wegedichte von ca. 1,17km/km<sup>2</sup> aufweist. Dabei wurden über 2,5 Jahre insgesamt 238 Standorte zu unterschiedlichen Zeiten überwacht. Auf den NP BW übertragen, würde das die Überwachung von 60 Standorten bedeuten. Zusätzlich zur Bewegungsüberwachung im Gebiet müsste die Auslastung von Parkplätzen stichprobenartig dokumentiert werden, um mehr über die räumlich-zeitliche Verteilung der Startpunkte der Besucher zu erfahren.

Die Nutzung von online verfügbaren Daten über Routenportale halten wir ebenfalls für gewinnbringend für das Besuchermonitoring, da eine Erfassung von zusammenhängenden Bewegungsmustern auf der gesamten Fläche eines Schutzgebietes möglich ist. Im Vergleich hierzu können Zählgeräte und Fotofallen nur punktuell Daten sammeln. Zudem liefern die steigenden Nutzerzahlen der Portale und der starke Zuwachs an Touren einen großen Stichprobenumfang (Muñoz et al., 2019)(Ghermandi and Sinclair, 2019). Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die Auswahl der Nutzer dieser Portale vermutlich nicht repräsentativ für die gesamte Besucherschaft des Nationalparks ist, denn die Apps werden tendenziell von jüngeren Menschen genutzt (da Mota and Pickering, 2020). Damit ergibt sich eine Verzerrung hin zu bestimmten Nutzergruppen, die abhängig vom Publikum der jeweiligen Online-Plattformen variieren kann (Ghermandi and Sinclair, 2019). Schließlich müssen hier, wie auch bei den Kamerazählungen, stets Datenschutzbelange berücksichtigt werden. Dafür müssen personalisierte Informationen anonymisiert und pseudonymisiert werden, was allerdings technisch einfach umzusetzen ist. Perspektivisch ließen sich weitere Quellen von verfügbaren Daten nutzen, zum Beispiel Mobilfunkdaten, Social Media oder Webcams (Pencarelli, 2020). Denkbar wären auch Smart Devices und eine entsprechende Sensorik, zum Beispiel in Form von GPS-Trackern, die zufällig an Besucher des Nationalparks ausgeteilt werden und damit repräsentative Besucherpfade liefern würden (Muñoz et al., 2019), (Bielanski et al., 2018).

Regelbasierte Bewegungssimulationen durch ABMs scheinen sehr vielversprechend. Beispiele aus der Verkehrsplanung zeigen, dass Praktikern ein mächtiges Managementwerkzeug in die Hand bekämen (Buliung and Kanaroglou, 2007). Jedoch ist der Modellierungsprozess mit Modellstrukturfestlegung, Implementierung, Kalibrierung und letztlich die Kommunikation sehr (zeit)aufwändig. Diese Schritte sind aber eine Voraussetzung für die Plausibilität und den Nutzen des Modells. Außerdem muss bedacht werden, dass Prognosen auf einem Modell beruhen, das die Realität mit nur sehr

wenigen einfachen Regeln beschreibt und daher unberücksichtigte Aspekte nicht abgebildet werden können. Ein ABM wird stets für eine spezifische Fragestellung erstellt. Das heißt, dass es kaum generalisierbar ist und daher nicht zwingend für eine abgewandelte Fragestellung genutzt werden kann. Außerdem ist die Aussagekraft eines ABMs stark von der Beschaffenheit der genutzten Daten abhängig (Priesemann et al., 2021). Unser Modell unterschied beispielsweise zwischen Wanderern, die einen Rundweg gingen und anderen, die eine Attraktion zielgerichtet besuchten. Aus den Ergebnissen ließ sich ablesen, dass der Anteil der Rundwegwanderer eher gering ist. Eine genauere Eingrenzung des Anteils war aber aufgrund der Datenlage nicht möglich. Wir glauben, dass gegenwärtig der Aufwand den Nutzen nicht rechtfertigt, da unser Verständnis über die Motivationen der Besucher und die Datenlage unzureichend ist. Perspektivisch kann es aber zu einem sehr hilfreichen Werkzeug werden (Nicholls et al., 2017).

Das Management in Wirtschaftsunternehmen wird zunehmend durch Methoden des Operations Research unterstützt. Die Entscheidungsfindung erfolgt dabei auf Grundlage von mathematischen Modellen. Auch im Naturschutz werden immer häufiger mathematische Methoden genutzt, um verschiedene Maßnahmen miteinander auf Grundlage von entwickelten Metriken zu vergleichen (Billionnet, 2013). Allerdings werden die Ergebnisse nur in der Wissenschaft diskutiert. Der Transfer in die Praxis findet oft nicht statt, obwohl datenbasierte Entscheidungen im Management von Schutzgebieten objektiv und leichter zu evaluieren wären. Die dafür nötigen Schritte wurden in den vorherigen Absätzen vorgestellt und evaluiert.

### **3. Zusammenfassung der Ergebnisse**

Im Zuge dieses Projektes wurde geprüft, ob und wie stark das Verhalten von Wildtieren im Schweizerischen Nationalpark und im Nationalpark Bayerischer Wald durch menschliche Störungen beeinflusst wird und wie sich die unterschiedlichen Störquellen auswirken. Die beiden Nationalparke waren sehr gut für diese Studie geeignet, da im Nationalpark Bayerischer Wald verschiedene Störquellen wie Wanderwege, Radwege, öffentliche Straßen, Siedlungen und Wildtiermanagementzonen mit Bejagung und Betriebsarbeiten in unterschiedlichen Intensitäten und Kombinationen auftreten. Für den Nationalpark Bayerischer Wald wurden die Tierarten Luchs, Rothirsch, Reh, Auerhuhn, Fuchs, Feldhase und Baumrardner untersucht. Der Schweizerische Nationalpark ist wiederum ein Schutzgebiet der Kategorie 1a gemäß IUCN in dem menschliche Einflüsse strikt kontrolliert und auf das Wandern auf Wegen reduziert sind. Hier wurden die Tierarten Rothirsch und Gämsen untersucht.

Dazu wurden Hypothesen überprüft, die im Folgenden genannt und auf Grundlage unserer Analysen hinsichtlich ihrer Triftigkeit und ihrer Praxisrelevanz diskutiert werden.

### *Hypothese 1:*

Bereiche mit einer hohen Wanderwegedichte und stark frequentierte Wanderwege werden von Wildtieren am Tag stärker gemieden als nachts. Dabei ist das Ausweichverhalten an Tagen mit einer höheren Besucheranzahl (Feiertage/Wochenenden) stärker ausgeprägt.

Ganz deutlich war die Meidung von Wegen während des Tages ausgeprägt. Das fanden wir für alle untersuchten Tierarten. Orte in der Nähe von Wegen wurden am Tag stark gemieden, während diese in der Nacht verstärkt aufgesucht wurden. Das heißt, dass Orte zu Zeiten größerer Störungen gemieden werden, während Orte mit denselben Bedingungen zu Zeiten geringerer oder keiner menschlichen Störungen aufgesucht werden. Während zum Beispiel Rehe und Rothirsche tagsüber die Nähe von Wanderwegen meiden, deutet die große Auswahl von Orten in der Nähe von Wanderwegen in der Nacht auf eine hohe Attraktivität dieser Orte für Rehe und Hirsche hin, die zuvor durch menschliche Störungen blockiert waren. Das Muster des Meidens von Wegen am Tag und des Aufsuchens von Wegen in der Nacht ist umgekehrt zu den tageszeitlichen Schwankungen menschlicher Störungen

Außerdem nehmen die Tiere Wege als Hindernisse wahr, da sie einen Ort seltener aufsuchen, wenn sie einen Weg zum Erreichen dieses Ortes kreuzen müssen. Dies gilt für alle Tageszeiten. Unsere Ergebnisse unterstreichen die Auswirkungen menschlicher Störungen auf das räumlich-zeitliche Verhalten der Rehe und Hirsche. Die Tatsache, dass Wege im Allgemeinen gemieden wurden, wenn menschliche Störungen vorhanden waren, und sogar als Bewegungsbarrieren angesehen wurden, führt zu Lebensraumverlust und -fragmentierung, sowie zur Abänderung des natürlichen Bewegungsverhaltens. Während unsere Ergebnisse hauptsächlich eine kurzfristige Verlagerung von Standorten aufgrund menschlicher Störungen zeigen, konnten wir keine weiteren Auswirkungen eines veränderten räumlich-zeitlichen Verhaltens von Rehen auf Ökosystemprozesse und andere trophische Ebenen analysieren. Es hat sich jedoch gezeigt, dass Wanderwege die effektive Entfernung zwischen verschiedenen Bereichen erhöhen und somit Wildtiere die Bewegungen zwischen den Bereichen reduzieren, was zu einer suboptimalen Effizienz bei der Nahrungssuche und zur Verarmung der Nahrungsgründe führen könnte (Beyer et al., 2016). Folglich tragen Wanderwege erheblich zur Verteilung des Verbissdrucks bei, wobei in der Nähe der Wanderwege weniger Bäume verbissen werden (Möst et al., 2015). Ein verändertes Nahrungs- und Bewegungsverhalten kann sich auch auf den Transport von Nährstoffen und Samen auswirken, wodurch sich Pflanzengemeinschaften verändern und die Ansiedlung von Pflanzen und die Verbreitung von Arten beeinflusst werden könnten.

### *Hypothese 2:*

Straßen und Radwege haben einen geringeren Effekt auf das Raum-Zeit-Verhalten von Wildtieren als Wanderwege, da die Tiere nicht direkt mit Menschen konfrontiert werden.

Wir konnten für Rothirschen und Rehe im Nationalpark Bayerischer Wald diese These testen und kamen zu dem Ergebnis, dass das Meidungsverhalten gegenüber Wegen beeinflusst wird durch deren Nutzungsart. Wege, die hauptsächlich von Fahrrädern befahren werden dürfen, wurden weniger gemieden als Wege, die nur von Wanderern genutzt werden. Für dieses Ergebnis gibt es zwei Erklärungsansätze. Zum einen sind durch die höhere Geschwindigkeit von Fahrrad und Autos, die Menschen nicht mehr für die Tiere als Zweibeiner und damit als potentielle Gefahr erkennbar. Zum anderen haben Wanderer häufig Hunde dabei, die klar als Gefahr erkannt werden können..

### *Hypothese 3:*

Gebiete in der Nähe von Siedlungen werden von Raubtieren stärker als von ihren Beutetieren gemieden, so dass sich dort Rückzugsgebiete für Beutetiere bilden.

Sowohl der Mensch als auch Großraubtiere spielen eine wichtige Rolle bei der Strukturierung von Waldökosystemen, da sie die Abundanz und das Verhalten von Huftieren und damit auch die Abundanz und Vielfalt von Waldpflanzen beeinflussen. Unsere Ergebnisse zeigten, dass die Verbissintensität auf Landschaftsebene mit zunehmender Intensität der Erholungsaktivitäten abnahm und tendenziell mit der Jagdintensität sank, während sie mit zunehmendem Luchsrisiko anstieg. Darüber hinaus war die Verbissintensität in dichteren Lebensräumen höher, und in unmittelbarer Nähe menschlicher Siedlungen wurde zudem eine höhere Nahrungsqualität gefunden. Schließlich stellten wir fest, dass die weniger bevorzugten Baumarten in Gebieten mit höherer Jagdintensität stärker gemieden wurden, während bei den bevorzugten Baumarten kein Unterschied festgestellt wurde. Da die zunehmende Verbissintensität im Verhältnis zum Luchsrisiko darauf hindeutet, dass Rehe Landschaftsteile mit höherem (wahrgenommenem) Luchsrisiko nicht meiden, zeigen unsere Ergebnisse, dass die wahrgenommenen Risikoeffekte menschlicher Aktivitäten bei der Beeinflussung des Futter-suchverhaltens von Rot- und Rehwild offenbar stärker ins Gewicht fallen als die des natürlichen Großraubtiers. Sie sprechen auch für die Notwendigkeit einer Reduzierung menschlicher Aktivitäten in strengeren Schutzgebieten wie Nationalparks, da deren wachsende Besucherzahlen und die Intensität menschlicher Aktivitäten im Widerspruch zu ihrem Hauptziel stehen, nämlich der Ermöglichung möglichst wenig von Menschen beeinflussten ökologischen Prozesse,

### *Hypothese 4:*

Im Managementbereich des Nationalparks, wo der Abschuss von Wildtieren stattfindet, sind die Reaktionen der Tiere stärker als in der Naturzone.

Diese Hypothese wird dadurch gestützt, dass Wege innerhalb des Jagdgebiets und während der Jagdsaison gemieden wurden, wobei außerhalb der Jagdsaison nur eine sehr geringe Meidung durch Rothirsche stattfand. Dies könnte in unserem Untersuchungsgebiet besonders ausgeprägt sein, da die Jagdzone einen schmalen Bereich entlang der Parkgrenze zur deutschen Seite hin abdeckt und es den Tieren somit ermöglicht, sich zu Zeiten mit höherem Risiko, d. h. tagsüber, in eine relativ große jagdfreie Kernzone zurückzuziehen. Daraus folgt, dass Hirsche, die der Jagd nicht ausgesetzt sind, wahrscheinlich eine größere Nähe zu nicht-tödlichen menschlichen Störungen tolerieren würden. Eine räumliche Vermeidung von Störungen ist in unserem Gebiet auch deshalb möglich, weil der Park eine relativ niedrige Rotwildsdichte aufweist und der Wettbewerb zwischen den Individuen um die Reviere wahrscheinlich gering ist.

#### *Hypothese 5:*

Die räumliche Anordnung von deckungsreichen Habitatstrukturen beeinflusst das Meidungsverhalten und die Aktivität von Wildtieren.

Im Allgemeinen wurden in der Nacht Standorte mit geringer Deckung von Rehen und Rothirschen im Nationalpark Bayerischer Wald stärker aufgesucht als Standorte mit hoher Deckung. Dieses Verhalten der Tiere könnte auf das potenziell größere Angebot an nährstoffreichem Futter an Standorten mit geringerer Deckung zurückzuführen sein, da sich die Tiere im Sommer und Herbst (der untersuchten Jahreszeiten) hauptsächlich von Gras und Kräutern ernähren. In Übereinstimmung mit unserer Hypothese fanden wir eine Auswirkung des Bewuchses auf die Entfernung der Rehe und Hirsche zu den Wanderwegen, wobei Standorte mit hohem Bewuchs im Vergleich zu Standorten ohne Unterwuchs bevorzugt ausgewählt wurden. Die erhöhte Deckung milderte jedoch die insgesamt störende und abstoßende Wirkung von Wanderwegen in Zeiten starker Störungen kaum. Dies bedeutet, dass auch stark bewachsene Wege in hohem Maße gemieden wurden.

#### *Hypothese 6:*

Mit Hilfe von Methoden der mathematischen Optimierung können Entscheidungen über die Durchführung von Infrastrukturprojekten in Nationalparks unterstützt werden.

Mit diesem Projekt konnten wir zeigen, dass technisch und methodisch alle Werkzeuge zur Verfügung stehen, um bestehenden Konflikte zwischen der ansteigenden Nachfrage in der Erholungsnutzung und dem allgemeinen Arten- und Prozessschutz analysieren zu können. Die Analysen werden zu einem erheblichen Fortschritt im Verständnis der Wechselwirkungen zwischen menschlichen Störungen und Wildtieren führen, aus denen sich konkrete Handlungsempfehlungen ableiten lassen. Mit Hilfe geostatistischer Verfahren und Individuen-basierter Modellierung lassen

sich verschiedene Handlungsoptionen bewerten und damit die Entscheidungsfindung im Management von Schutzgebieten optimieren.

## 4. Fazit für die Praxis

In Anbetracht der Ergebnisse dieser, aber auch früherer Studien auf dem Gebiet der Erholungsökologie sowie der Tatsache, dass Erholungsaktivitäten in Schutzgebieten weltweit zunehmen, halten wir es für wichtig, Managementmaßnahmen zur Abschwächung der negativen Auswirkungen von Erholungsaktivitäten auf Wildtiere auszuweiten, um die Koexistenz zwischen Erholungssuchenden und Wildtieren langfristig zu gewährleisten

Für Wildtiere, die in Nationalparks und anderen Schutzgebieten Störungen durch intensive menschliche Aktivitäten ausgesetzt sind, sollte jede zusätzliche Art von Störung auf ein Minimum beschränkt werden, um die daraus resultierenden Verhaltensanpassungen der Tiere möglichst zu vermeiden. Dies erfordert die räumliche und zeitliche Einschränkung der Jagd sowie die Einführung strengerer Regeln für Wanderer und Radfahrer, z. B. die Verpflichtung, auf den Wegen zu bleiben, und ein Übernachtungsverbot. Zwar ist über den Effekt nächtlicher Störung noch nichts bekannt, aber die von uns dargelegten Reaktionen auf Besucher legen eine Beeinträchtigung nahe, die deshalb vorsorglich in Schutzgebieten eingeschränkt sein sollte. Da wir festgestellt haben, dass sich Wanderwege deutlich negativ auf die Bewegung von Wildtieren und die Nutzung von Lebensräumen auswirken, sollte die Wegedichte so gering wie möglich gehalten werden, damit sich Wildtiere so ungehindert wie möglich bewegen können und genügend ungestörter Lebensraum zur Verfügung steht.

Ein weiterer wichtiger Faktor, der für ein erfolgreiches Wildtiermanagement berücksichtigt werden sollte, ist die Sensibilisierung der Besucher für die Störungen, die ihre Aktivitäten für Wildtiere darstellen. Oft ist das Bewusstsein der Besucher eher gering, was dazu führen kann, dass der Druck auf die Wildtiere durch falsches oder unachtsames Verhalten zunimmt. Der Einsatz von Ranger oder Führungsleitern hat sich bewährt, sowie Umweltbildungsangebote.

Bei der Planung von Maßnahmen sollten die Ausgangsbedingungen jedes Gebietes beachtet werden. Hiermit sind beispielsweise Jagdgeschichte und Nutzungsgeschichte gemeint. Diese geben ein klares Bild von den bisherigen Erfahrungen der Tiere mit Menschen. Damit können Schutzmaßnahmen und Erlebbarkeitsangebote anhand dieser evaluierten Erfahrungen sinnvoll gestaltet werden. Außerdem sollten Aktivitäten regelmäßig, in räumlichen und zeitlichen Rahmen stattfinden. Dies schafft Vorhersehbarkeit für die Tiere und somit führt dies zu Gewöhnungen der Tiere an menschliche Aktivitäten. Dabei sinken die Stressreaktionen der Tiere und dies wiederum ermöglicht den Menschen eine bessere Erlebbarkeit. Dies kann durch Regulierung der zeitlichen und räumlichen Ausbreitung der Aktivitäten durchgeführt werden.

Zeitliche Beschränkungen: Der angebotene Zugang zu den Standorten, wo Hirschartige zu sehen sind (Erlebbarkeitsangebote), sollte an die Zyklen der Tiere angepasst werden. Das bedeutet, dass zeitliche Einschränkungen mit den natürlichen Ruhezeiten (Nachtruhe, Winterruhe) übereinstimmen sollten, um Störungen zu vermeiden.

In Bezug auf den Luchs schlagen wir vor, dass die potenziellen Auswirkungen weiterhin besser untersucht und bei der Steuerung der Freizeitaktivitäten in Schutzgebieten berücksichtigt werden sollten. Insbesondere muss sichergestellt werden, dass eine ausreichende Anzahl von Gebieten, vor allem solche, die von Natur aus für die Tagesruhe geeignet sind, von menschlichen Störungen freigehalten werden. Dies kann dadurch erreicht werden, dass eine angemessene Wegedichte beibehalten wird, die räumliche Verteilung bekannter Rastplätze bei der Planung und dem Bau neuer Wege berücksichtigt wird und Besucher wirksam daran gehindert werden, markierte Wege in weiten Teilen der Schutzgebiete zu verlassen. Schließlich schlagen wir vor, dass die Erhaltung von Lebensräumen, die sich durch einen hohen Grad an schützender Deckung auszeichnen (z. B. Stellen mit dichtem Gebüsch), als den negativen Druck abschwächende Maßnahme dienen kann, insbesondere an Orten, an denen sich die Erholungssuchenden konzentrieren und/oder die Hänge nicht sehr steil sind. Wo immer möglich, sollte dies auch in Wirtschaftswäldern in der Umgebung von Schutzgebieten geschehen, da sich ökologische Prozesse, die in benachbarten Gebieten ablaufen, häufig gegenseitig beeinflussen und die Erhaltung von Arten mit großen Raumansprüchen im Allgemeinen nicht allein auf Schutzgebiete gestützt werden kann.

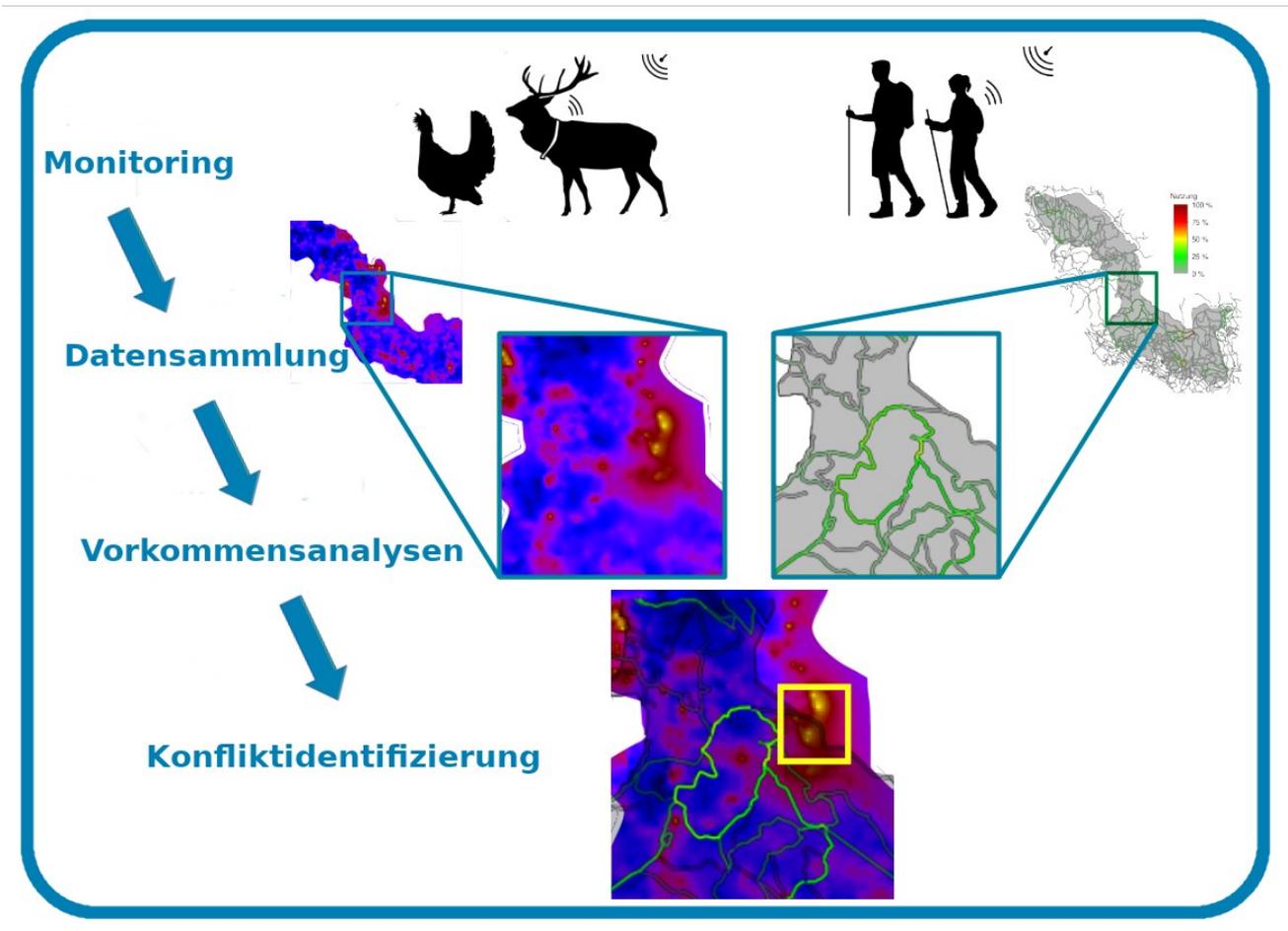


Abbildung 10 Schematischer Ablauf der Schritte zur Umsetzung der Methoden des Operations Research im Naturschutz.

Das Management in Wirtschaftsunternehmen wird zunehmend durch Methoden des Operations Research unterstützt. Die Entscheidungsfindung erfolgt dabei auf Grundlage von mathematischen Modellen. Um die Methoden des Operations Research auch in naturschutzfachlichen Fragestellungen zu nutzen, wären folgende Schritte notwendig:

1. Die Sammlung ausreichender Informationen über das Tierverhalten und das Verhalten der Menschen.
2. Mit den oben beschriebenen Verfahren ließen sich Habitatmodelle bzw. Vorkommenskarten über besonders sensible Tierarten erstellen und
3. räumliche bzw. zeitliche Konflikte mit der menschlichen Nutzung identifizieren.
4. Ausgehend von dem durch die Modellierung erworbenen Wissen sollten konkrete Handlungsoptionen erarbeitet werden, die die Konflikte abmildern könnten.
5. Diese Optionen können hinsichtlich ihres Störungspotenzial auf Grundlage der Vorkommenskarten mit Hilfe von geostatistischen Verfahren evaluiert werden.

- Schließlich ließen sich mit Hilfe von agentenbasierter Modellierung verschiedene Szenarien und die Auswirkungen von Maßnahmen bereits vor der Umsetzung objektiv bewerten.

## **5. Diskussion der Zielerreichung des Projektes**

### **5.1. Arbeitspaket I: Erhebung von Grundlageninformationen aus Praxis und Forschung**

Am Beginn des Projektes wurde wie geplant eine Abfrage bei den deutschen Nationalparkverwaltungen über deren Vorgehensweise bei Planungen zur Erholungsnutzung und deren Informationsbedarf über den Einfluss menschlicherer Störungen auf Wildtiere durchgeführt. Die Ergebnisse der Umfrage und die Implikationen für die Praxis sind im dem bereits international veröffentlichten Artikel mit dem Titel „Does public participation shift German national park priorities away from nature conservation?“ zusammengefasst und einer internationalen Öffentlichkeit zugänglich gemacht worden. Der Artikel ist dem Endbericht beigelegt.

Außerdem wurde, wie geplant, ein systematisches Literaturreview durchgeführt werden. Dabei ist eine Bachelorarbeit entstanden mit dem Titel „Verhaltensreaktionen von Hirschartigen auf Freizeitaktivitäten – Eine Literaturstudie“. Ein weiteres Manuskript, das die bisherige Literatur zusammenfasst befindet sich in der Fertigstellung und wird diesem Bericht nachgereicht.

### **5.2. Arbeitspaket II: Aktivitätsmuster und Stressbelastung von Säugetieren**

In diesem Arbeitspaket wurden, wie im Antrag angekündigt, Kamerafallendaten ausgewertet, ein Konzept für die Wiederholung von Fotofallenaufnahmen entwickelt und umgesetzt. Außerdem wurden gezielt Losungsproben in einem Störungsgradienten gesammelt und anschließend die darin enthaltenen Cortisolmetaboliten untersucht. Die Ergebnisse dieser Analyse befinden sich in der Masterarbeit „Do red deer (*Cervus elaphus*) perceive a human induced “landscape of fear” in the Bohemian Forest Ecosystem? - New insights through the analysis of stress physiology and nutritional parameters“.

### **5.3. Arbeitspaket III: Bewegungs- und Habitatnutzungsmuster von Luchsen, Gämsen, Rehen und Rothirschen**

Die Satellitentelemetrie erlaubte eine genaue Analyse des raum-zeitlichen Verhaltens der besenderten Tiere. Hier wurden aus dem Nationalpark Bayerischer Wald Daten von Luchsen, Rehen und Rothirschen, aus dem Schweizerischen Nationalpark Daten von Gämsen und Rothirschen verwendet. Mit den Telemetriedaten war es möglich, den täglichen Bewegungs- und Aktivitätsverlauf der Tiere zu erfassen und mit den Störungen durch menschliche Aktivitäten zu vergleichen. Mit den Ergebnissen der Analysen konnten wir einen Großteil unserer im Antrag formulierten Hypothesen testen. Dabei entstanden drei Masterarbeiten, die dem Bericht beigegefügt sind. Leider konnten wir die Stärke der Meidung von Wegen nicht mit der Frequentierung der Wege vergleichen, da uns hier zu wenig Daten zur Wegenutzung durch Besucher vorlagen.

### **5.4. Arbeitspaket IV: Optimierung von Entscheidungen zur touristischen Infrastruktur**

Die Übertragung und der Einsatz von Methoden aus dem betriebswirtschaftlichen Management „Operations research“ auf Probleme im Naturschutz sollte in diesem Projekt ausprobiert und gegebenenfalls Praktikern zur Verfügung gestellt werden. Allerdings stellte sich heraus, dass die Datenbasis fehlt, um die vielen Entscheidungsprozesse sowohl der Tiere als auch der Nationalparkbesucher halbwegs sinnvoll abzubilden. Die Erfassung von Besuchern wird in Zukunft intensiver erfolgen, und unsere Auswertung haben gezeigt, dass wir so in absehbarer Zeit ein besseres Verständnis für die Wegenutzung erarbeiten können.

## **6. Öffentlichkeitsarbeit**

Im Rahmen dieses Projektes wurden vier Vorträge der Öffentlichkeit vorgestellt.

- Eurodeer Treffen 25-27.06.2018 in Sant'Antonio Valfurva, Italy
- BfN-Projekttreffen „Schalenwildmonitoring in den deutschen Nationalparks“ 16.-17.01.2020 in Bad Wildungen (Eifel)
- Jahrestreffen AG Forschung Monitoring 2021 ausgerichtet von Nationale Naturlandschaften e.V. vom 02.-03.09. 2021 (online)
- Forschungskolloquium 7.-8.10.2021 im Haus zur Wildnis (Bayerischer Wald)

Aus der Arbeit dieses Projektes sind bislang fünf wissenschaftliche Manuskripte erstellt worden, deren Inhalt in diesem Bericht wiedergegeben wird und die sich in der Anlage 1, 5, 6, 8 und 10 befinden. Die Manuskripte wurden bereits teilweise bei internationalen wissenschaftlichen Zeitschriften eingereicht oder sollen in naher Zukunft eingereicht werden. In den Manuskripten wird jeweils auf die Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt hingewiesen. Bei Annahme eines Manuskriptes zur Publikation, wird diese Arbeit der Deutschen Bundesstiftung Umwelt jeweils als PDF-Datei zur Verfügung gestellt. In Zukunft sind noch weitere Publikationen aus dem Projekt zu erwarten, diese werden nach Publikation ebenfalls der Deutschen Bundesstiftung Umwelt zur Verfügung gestellt.

## **7. Ausblick**

Die vorgestellten Ergebnisse machen deutlich, dass vor allem Daten zum räumlichen Besucherverhalten fehlen. Als Konsequenz dieses Projekts wurde vom Nationalpark Bayerischer Wald ein neues Besuchermonitoring aufgesetzt, um genau diese fehlenden Informationen zu sammeln. Im Kontext des vorliegenden Projekts wird dort durch Kamerafallen untersucht, wie sich die verschiedenen Freizeitaktivitäten auf die Nutzung von Wanderwegen durch Wildtiere auswirken. Im Rahmen des Luchsmonitoringprogramms wurden bereits 25 Wildkamas in der Nähe von Straßen aufgestellt. Diese Kameras werden im Rahmen dieses Projekts durch 60 Kameras ergänzt, die zusätzlich in der Nähe von Wanderwegen aufgestellt werden. Komplementär zu den Kameras an den Wanderwegen wird jeweils eine zusätzliche Waldkamera in 50 m Entfernung eingesetzt.

## 8. Literatur

- Baudach F., Greiser G., Martin I. and Ponick W. (2021) Status und Entwicklung ausgewählter Wildtierarten in Deutschland. Jahresbericht 2019. In: Wildtier-Informationssystem der Länder Deutschlands (WILD), Deutscher Jagdverband.
- Belotti E., Mayer K., Kreisinger J., Heurich M. and Bufka L. (2018) Recreational activities affect resting site selection and foraging time of Eurasian lynx (*Lynx lynx*). *Hystrix* 29, 181-189.
- Beyer H. L., Gurarie E., Börger L., Panzacchi M., Basille M., Herfindal I., Van Moorter B., R Lele S. and Matthiopoulos J. (2016) 'You shall not pass!': Quantifying barrier permeability and proximity avoidance by animals. *J. Anim. Ecol.* 85, 43-53.
- Bielanski M., Taczanowska K., Muhar A., Adamski P., González L.-M. and Witkowski Z. (2018) Application of GPS tracking for monitoring spatially unconstrained outdoor recreational activities in protected areas--A case study of ski touring in the Tatra National Park, Poland. *Applied Geography* 96, 51-65.
- Billionnet A. (2013) Mathematical optimization ideas for biodiversity conservation. *Eur. J. Oper. Res.* 231, 514-534.
- Bonnot N. C., Courriot O., Berger A., Cagnacci F., Ciuti S., de Groeve J. E., Gehr B., Heurich M., Kjellander P., Kröschel M., Morellet N., Sönichsen L. and Hewison A. J. M. (2020) Fear of the dark? Contrasting impacts of humans versus lynx on diel activity of roe deer across Europe. *J. Anim. Ecol.* 89, 132-145.
- Buliung R. N. and Kanaroglou P. S. (2007) Activity--travel behaviour research: conceptual issues, state of the art, and emerging perspectives on behavioural analysis and simulation modelling. *Transp. Rev.* 27, 151-187.
- Cagnacci F., Boitani L., Powell R. A. and Boyce M. S. (2010) Theme Issue "Challenges and opportunities of using GPS-based location data in animal ecology" – Introduction. *Philos. Trans. R. Soc. B* 365, 2157-2162.
- Coppes J., Burghardt F., Hagen R., Suchant R. and Braunisch V. (2017) Human recreation affects spatio-temporal habitat use patterns in red deer (*Cervus elaphus*). *PLoS one* 12, e0175134.
- De Dominicis S., Schultz P. and Bonaiuto M. (2017) Protecting the environment for self-interested reasons: Altruism is not the only pathway to sustainability. *Frontiers in Psychology* 8, 1065.
- Dupke C., Bonenfant C., Reineking B., Hable R., Zeppenfeld T., Ewald M. and Heurich M. (2017) Habitat selection by a large herbivore at multiple spatial and temporal scales is primarily governed by food resources. *Ecography*, 40, 1014-1027.

- Dupke C., Dormann C. F. and Heurich M. (2019) Does public participation shift German national park priorities away from nature conservation? *Environ. Conserv.* 46, 84-91.
- EUROPARC and IUCN (2000) Richtlinien für Managementkategorien von Schutzgebieten - Interpretation und Anwendung der Management Kategorien in Europa. EUROPARC und WCPA.
- Evans L., Maio G. R., Corner A., Hodgetts C. J., Ahmed S. and Hahn U. (2013) Self-interest and pro-environmental behaviour. *Nat. Clim. Chan.* 3, 122.
- Fiderer, C., Storch I. and Heurich M. (2021) Schalenwildmonitoring in Nationalparks in Deutschland. <https://www.bfn.de/projektsteckbriefe/schalenwildmonitoring-den-deutschen-nationalparks>
- Filla M., Premier J., Magg N., Dupke C., Khorozyan I., Waltert M., Bufka L. and Heurich M. (2017) Habitat selection by Eurasian lynx (*Lynx lynx*) is primarily driven by avoidance of human activity during day and prey availability during night. *Ecol. Evol.* 7, 6367-6381.
- Frid A. and Dill L. M. (2002) Human-caused disturbance stimuli as a form of predation risk. *Ecol. Soc.* 6(1), 11.
- Gaynor K. M., Hojnowski C. E., Carter N. H. and Brashares J. S. (2018) The influence of human disturbance on wildlife nocturnality. *Science* 360, 1232-1235.
- Ghermandi A. and Sinclair M. (2019) Passive crowdsourcing of social media in environmental research: A systematic map. *Global Environm. Chan.* 55, 36-47.
- Grimm V. and Railsback S., (2005) Individual-based Modeling and Ecology. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Holderegger R., Balkenhol N., Bolliger J., Engler J. O., Gugerli F., Hochkirch A., Nowak C., Segelbacher G., Widmer A. and Zchos F. E. (2019) Conservation genetics: linking science with practice. *Mol. Ecol.* 28, 3848-3856.
- Job H., Harrer B., Metzler D. and Hajizadeh-Alamdary D. (2005) Ökonomische Effekte von Großschutzgebieten. *BfN-Skripten* 135, 111.
- Ladle A., Avgar T., Wheatley M. and Boyce M. S. (2017) Predictive modelling of ecological patterns along linear-feature networks. *Methods Ecol. Evol.* 8, 329-338.
- Ladle A., Avgar T., Wheatley M., Stenhouse G. B., Nielsen S. E. and Boyce M. S. (2019) Grizzly bear response to spatio-temporal variability in human recreational activity. *J. Appl. Ecol.* 56, 375-386.
- Larson C. L., Reed S. E., Merenlender A. M. and Crooks K. R. (2016) Effects of recreation on animals revealed as widespread through a global systematic review. *PLoS one* 11, e0167259.
- Manning R. E. and Valliere W. A. (2001) Coping in outdoor recreation: Causes and consequences of crowding and conflict among community residents. *J. Leis. Res.* 33, 410-426.

- McGinlay J., Gkoumas V., Holtvoeth J., Fuertes R. F. A., Bazhenova E., Benzoni A., Botsch K., Martel C. C., Sánchez C. C., Cervera I. and others (2020) The impact of COVID-19 on the management of European protected areas and policy implications. *Forests* 11, 1214.
- McGinnis M. D. and Ostrom E. (2014) Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. *Ecol. Soc.* 19 (2), 30.
- McLoughlin P. D., Boyce M. S., Coulson T. and Clutton-Brock T. (2006) Lifetime reproductive success and density-dependent, multi-variable resource selection. *Proc. Royal Soc. B* 273, 1449-1454.
- Mols B., Lambers E., Cromsigt J. P., Kuijper D. P. and Smit C. (2022) Recreation and hunting differentially affect deer behaviour and sapling performance. *Oikos*, in press.
- Monz C. A., Gutzwiller K. J., Hausner V. H., Brunson M. W., Buckley R. and Pickering C. M. (2021) Understanding and managing the interactions of impacts from nature-based recreation and climate change. *Ambio* 50, 631-643.
- Möst L., Hothorn T., Müller J. and Heurich M. (2015) Creating a landscape of management: Unintended effects on the variation of browsing pressure in a national park. *Forest Ecol. Managem.* 338, 46-56.
- da Mota V. T. and Pickering C. (2020) Using social media to assess nature-based tourism: Current research and future trends. *J. Outdoor Recreat. Tour.* 30, 100-295.
- Muhar A., Arnberger A. and Brandenburg C. (2002) Methods for visitor monitoring in recreational and protected areas: An overview. *Monitoring and Management of Visitor Flows in Recreational and Protected Areas*. Institut for Landscape Architecture & Landscape Management Bodenkultur University Vienna 2001, 1-6.
- Muñoz L., Hausner V. H. and Monz C. A. (2019) Advantages and limitations of using mobile apps for protected area monitoring and management. *Society & Natur. Resour.* 32, 473-488.
- Nicholls S., Amelung B. and Student J. (2017) Agent-Based Modeling: A powerful tool for tourism researchers. *J. Travel Res.* 56, 3-15.
- Oeser J., Heurich M., Senf C., Pflugmacher D., Belotti E. and Kuemmerle T. (2020) Habitat metrics based on multi-temporal Landsat imagery for mapping large mammal habitat. *Remote Sens. Ecol. Conserv.* 6, 52-69.
- Palmero S., Belotti E., Bufka L., Gahbauer M., Heibl C., Premier J., Weingarth-Dachs K. and Heurich M. (2021) Demography of a Eurasian lynx (*Lynx lynx*) population within a strictly protected area in Central Europe. *Sci. Rep.* 11, 1-12.
- Pencarelli T. (2020) The digital revolution in the travel and tourism industry. *Inf. Technol. Tour.* 22, 455-476.

- Pickering C., Rossi S. D., Hernando A. and Barros A. (2018) Current knowledge and future research directions for the monitoring and management of visitors in recreational and protected areas. *J. Outdoor Recreat. Tour.* 21, 10-18.
- Priesemann V., Meyer-Hermann M., Pigeot I. and Schöbel A. (2021) Der Beitrag von epidemiologischen Modellen zur Beschreibung des Ausbruchsgeschehens der COVID-19-Pandemie. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz* 64, 1058-1066.
- Santos J. P., Acevedo P., Carvalho J., Queirós J., Villamuelas M., Fonseca C., Gortázar C., López-Olvera J. R. and Vicente J. (2018) The importance of intrinsic traits, environment and human activities in modulating stress levels in a wild ungulate. *Ecol. Indic.* 89, 706-715.
- Scholten J., Moe S. R. and Hegland S. J. (2018) Red deer (*Cervus elaphus*) avoid mountain biking trails. *Eur. J. Wildl. Res.* 64, 1-9.
- Signer J., Fieberg J. and Avgar T. (2019a) Animal movement tools (amt): R package for managing tracking data and conducting habitat selection analyses. *Ecol. Evol.* 9, 880-890.
- Signer J., Filla M., Schoneberg S., Kneib T., Bufka L., Belotti E. and Heurich M. (2019b) Rocks rock: the importance of rock formations as resting sites of the Eurasian lynx *Lynx lynx*. *Wildl. Biol.* 2019, 1-5.
- R Core Team (2020) R: A Language and Environment for Statistical Computing.
- Urbano F., Cagnacci F., Initiative E. C. and others (2021) Data management and sharing for collaborative science: Lessons learned from the Euromammals initiative. *Front. Ecol. Evol.*, 577.
- White Jr D., Kendall K. C. and Picton H. D. (1999) Potential energetic effects of mountain climbers on foraging grizzly bears. *Wildl. Soc. Bull.* 27, 146-151.
- Wilson M. W., Ridlon A. D., Gaynor K. M., Gaines S. D., Stier A. C. and Halpern B. S. (2020) Ecological impacts of human-induced animal behaviour change. *Ecol. Lett.* 23, 1522-1536.

## 9. Anhänge

**Anlage 1:** Dupke C., Dormann C. F. and Heurich M. (2019) Does public participation shift German national park priorities away from nature conservation? *Environ. Conserv.* 46, 84-91.

**Anlage 2:** Del Fuente Hering, P.S. 2019. Verhaltensreaktionen von Hirschartigen auf Freizeitaktivitäten – Eine Literaturstudie. BSc Arbeit, Universität Freiburg.

**Anlage 3:** Sophie Kirberg. Do red deer (*Cervus elaphus*) perceive a human-induced “landscape of fear” in the Bohemian Forest Ecosystem? - New insights through the analysis of stress physiology and nutritional parameters (Master Thesis), Universität Wien, 2020

**Anlage 4:** Jakob Viße, Investigating the effect of visitor frequency on ungulate distance to hiking trails in the Swiss National Park (Masterarbeit), Universität Freiburg, 2018

**Anlage 5:** Belotti E., Mayer K., Kreisinger J., Heurich M. and Bufka L. (2018) Recreational activities affect resting site selection and foraging time of Eurasian lynx (*Lynx lynx*). *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy* 29, 181-189.

**Anlage 6:** Dupke, C., Lamprecht, N., van Beeck Calkoen, S., Peters, A., Signer, J., Heurich, M. 2022. Hunting amplifies the effects of recreational activities on ungulate behaviour. Manuskript.

**Anlage 7:** Lamprecht, N., Auswirkung der zeitlich-variierenden Nutzung unterschiedlicher Wegetypen durch Erholungssuchende auf die Habitatwahl von Schalenwild am Beispiel des Nationalpark Bayerischer Wald, Masterarbeit, Universität Göttingen, 2020

**Anlage 8:** van Beeck Calkoen S. T., Deis M. H., Oeser J., Kuijper D. P. and Heurich M. (2022) Humans rather than Eurasian lynx (*Lynx lynx*) shape ungulate browsing patterns in a temperate forest. *Ecosphere*, in press.

**Anlage 9:** Detaillierte Beschreibung des ABModells, inkl. Veranschaulichung (S. 25).

**Anlage 10:** Peters et al. Manuskript (zitiert S. 6)