

Forschungsprogramm

Rothirsch im Schweizer Mittelland

Abschlussbericht

Erstellt im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU



Claude Fischer¹, Claudio Signer², Christian Willisch³, Loreto Urbina¹, Laurent Huber¹, Lucas Villard¹, Lula Golay¹, Amélie Thiébaud¹, Benjamin Sigrist², Martina Reifler-Bächtiger², Stefan Suter², Miriam Jakob², Benjamin Bar-Gera², Nelson Marreros³, Michael Grüter³, Christian Lichtenberg³ & Iris Marti⁴

¹ Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture HEPIA, Jussy

² Forschungsgruppe Wildtiermanagement WILMA, ZHAW, Wädenswil

³ Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, BFH, Zollikofen

⁴ Institut für Fisch- und Wildtiergesundheit FIWI, FIWI, Vetsuisse Fakultät Universität Bern

Impressum

Hauptauftraggeber:

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Biodiversität und Landschaft
Sektion Wildtiere und Artenförderung
Postfach, CH-3003 Bern

Das Forschungsprogramm wurde erarbeitet durch die Unterstützung und Kooperation mit den Kantonen Aargau, Bern, Freiburg, Genf, Solothurn, Waadt und Zürich sowie dem Wildnispark Zürich.

Zitiervorschlag:

Fischer C., Signer C., Willisch C., Urbina L., Huber L., Villard L., Golay L., Thiébaud A., Sigrist B., Reifler-Bächtiger M., Suter S., Jakob M., Bar-Gera B., Marreros N., Grüter M., Lichtenberg C. & Marti I. (2024) Forschungsprogramm Rothirsch im Schweizer Mittelland – Abschlussbericht. Erstellt im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU. HEPIA Jussy, ZHAW Wädenswil & HAFL Zollikofen.

Titelbild:

Besenderte Hirschkuh ID05 mit jungem Kalb bei Unterlunkhofen (Kt. AG), erfasst am 05.06.2023 im Rahmen des Wildtierkameranonitorings in der Albiskette/Reusstal (© WILMA-ZHAW)

Zusammenfassung

Nachdem der Rothirsch (*Cervus elaphus*) landesweit ausgerottet war, begann er in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Schweiz durch Einwanderung aus den östlichen Nachbarchländern sowie teilweise unterstützt durch Wiederansiedlungen wieder zu besiedeln. Zunächst breitete er sich von Osten nach Westen, Norden und Süden aus, bis er schliesslich alle günstigen Lebensräume der Alpen und Voralpen besetzt hatte. Eine zweite Kolonisierungsfront entstand Mitte des 20. Jahrhunderts im südlichen Jura. Deren Ursprung war eine Population, die im benachbarten Frankreich durch Aussetzungen gegründet worden war. Ab Ende des 20. Jahrhunderts gab es zunehmend Sichtungen im Schweizer Mittelland. Zunächst nur sporadisch, wurden diese Beobachtungen allmählich immer häufiger. Erste stabile Populationen begannen sich etwa ab 2005 an verschiedenen Stellen im Mittelland zu etablieren. Dank der grossen Quellpopulationen in den Voralpen und im südlichen Jura verläuft die Wiederbesiedlung des Mittellands seither sehr dynamisch. Erleichtert wird diese Entwicklung u.a. durch die zunehmende Zahl von Wildtierbrücken/-unterführungen an Autobahnen, die ansonsten schwer zu überwindende Barrieren darstellen.

Die Rückkehr unserer grössten wildlebenden Säugetierart in eine stark vom Menschen geprägte und fragmentierte Landschaft zwingt die Behörden, Managementstrategien zu entwickeln, welche auf die Besonderheiten des Mittellands zugeschnitten sind. Insbesondere geht es darum, Konflikte mit menschlichen Nutzungen zu reduzieren, der Art aber gleichzeitig die Möglichkeit zu geben, sich verbreitet und dauerhaft anzusiedeln. Das BAFU hat deshalb ein umfangreiches Forschungsprogramm zum Rothirsch im Schweizer Mittelland lanciert. Zum einen soll das Besiedlungspotenzial durch den Rothirsch für den gesamten Bereich dieser biogeografischen Region abgeschätzt werden. Zum anderen sollen aber auch konkrete Empfehlungen für das Management dieser ikonischen Tierart abgeleitet werden.

Im Rahmen einer Vorstudie wurden vorab die Wissenslücken identifiziert, die in Bezug auf den Rothirsch im Schweizer Mittelland relevant sind. Die verschiedenen resultierenden Module wurden anschliessend durch eine Projektgruppe bestehend aus Vertretern des BAFU und der Mittelland-Kantone priorisiert. Das Forschungsprogramm fokussiert demnach vor allem auf das Raumverhalten und die Vernetzung der Rothirsche im Schweizer Mittelland sowie auf das Konfliktmanagement. Die dazu notwendigen Arbeiten umfassten im Wesentlichen die Datenbeschaffung in verschiedenen Regionen des Mittellands, die Modellierung der Rothirsch-Bewegungen sowie eine Reflexion über Managementmassnahmen zur Verminderung von Konflikten.

Für die Datenerfassung wurden 3 Untersuchungsgebiete ausgeschieden, die vom Rothirsch bereits besiedelt sind oder sich in der Besiedlungsphase befinden: eines im westlichen Mittelland, in den Kantonen Waadt und Freiburg, eines im zentralen Mittelland, südlich der Autobahn A1 im Grenzgebiet der Kantone Bern, Solothurn und Aargau, und eines im östlichen Mittelland, westlich des Zürichsees in den Kantonen Zürich und Aargau. Für die Datenbeschaffung kamen hauptsächlich zwei Methoden zum Einsatz. Mittels Wildtierkamera-Monitoring wurden das Auftreten und die Verbreitung von Rothirschen in den westlichen und östlichen Untersuchungsgebieten des Mittellands erfasst. Durch das Ausrüsten von Rothirschen mit GPS-Telemetrie-Halsbändern wurden zudem gezielt die Aufenthaltsorte und Bewegungen besonderer Individuen im zentralen und östlichen Untersuchungsgebiet überwacht. Daten aus vorherigen Telemetrieprojekten im Kanton Genf und im zentralen Mittelland wurden ergänzend in die Analysen einbezogen. Auf diesen Grundlagen konnten verschiedene Kenngrössen im Zusammenhang mit der Raumnutzung der Rothirsche ermittelt werden, unter anderem: Grösse der saisonalen und jährlichen Streifgebiete, Nutzung der Habitate, Nachweis und Beschreibung von Migration. Anhand dieser Daten wurde schliesslich ein Konnektivitätsmodell entwickelt, das zur Identifizierung der wichtigsten Bewegungskorridore sowie der konfliktsensibelsten Bereiche verwendet werden kann. In letzterem Fall wurde vor allem das Kollisionsrisiko für Rothirsche auf Strassen betrachtet.

Die Ergebnisse zeigen eine grosse Variabilität des räumlichen Verhaltens und der Habitatnutzung zwischen den einzelnen Untersuchungsgebieten, aber auch innerhalb dieser. Das Ausmass der beobachteten Variabilität ist für diese Art allerdings nicht überraschend und wurde bereits in anderen Studienggebieten beschrieben. Hinsichtlich der kleinräumigen Habitatwahl bestätigen die aktuellen Daten die Erkenntnis, wonach Rothirsche im Mittelland tagsüber v.a. Deckung im Wald, während des

Sommerhalbjahres aber auch in hochwüchsigen landwirtschaftlichen Kulturen und Naturschutzflächen suchen. In der Nacht begeben sie sich dann auf Nahrungssuche und nutzen hierzu die waldrandnahen Bereiche oder das Offenland. Grossräumige Ortsverschiebungen finden ebenfalls während der Nacht statt. Die grössten Streifgebiete wurden im zentralen Mittelland beobachtet und die kleinsten in der Region Genf. In der letztgenannten Region kommen die Rothirsche auch in deutlich höher Dichte vor. Migration in Form grösserer Wanderungen findet im Mittelland ebenfalls statt, so dass auch hier Rothirsche ihre Einstandsgebiete saisonal wechseln. Zur Brunftzeit sind besonders die Stiere weiträumig unterwegs. Im zentralen Mittelland wurden immer wieder grössere Wanderbewegungen zwischen dem Mittelland und den südlich gelegenen Quellpopulationen festgestellt. Es gibt jedoch ebenfalls stationäre Rothirsche, die ganzjährig im selben Lebensraum im Mittelland verbleiben. In der Region Genf migrieren fast nur die Männchen, dies allerdings über vergleichsweise kürzere Distanzen und mit einer ausgeprägteren Saisonalität. Im östlichen Mittelland lässt sich trotz einer geringeren Anzahl besonderter Rothirsche eine grosse Variabilität der Bewegungsmuster feststellen, mit einigen sehr standorttreuen Individuen (v.a. Hirschkühe) und einigen stark migrierenden Individuen (v.a. Hirschstiere). Insgesamt erscheint die Saisonalität der Wanderbewegungen im Mittelland verglichen mit der beobachteten Migration in den Alpen/Voralpen zeitlich und räumlich weniger einheitlich zu sein.

Anhand der Bewegungs- und Raumnutzungsdaten wurde ein Modell der Konnektivität nach einem Ansatz entwickelt, der die grosse Variabilität der Verhaltensweisen und Bewegungstypen berücksichtigt. Das resultierende Modell basiert auf einer Kombination aus Graphentheorie, dem «least cost corridors» Modell und der Schaltkreistheorie. Daraus ergibt sich eine flächendeckende Karte, wobei die Flächeninformationen hierarchisch betrachtet werden können. Die Priorisierung basiert auf der Wahrscheinlichkeit, dass Rothirsche einen bestimmten Sektor anhand des "least cost corridors" Modells durchqueren sowie auf der Anfälligkeit der Korridore gemäss der Schaltkreistheorie, welche entweder "Engpässe" oder "Korridore" ohne alternative Wege ergibt. Die resultierende Karte ermöglicht es somit, die Korridore mit ihrer tatsächlichen Breite darzustellen und so die Bedeutung jeder einzelnen Landparzelle in Bezug auf die Vernetzung für den Rothirsch zu erkennen. Durch die Verschneidung dieser Korridore mit dem Strassen- und Schienennetz ist es ausserdem möglich, die Infrastrukturabschnitte mit dem höchsten Unfallrisiko hervorzuheben und diese zu priorisieren.

Im letzten Teil der Studie haben wir, basierend auf den erarbeiteten Erkenntnissen und anderen Grundlagen, Managementempfehlungen für den Umgang mit dem Rothirsch im Schweizer Mittelland abgeleitet. Dabei hat sich unter anderem gezeigt wie wichtig es ist, das Vorhandensein künstlicher Landschaftselemente zu berücksichtigen, die meist noch nicht als kartierte Grundlagen vorliegen, namentlich Zäune oder Lichtverschmutzung. Entsprechend geben die oben beschriebenen Modelle lediglich eine theoretische Lage der Korridore wieder, welche zur Gewährleistung ihrer effektiven Funktionalität zusätzlicher Validierungen vor Ort bedürfen. Der Vorteil des gewählten Ansatzes liegt darin, dass er eine Hierarchisierung der Korridore sowie der Konfliktzonen erlaubt und es so ermöglicht, gezielt die prioritären Bereiche zu definieren. Die Analyse der Telemetriedaten ermöglicht es auch, die geeigneten Lebensräume nach Typ und Grösse zu identifizieren, damit sich der Rothirsch ansiedeln kann. Dabei stellen wir fest, dass selbst relativ kleine Waldflächen genutzt werden können, insbesondere wenn sie mit anderen günstigen Habitaten in der Nähe verbunden sind. Abschliessend stellen wir für das Mittelland einen hohen Bedarf zur Ausscheidung von Ruhezeiten zum Schutz vor menschlicher Störung und Schutzgebieten, in denen die Jagd verboten ist, fest. Ein geschickt installiertes Netzwerk aus Ruhezeiten und Schutzgebieten, selbst wenn sie klein sind, kann wesentlich dazu beitragen, Rothirsch-Populationen im Mittelland langfristig zu erhalten, indem gleichzeitig übermässige Konzentrationen und damit einhergehende Konflikte begrenzt werden.

Résumé

Après avoir disparu du pays, le cerf élaphe (*Cervus elaphus*) a commencé à recoloniser naturellement la Suisse à partir de l'est dès le milieu du 19^{ème} siècle. Il s'est ensuite petit à petit étendu vers l'ouest, le nord et le sud, jusqu'à occuper la totalité des habitats favorables dans les Alpes. Un deuxième front de colonisation est apparu dans le sud du Jura au milieu du 20^{ème} siècle, avec comme source une population qui avait été relâchée en France voisine. Depuis le début du 21^{ème} siècle, des observations ont également été réalisées dans certaines régions du Plateau Suisse. D'abord sporadiques, ces observations sont devenues plus régulières et des populations stables ont pu s'établir par endroit. Il y a ainsi actuellement une dynamique de colonisation du Plateau Suisse, dynamique qui est possible grâce à la présence de populations sources importantes dans les Préalpes et le sud du Jura et qui est facilitée par l'augmentation du nombre de passages à faune au-dessus des Autoroutes, qui représentent normalement des barrières difficiles à franchir.

Le retour de notre plus grande espèce sauvage de mammifères dans une région fortement urbanisée et fragmentée a appelé les autorités à développer des stratégies de gestion adaptées à cette région biogéographique particulière, afin de réduire les conflits avec les activités humaines, tout en permettant à l'espèce de s'installer. L'OFEV a ainsi lancé un vaste projet scientifique afin d'évaluer les potentiels de colonisation du Plateau et de réaliser des préconisations pour la gestion de l'espèce et des conflits liés à ce retour.

Une première étape a consisté en un préprojet destiné à identifier les lacunes dans les connaissances nécessaires pour atteindre ces objectifs. Les différents éléments ont ensuite été traités par un groupe de travail constitué de représentants de l'OFEV et des cantons concernés afin de préciser le projet de recherche lui-même. Ce dernier a été subdivisé en différents modules complémentaires, majoritairement en lien avec les comportements spatiaux du cerf dans le Plateau Suisse et avec la gestion des conflits. Le travail a ainsi été subdivisé en trois parties principales : l'acquisition de données dans différents secteurs du Plateau, la modélisation des déplacements et une réflexion sur les besoins de gestion et les pistes pour réduire les conflits.

Pour l'acquisition des données, 3 secteurs déjà colonisés ou en cours de colonisation ont été sélectionnés, à l'ouest – cantons de Vaud et Fribourg - au centre – sud de l'autoroute A1 dans les cantons de Berne, Soleure et Argovie - et à l'est du Plateau – ouest du lac de Zurich dans les cantons de Zurich et Argovie. Deux méthodes de suivi ont été sélectionnées : suivi par pièges-photographiques dans les secteurs ouest et est, et suivi par télémétrie dans les secteurs centre et est. Des données issues de suivis télémétriques préalables, canton de Genève et centre du Plateau, ont également été intégrées aux analyses. Sur cette base, différents paramètres liés à l'utilisation de l'espace ont pu être déterminés : dimensions des domaines vitaux saisonniers et annuels, utilisation des habitats, existence de comportements migratoires, temporalité des migrations, etc. Ces données ont ensuite permis de développer un modèle de connectivité, qui peut être utilisé pour identifier les principaux corridors de déplacement, ainsi que les secteurs les plus sensibles au niveau des conflits. Dans ce dernier cas, c'est surtout les risques de collision sur les routes qui ont été considérés. Tous ces éléments ont finalement permis de réaliser des préconisations pour la gestion de l'espèce sur le Plateau, mais également de mettre en évidence des besoins de recherches supplémentaires.

Les résultats montrent une grande variabilité d'utilisation de l'espace entre les différents terrains d'étude, mais également au sein de chaque terrain d'étude. Cette variabilité n'est pas étonnante pour cette espèce et a déjà été décrite dans d'autres régions. En ce qui concerne le choix des habitats à petite échelle, les données actuelles confirment que les cerfs du Plateau recherchent surtout un abri en forêt pendant la journée, mais aussi dans les cultures agricoles hautes et les surfaces de protection de la nature en été. La nuit, ils se mettent en quête de nourriture et utilisent pour cela les zones proches de la forêt ou les espaces ouverts. En ce qui concerne le choix de l'habitat à petite échelle, les données actuelles confirment que les cerfs élaphe du Plateau recherchent surtout un abri en forêt pendant la journée, mais aussi dans les cultures agricoles hautes et les surfaces de protection de la nature pendant le semestre d'été. La nuit, ils se mettent en quête de nourriture et utilisent pour cela les zones proches de la forêt ou les espaces ouverts. Les déplacements à grande échelle ont également lieu pendant la nuit. Les domaines vitaux les plus grands sont observés au centre du Plateau et les plus petits dans la région genevoise. Dans cette dernière région, les animaux sont d'ailleurs beaucoup plus concentrés.

Les migrations sous forme de grands déplacements ont également lieu sur le Plateau, tout comme dans les Alpes, et on peut ainsi observer des changements saisonniers de la position des domaines vitaux. Pendant la période du rut, se sont en particulier les mâles qui se déplacent sur de longues distances. Sur le Plateau central, on a régulièrement constaté des mouvements migratoires importants entre le Plateau et les populations sources situées au sud. Il existe cependant également des cerfs résidents qui restent toute l'année dans le même habitat sur le Plateau. Dans la région genevoise, les migrations ne concernent presque que les mâles, sur des distances réduites, avec une saisonnalité plus marquée. Dans le secteur est, on constate une grande variabilité de comportements de déplacement malgré un nombre plus faible de cerfs munis d'émetteurs, avec quelques individus au comportement très résidents (surtout des biches) et d'autres ayant une forte tendance à la migration (surtout des mâles). Dans l'ensemble, la saisonnalité des mouvements migratoires sur le Plateau semble moins régulière dans le temps et dans l'espace que les migrations observées dans les Alpes/Préalpes.

Ces données de déplacement et d'utilisation de l'espace ont permis de développer un modèle de connectivité selon une démarche qui tient compte de la grande variabilité des comportements. Le modèle final correspond à une combinaison de la théorie des graphes, du modèle des corridors de moindres coûts et de la théorie des circuits. La carte obtenue est recouvrante, mais les données peuvent être hiérarchisées. Cette hiérarchisation est basée sur la probabilité de passage dans un secteur particulier, donné par les corridors de moindres coûts, et sur la vulnérabilité du passage, selon la théorie des circuits, qui correspond soit à des secteurs étroits – des goulets d'étranglement – soit à des corridors pour lesquels il n'y a pas d'alternative de passage. Cette carte permet ainsi de représenter les corridors avec une largeur réelle et ainsi de pouvoir identifier l'importance de chaque parcelle du territoire par rapport à la connectivité pour le cerf. En recoupant ces corridors avec les réseaux routier et ferroviaires, il est de plus possible de mettre en évidence les tronçons de routes qui ont le plus de risque au niveau des accidents et de hiérarchiser ces risques.

Dans la dernière partie du projet, ces enseignements sont repris pour réaliser des préconisations de gestion. L'importance de prendre en compte la présence d'éléments qui ne sont pas cartographiés, tels que les clôtures ou la pollution lumineuse, sont mis en évidence. Il est ainsi précisé que les modèles ne donnent qu'une position théorique des corridors, mais que pour garantir leur fonctionnalité, il faut faire des validations sur le terrain. L'avantage de la démarche choisie réside dans le fait qu'il y a une hiérarchisation des corridors, et des zones de conflits avec les routes, et qu'il est ainsi possible de cibler ceux qui représentent le plus grand enjeu. L'analyse des données de télémétrie permet également d'identifier les milieux appropriés, selon le type et la dimension, pour que l'espèce puisse s'installer. Il est mis en évidence que même des surfaces forestières relativement réduites peuvent être utilisées, en particulier si elles sont reliées à d'autres surfaces favorables proches. En conclusion, nous mettons en évidence un grand besoin de délimiter des zones de tranquillité pour la protection contre les dérangements humains et des zones protégées dans lesquelles la chasse est interdite sur le Plateau. La délimitation d'un réseau de zones de tranquillité bien pensé et de zones de protection, même de petites dimensions, devrait permettre de conserver une population de cerfs dynamique, tout en limitant les densités et ainsi les conflits.

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund.....	7
2	Ziele & Fragestellungen.....	9
3	Material & Methoden.....	12
3.1	Wildtierkameramonitorings.....	12
3.2	Telemetriestudien.....	16
3.3	Gebietsübergreifende Lebensraumanalysen & -modellierungen.....	18
3.4	Zusätzliche Erhebungen & Grundlagen.....	29
4	Resultate & Diskussion.....	32
4.1	Aktuelle Vorkommen & Verbreitung.....	32
4.2	Raumverhalten & Habitatnutzung.....	40
4.3	Analyse und Visualisierung der Bewegungstypen von Rothirschen.....	56
4.4	Vernetzung & Wanderhindernisse.....	67
4.5	"Versteckte" Wanderhindernisse.....	86
4.6	Kollisionshotspots & Wirksamkeit Wildwarnsysteme.....	92
5	Synthese & Schlussfolgerungen.....	98
5.1	Wanderkorridore.....	98
5.2	Massnahmenkatalog "versteckte Wanderhindernisse".....	99
5.3	Habitatverbesserung & Schutzgebiete.....	101
6	Dank.....	104
7	Literaturverzeichnis.....	105
Anhang A: Ergänzendes Material Untersuchungsgebiet Albiskette/Reusstal (ZHAW)		109
Anhang B: Ergänzendes Material Untersuchungsgebiet Westschweiz (HEPIA).....		112
Anhang C: Grösse der BRBK-Streifgebiete.....		115

1 Hintergrund

Nach heutigem Kenntnisstand dürfte der Rothirsch (*Cervus elaphus*) nach der letzten Eiszeit in allen Landesteilen der heutigen Schweiz vorgekommen sein (Signer & Willisch 2021). Primär durch Überbejagung und verstärkt durch Lebensraumverlust und klimatische Veränderungen ist der Rothirsch hierzulande dann bis Mitte des 19. Jahrhunderts wahrscheinlich ganz verschwunden. Ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wanderte er aus Restbeständen primär von Osten her allmählich wieder in die Schweiz ein und breitete sich im 20. Jahrhundert verstärkt west-, süd- und nordwärts aus. Während in den Alpen und Voralpen heute weite Teile des potenziellen Rothirschhabitats besiedelt sind, bestehen im Mittelland und Jura immer noch grössere Verbreitungslücken (Abb. 1). Jedoch kommt der Rothirsch in den letzten Jahren vermehrt auch wieder in Teilen seines einstigen Verbreitungsgebiets im Mittelland vor und bildet dort teilweise ganzjährige Vorkommen, unter anderem entlang der Albis- und Tössstockkette, im Grenzbereich der Kantone Bern, Solothurn und Aargau, im Kanton Waadt im Gebiet zwischen Yverdon und Echallens und östlich der Autobahn A1, sowie im Norden des Genferseebeckens.

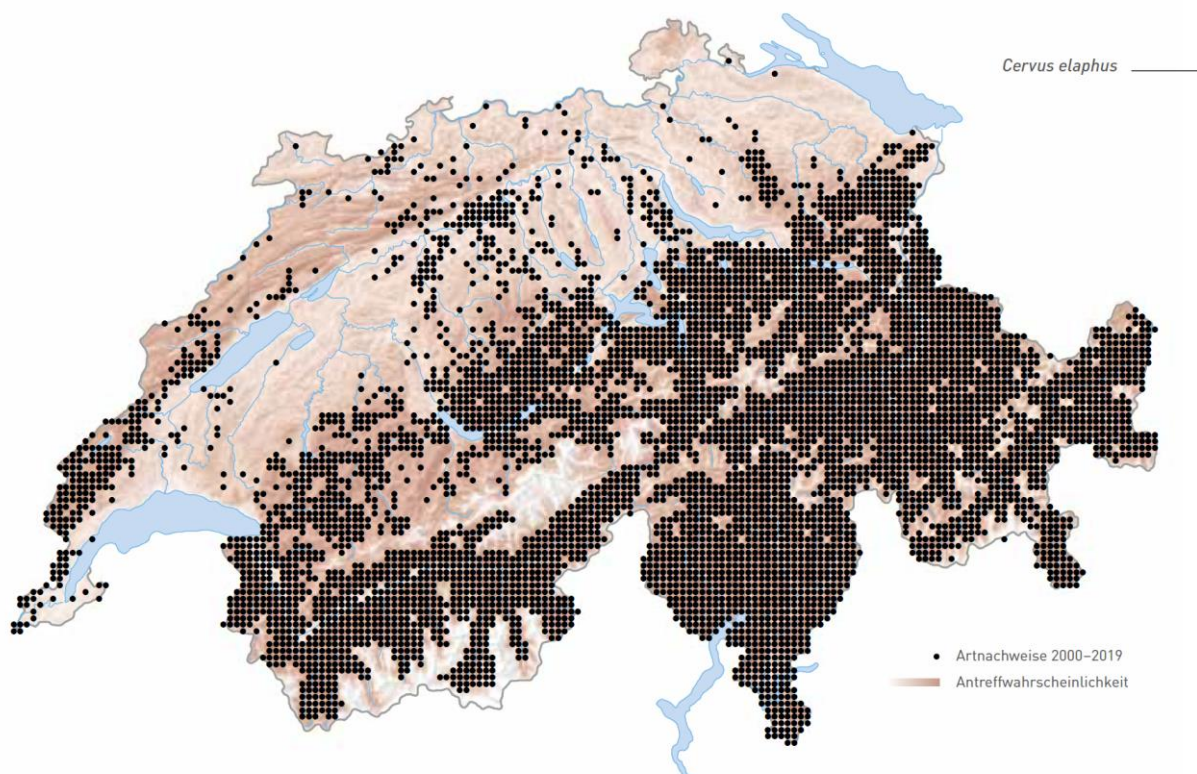


Abb. 1 : Aktuelle Verbreitung (Artnachweise 2000–2019) und Lebensraumpotenzial (Antreffwahrscheinlichkeit) des Rothirschs in der Schweiz und in Liechtenstein. (Quelle: Atlas der Säugetiere; siehe Signer & Willisch 2021).

In den letzten Jahren wurden erste detaillierte Untersuchungen zum Raumnutzungsverhalten der Rothirsche im Schweizer Mittelland durchgeführt (Willisch et al. 2015, Willisch et al. 2019a,b, Fischer & Ranzoni 2017). Diese zeigen, dass sich der Rothirsch die stark fragmentierten und intensiv genutzten Lebensräume im Mittelland durchaus erschliessen kann. Die Arbeiten legen jedoch auch nahe, dass sich unser bisheriges Wissen aus dem Voralpen- und Alpenraum nicht direkt auf die sich noch in Ausbreitung befindenden Rothirsche im Mittelland übertragen lässt. Hier scheinen die potenziell vorhandenen Rothirschlebensräume durch zahlreiche Ausbreitungsbarrieren, einen hohen Fragmentierungsgrad und generell durch eine starke menschliche Nutzung beeinflusst zu sein. Im Vergleich zu den Alpen deuten die bisherigen Studien darauf hin, dass die Aufenthaltsorte der Rothirsche im Mittelland oftmals weniger eindeutig in regelmässig genutzte Sommer- und Wintereinstände eingeteilt werden können (Willisch et al. 2015, Willisch et al. 2019a, Fischer & Ranzoni

2017). Dafür scheinen kleinräumige Habitatstrukturen und das Anbau- und Ernteregime in landwirtschaftlichen Nutzflächen entscheidend zu sein für die Raumnutzung der Rothirsche (Hummel et al. 2014). Ebenso dürften Lebensraumbereiche mit geringen Kunstlichtimmissionen eine besondere Bedeutung haben für die Raumnutzung der Rothirsche während der Nacht (Fischer et al. 2018).

Die Tendenz zur zunehmenden Ausbreitung des Rothirschs im Schweizer Mittelland wird in den nächsten Jahren voraussichtlich anhalten. Dabei wird dem Rothirsch als einheimische Wildtierart in der Schweiz grundsätzlich das Recht auf eine freie Ausbreitung und die Nutzung der vorhandenen geeigneten Lebensräume zugesprochen. Auch aus populationsgenetischer Sicht ist es in diesem Zusammenhang wichtig, den Austausch zwischen den bestehenden Rothirschvorkommen sicherzustellen und wo nötig voranzutreiben (vergl. z.B. Hepenstrick et al. 2012, Kirchenbaur et al. 2023), von besonderer Bedeutung ist hierbei die Vernetzung der Vorkommen im Jura mit jenen der Voralpen und Alpen (Signer et al. 2019). Dabei ist jedoch unklar, wie die Rothirsche mit der hohen Besiedlungs- und Verkehrsträgerdichte und der daraus resultierenden starken Lebensraumfragmentierung im Mittelland zurechtkommen. Mit Blick auf die Ausbreitung dieser grossen Wildtiere scheint sich zunehmend auch Handlungsbedarf bezüglich der Verkehrssicherheit für Mensch und Tier abzuzeichnen. Und in Gebieten wo sich der Rothirsch ausbreitet und neue Lebensräume erschliesst, dürfte vermehrt mit Konflikten in der Land- und Forstwirtschaft zu rechnen sein. Daneben könnten sich mit der zunehmenden Ausbreitung kritische Fragestellungen hinsichtlich der Übertragung und Ausbreitung von Wildtierkrankheiten und Zoonosen wie der Tuberkulose ergeben. Zudem bestehen Wissenslücken über die direkten und indirekten Auswirkungen der im Schweizer Mittelland besonders hohen menschlichen Nutzungsintensität auf den Rothirsch als potenziell störungsempfindliche Wildtierart (vergl. z.B. Graf et al. 2018; Willisch et al. 2023).

Trotz einigen aufschlussreichen Erkenntnissen ist unser derzeitiger Wissensstand für einen faktenbasierten Umgang mit dem Rothirsch im Schweizer Mittelland somit noch unzureichend. Im Rahmen einer Vorstudie wurden im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU deshalb die diesbezüglich bestehenden Grundlagen zusammengetragen und die daraus resultierenden Wissenslücken definiert (Signer, Fischer & Willisch 2019). Aus dieser Vorstudie gingen schliesslich die relevanten Bereiche für zukünftige Forschungsmodule über den Rothirsch im Schweizer Mittelland hervor (Abb. 2).

Nach einer Priorisierung der in der Vorstudie vorgeschlagenen Module initiierte das BAFU im Jahr 2019 ein umfassendes Forschungsprogramm zum Rothirsch im Schweizer Mittelland. Es erteilte einer Fachkooperation bestehend aus HEPIA Genf, ZHAW Wädenswil und HAFL Zollikofen den Auftrag zur Erarbeitung verschiedener Forschungsprojekte in folgenden Themenbereichen: Aktuelle Vorkommen und Verbreitung, Raumverhalten und Habitatnutzung, Vernetzung und Wanderhindernisse, Kollisionshotspots und Wildwarnsysteme sowie Management-Implikationen. Im Verlauf der Projekterarbeitung kamen zahlreiche weitere Kooperationen zustande, so dass das Forschungsprogramm schliesslich unter der Mitwirkung und durch die Unterstützung der Kantone Aargau, Bern, Freiburg, Genf, Solothurn, Waadt und Zürich sowie des Wildnispark Zürich realisiert werden konnte.

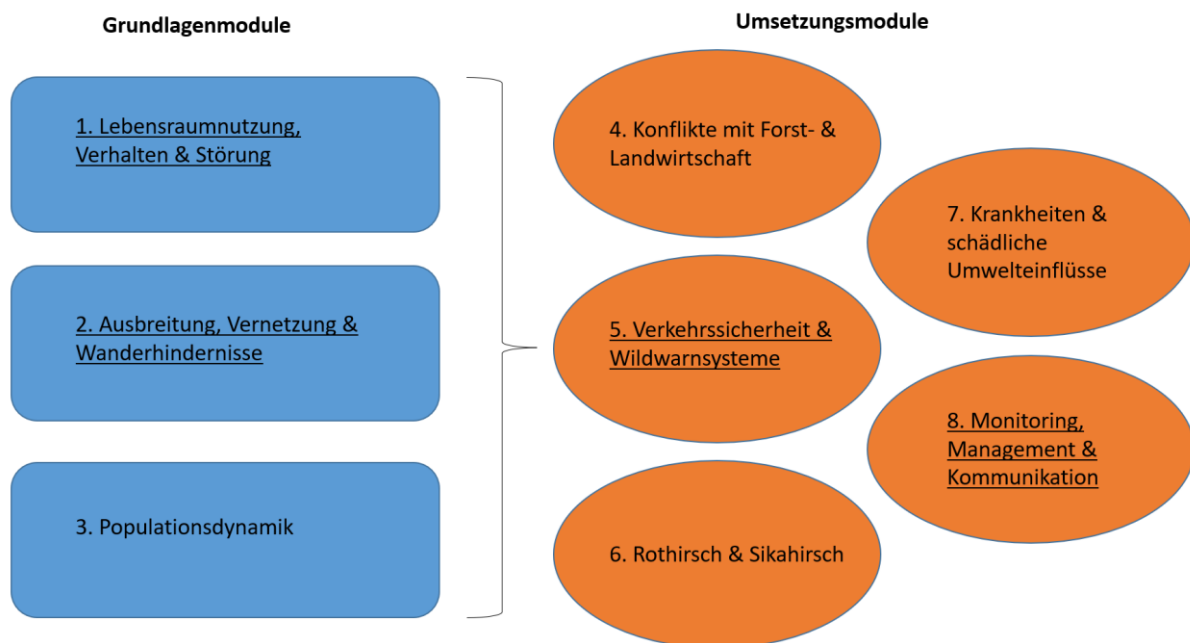


Abb. 2 : In der Vorstudie von Signer, Fischer & Willisch (2019) vorgeschlagene Forschungsmodule zum Rothirsch im Schweizer Mittelland. Es wird zwischen Grundlagenmodulen (blau) und Umsetzungsmodulen (orange) unterschieden, wobei letztere auf den erarbeiteten Grundlagen der ersteren basieren. Die im Forschungsprogramm des BAFU letztlich umgesetzten Module sind jeweils unterstrichen dargestellt.

2 Ziele & Fragestellungen

Basierend auf der Vorstudie von Signer, Fischer & Willisch (2019) wurden für das vorliegende Forschungsprogramm zum Rothirsch im Schweizer Mittelland folgende prioritären Themenbereiche, Ziele und Fragestellungen definiert:

Aktuelle Vorkommen & Verbreitung

Ziele:

- Vertieftes Verständnis erlangen zu den Vorkommen, der Verbreitung und Ausbreitung des Rothirschs im Mittelland sowie zum Austausch mit möglichen Quellenpopulationen in den Voralpen/Alpen und im Jura.

Fragestellungen:

- Wo im Schweizer Mittelland können Rothirschvorkommen nachgewiesen werden und wie ist deren aktueller Status?
- Inwieweit besteht zwischen den Rothirschvorkommen im Mittelland Austausch, inwieweit zu den Vorkommen in den Voralpen, Alpen und im Jura?
- Welche Bedeutung hat die Migration aus/zu benachbarten Rothirschvorkommen in den Voralpen, Alpen und im Jura für das Vorkommen und den Fortbestand des Rothirschs im Mittelland?

Raumverhalten & Habitatnutzung

Ziele:

- Detaillierte Erkenntnisse erarbeiten über das Raumverhalten und die Habitatnutzung des Rothirschs in den stark besiedelten und hochgradig fragmentierten Lebensräumen des Mittellands.

Fragestellungen:

- Wie gross sind die Home ranges der Rothirsche im Mittelland?
- Gibt es saisonale Migration; wann findet diese statt und zwischen welchen Regionen?
- Wo befinden sich die Tages- und Nachteinstände der Rothirsche?
- Durch welche Faktoren wird die Habitatwahl der Rothirsche im Schweizer Mittelland beeinflusst?
- Wie beeinflussen menschliche Infrastrukturen die Raumnutzung der Rothirsche; welche Massnahmen können zur Entschärfung allfälliger Konflikte beitragen?

Vernetzung & Wanderhindernisse

Ziele:

- Beschreiben und Klassifizieren der wichtigsten Wildtierkorridore sowie bedeutendsten Wanderhindernisse für den Rothirsch im Schweizer Mittelland.

Fragestellungen:

- Welche Faktoren erklären am besten die Konnektivität von Wildtierkorridoren für Rothirsche im Schweizer Mittelland; mit welchen Modellen lassen sich die Korridore zielführend ausscheiden?
- Wo liegen die relevanten Wildtierkorridore für den Rothirsch im Schweizer Mittelland, mit einem Prioritätsniveau betreffend Lage im Netzwerk; welches sind die Ursachen, dass Wildtierkorridore aktuell eingeschränkt sind?
- Welche Wildtierkorridore sind von besonderer Bedeutung, welche spielen eine untergeordnete Rolle?
- Werden wildtierspezifische Bauwerke zur Überwindung von Engpässen auf den Wildtierkorridoren von den Rothirschen genutzt; welche Faktoren bestimmen die Nutzung solcher Bauwerke?

Kollisionshotspots & Wildwarnsysteme

Ziele:

- Zusammentragen von Informationen zu Kollisionshotspots mit Rothirschen im Mittelland.

Fragestellungen:

- Wo liegen die aktuellen und zukünftigen Rothirsch-Kollisionshotspots auf den Verkehrsinfrastrukturen des Mittellands (nationales und kantonales Strassennetz & Bahn)?
- Mit welchen standortspezifischen Massnahmen können die Kollisionshotspots mit Rothirschen wirksam entschärft werden?
- Wie müssten Wildwarnsysteme weiterentwickelt werden, um in Zukunft möglichst wirksame Methoden und Lösungsansätze zur Vermeidung von Wildtierkollisionen zu erlangen?

Management-Implikationen

Ziele:

- Zielführende Massnahmen bezüglich Lebensraumschutz und -aufwertung definieren für einen sachgemässen Umgang mit dem Rothirsch im Schweizer Mittelland.

Fragestellungen:

- Wo drängen sich Massnahmen zur Sicherstellung intakter und Aufwertung beeinträchtigter oder unterbrochener Wildtierkorridore besonders auf; welche standortspezifischen Massnahmen wären dazu jeweils geeignet?
- Mit welchen Massnahmen können "versteckte Wanderhindernisse" wie beispielsweise Zäune zukünftig gebührend in offizielle Dokumente (Richtplan) und in Baubewilligungsverfahren eingebracht werden?
- Inwiefern sind Wildruhezonen und/oder Wildtierschutzgebiete (Jagdbanngebiete) für den Rothirsch im Mittelland erforderlich?

3 Material & Methoden

Die Erarbeitung der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Themenbereiche und Fragestellungen erfolgte im Rahmen verschiedener Teilprojekte an unterschiedlichen Standorten im Schweizer Mittelland. Die Forschungstätigkeiten wurden von den involvierten Institutionen (HEPIA, ZHAW, HAFL) in erster Linie unabhängig durchgeführt. Die erarbeiteten Datengrundlagen wurden anschliessend, soweit sinnvoll und möglich, zusammengeführt und integral ausgewertet.

3.1 Wildtierkameramonitorings

3.1.1 Wildtierkameramonitoring Albiskette/Reusstal (ZHAW)

Untersuchungsgebiet

Der Untersuchungsperimeter für das Wildtierkameramonitoring im Gebiet Albiskette/Reusstal umfasst eine Fläche von rund 450 km² im Grenzbereich der Kantone Zürich und Aargau. Wir haben dieses Gebiet zu Beginn des Jahres 2020 aufgrund des damaligen Kenntnisstands zur Verbreitung des Rothirschs ausgeschieden und dabei auch die Bedürfnisse und Einschätzungen unserer Projektpartner mitberücksichtigt. Der Untersuchungsperimeter umfasst im Kanton Zürich weite Teile des Jagdbezirks Amt (im Süden begrenzt durch die Hauptstrasse über den Hirzel, im Osten durch die Autobahn A3 und im Norden durch den südwestlichen Siedlungsrand der Stadt Zürich) und im Kanton Aargau den gesamten Wildraum 8 sowie Teile des Wildraums 7 (westliche Grenze Eisenbahnlinie Othmarsingen – Muri und die Grenzen des Jagdreviers 146). Insgesamt umfasst der Untersuchungsperimeter des Wildtierkameramonitorings damit einen fundamentalen Bereich der aktuellen Ausbreitungsfront des Rothirschs in den östlichen Teil des Schweizer Mittellands.

Stichprobennetz & Standortwahl

Für das Wildtierkameramonitoring haben wir im Untersuchungsperimeter insgesamt 95 Wildtierkameras installiert, wovon 51 im Kanton Zürich und 44 im Kanton Aargau zu liegen kamen. Zur Definition der Wildtierkamerastandorte wurde der Untersuchungsperimeter mit zwei Rastergittern (3x3 km und 1x1 km) entsprechend dem Schweizer Koordinatennetz überzogen. Um eine möglichst flächendeckende Verteilung der Wildtierkamerastandorte zu erreichen, haben wir pro 3x3 km-Rasterzelle zwischen einem und vier Kilometerquadraten (1x1 km) mit den jeweils grössten Anteilen an geeignetem Habitat ausgewählt. Dabei wurden nur Kilometerquadrate berücksichtigt, welche ihren Mittelpunkt innerhalb des oben beschriebenen Untersuchungsperimeters hatten und welche mindestens 1 ha an geeignetem Habitat aufwiesen. Als geeignetes Habitat haben wir Wald und deckungsreiche Naturschutzflächen definiert. Dieses Vorgehen hat eine systematische Auswahl von 79 Kilometerquadraten erbracht. Ergänzend dazu haben wir aufgrund von bekannten Rothirschnachweisen weitere 16 Kilometerquadrate strategisch ausgewählt. In jedem dieser insgesamt 95 Kilometerquadrate haben wir schliesslich an einem möglichst optimalen Standort eine Wildtierkamera platziert. So wurden die Wildtierkameras in der Regel an stark genutzten Wildtierwechseln oder Suhlen installiert, wobei die Standortwahl oftmals in Absprache mit der lokalen Jägerschaft und basierend auf früheren Rothirschnachweisen erfolgte.

Installation der Wildtierkameras

Wir haben sämtliche 95 Wildtierkameras (Modell Reconyx HF2X mit "no-glow" Infrarot-Blitz) im Verlauf des Aprils 2020 mittels Kabelschloss und Zurrgurt an einem Baum des jeweiligen Standorts montiert. Die Kameras wurden ausschliesslich im Wald oder am Waldrand installiert. Die Installation erfolgte gemäss den Vorgaben aus dem "Merkblatt Fotofallen" der Fischerei- und Jagdverwaltung des Kantons Zürich (2013). Neben der lokalen Jägerschaft haben wir weitere Interessengruppen über die Installation, den Zweck und den genauen Wildtierkamerastandort informiert. Für die Installation in der Kernzone des Wildnisparks Zürich haben wir von der Fachstelle Naturschutz des Kantons Zürich eine entsprechende Ausnahmegewilligung zum Betreten von Naturschutzgebieten eingeholt.

Betrieb & Auswertung

Seit der Installation im April 2020 laufen die Wildtierkameras ununterbrochen und werden halbjährlich jeweils im April und Oktober kontrolliert, wobei die Daten gesichert und die Batterien gewechselt werden. Zu Ausfällen kam es nur ganz vereinzelt und fehlende bzw. defekte Kameras wurden jeweils möglichst zeitnah ersetzt.

Die Kameras sind so programmiert, dass sie Serienbilder aufzeichnen. Die so generierten *Bildsequenzen* umfassen jeweils mindestens drei aufeinanderfolgende Serienbilder. Die aufsummierte Anzahl nachgewiesener Individuen einer Art auf einer Bildsequenz trugen wir als *Individualnachweise* zusammen. Bei den Individualnachweisen haben wir im Fall von Huftieren nach Möglichkeit die Geschlechter (männlich, weiblich) unterschieden, beim Rothirsch zudem verschiedene Altersklassen (Adulttier, Spiesser/Schmaltier, Kalb; Stichtag für Altersklassenwechsel jeweils Ende April). Weil dieselben Individuen zu verschiedenen Zeitpunkten mehrfach erfasst werden können, kann aus der Anzahl Bildsequenzen oder Individualnachweise grundsätzlich nicht direkt auf eine Bestandsgrösse geschlossen werden.

3.1.2 Wildtierkameramonitoring Waadt/Freiburg (HEPIA)

Untersuchungsgebiet

Im westlichen Mittelland - in einem Dreieck zwischen Yverdon, Lausanne und Vaulruz - deuteten die vorhandenen Rothirschbeobachtungen hauptsächlich auf Vorkommen in der Nähe der Wildtierpassage von Oulens über die Autobahn A1 hin. Diese Wildtierpassage befindet sich 14 km südlich der Stadt Yverdon. Unsere Hypothese war, dass diese Passage es den Tieren im Waadtländer Jura ermöglicht, das Mittelland in Richtung Osten zu besiedeln. Ein Brunftplatz war in der Nähe des Dorfes Vuarrens bekannt, was auf eine stabile Population an diesem Ort hindeutete.

Stichprobenetz & Standortwahl

Das berücksichtigte Gebiet liegt zwischen der Autobahn A1 im Westen und der Autobahn A12 im Osten sowie zwischen Yverdon im Norden und der Agglomeration Lausanne im Süden. Im Westen und Osten gibt es grosse Rothirsch-Quellpopulationen (Jura bzw. Voralpen), die für die Kolonisierung dienen könnten. Die Autobahnen stellen unüberwindbare Barrieren dar, aber einige bestehende Passagen, die nicht explizit für die Überquerung von Grosswildtieren vorgesehen sind, könnten trotzdem von sich ausbreitenden Tieren genutzt werden. Die Wildtierpassage von Oulens, die für Grosswildtiere bestimmt ist, wurde im Jahr 2010 eröffnet und eine Passage über die A12 soll ab 2027 gebaut werden. Gemäss den Beobachtungen, die in den Jahren vor dem Projekt gemacht wurden (Abb. 3) und gemäss unseren Hypothesen erfolgt die Besiedlung hauptsächlich von der Wildtierpassage aus. Der regelmässig genutzte Sektor beschränkt sich auf die nächstgelegenen bewaldeten Gebiete. In diesem Zusammenhang wurde die Verteilung der Wildtierkameras nach einem anderen Protokoll durchgeführt als im Wildtierkameramonitoring Albiskette/Reusstal der ZHAW (siehe oben). Aufgrund der stark zerstückelten Landschaft mit nur kleinen Waldstücken ist es schwierig nach einem Stichprobenraster zu arbeiten. Die Mehrheit der Standorte wäre in landwirtschaftliche Parzellen gefallen. Die Wildtierkameras wurden auf den potenziellen Übergängen über die Autobahnen und entlang der theoretischen Bewegungsachsen, die von Rothirschen genutzt werden könnten, verteilt. Die theoretischen Achsen wurden anhand eines bestehenden Korridormodells für Rothirsche, das für das Genfer Becken entwickelt wurde (Urbina et al. 2023), ausgewählt (Abb. 4).

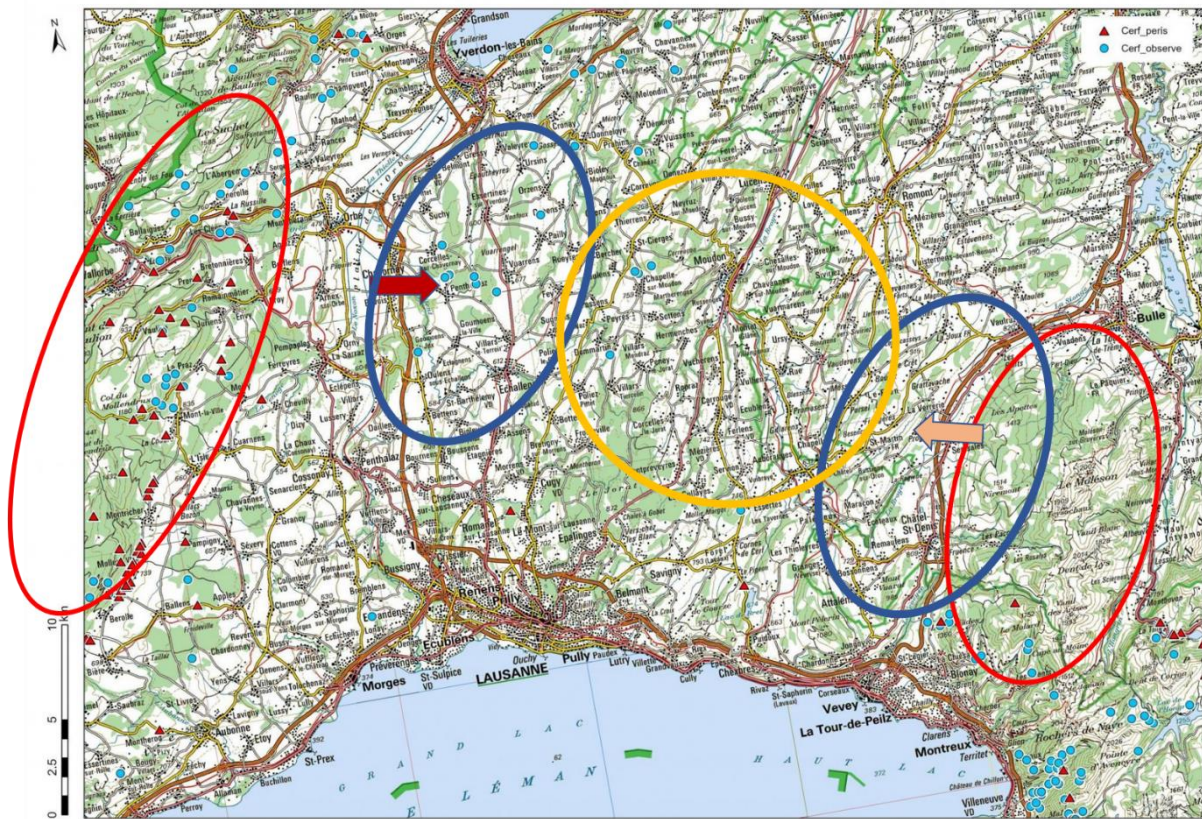


Abb. 3: Situation der Rothirschvorkommen in den Kantonen Waadt und Freiburg (Stand: 2018). Rote Ellipse = Quellpopulationen, blaue Ellipse = Schwerpunktgebiete für das Monitoring, gelbe Ellipse = potenzielles Vernetzungsgebiet, roter Pfeil = existierende Wildtierbrücke, rosa Pfeil = geplante Wildtierbrücke, blaue Punkte = Rothirsch-Beobachtungen, rote Dreiecke = Kollisionen mit Rothirschen.

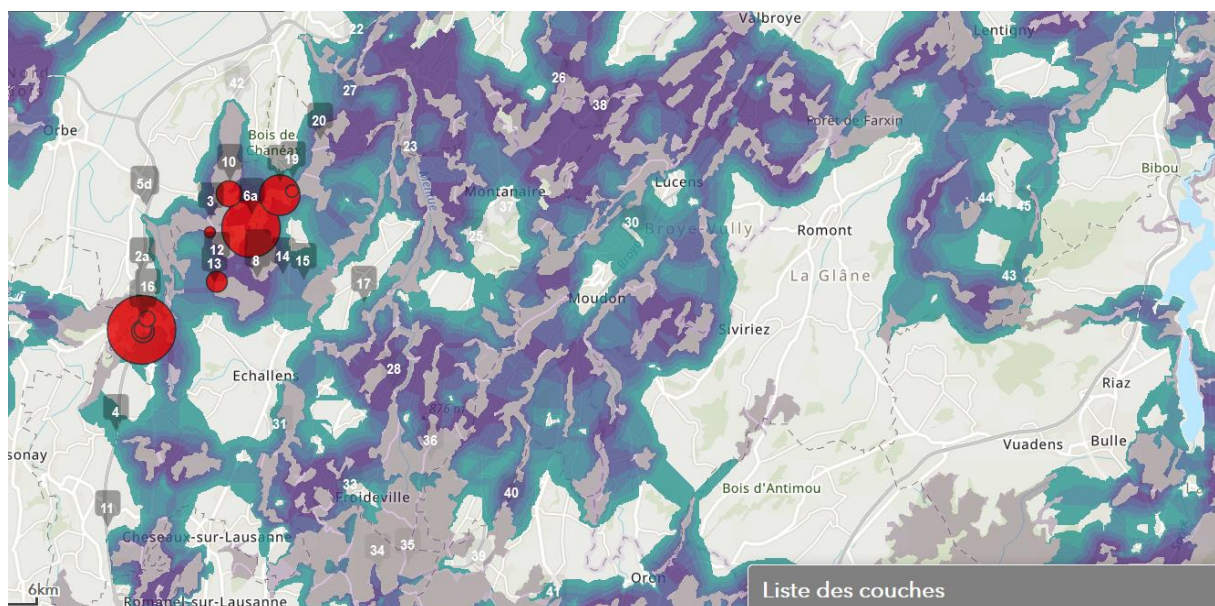


Abb. 4: Standorte der Wildtierkameras (Nummern) auf dem Least Cost Corridor Model (letzteres basierend auf Datengrundlagen von 2009-2016 aus der Region Genf). Rote Kreise: Standorte mit Rothirschnachweisen im 2019 (je grösser das Symbol, desto mehr Nachweise). Die Wildtierbrücke über die A1 deckt sich mit dem grösseren roten Kreissymbol im Westen.

Insgesamt wurden 48 Standorte auf einer Fläche von etwa 350 km² ausgewählt, wobei die Dichte in der Nähe von Gebieten, in denen bereits regelmässige Beobachtungen gemacht wurden, am höchsten war. Bei einigen Passagen unter oder über die Autobahn A1 wurden mehrere Wildtierkameras aufgestellt, um die gesamte Breite abzudecken und zu zeigen, welche dieser potenziellen Durchgänge tatsächlich genutzt werden. An den 48 Standorten wurden somit insgesamt 57 Wildtierkameras aufgestellt (Abb. 5).

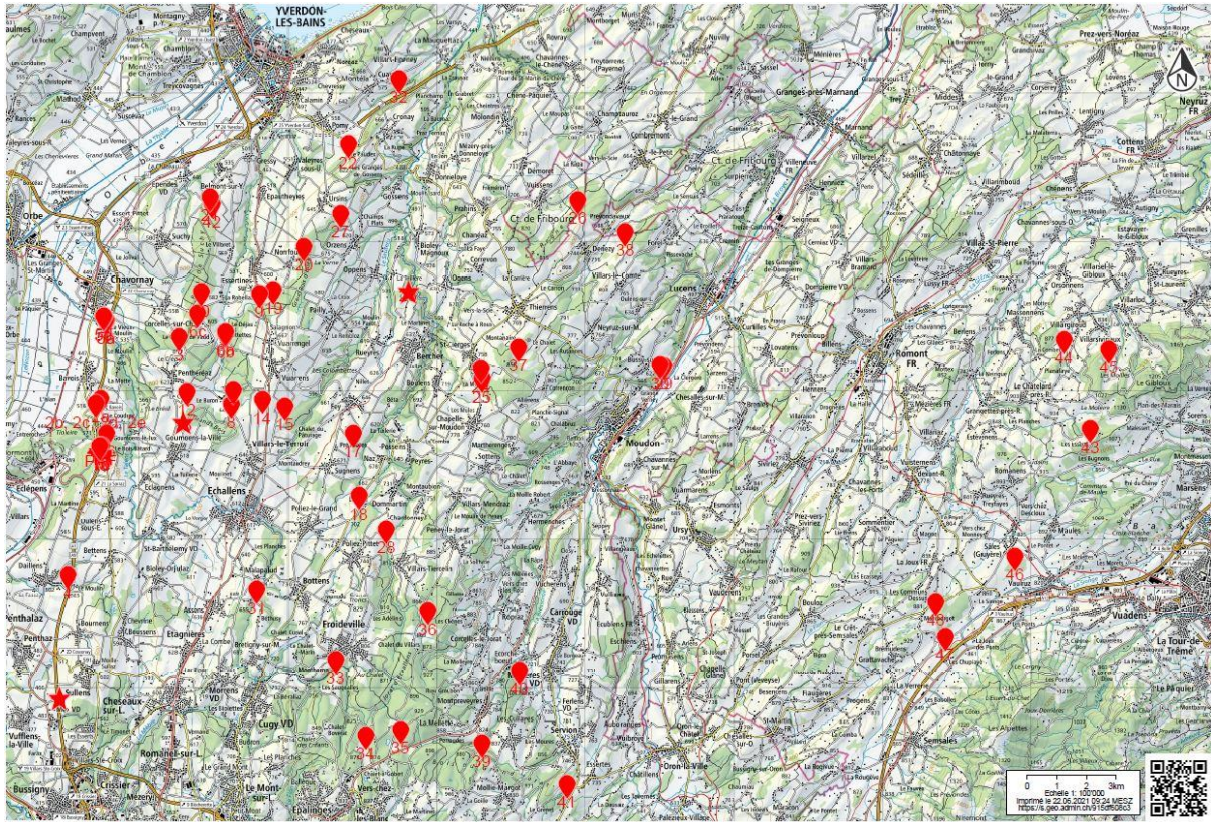


Abb. 5 : Standorte der 57 aufgestellten Wildtierkameras im Wildtierkameranomonitoring Waadt/Freiburg.

Installation der Wildtierkameras

Die Wildtierkameras wurden zwischen Mai und Oktober 2020 aufgestellt und ihre Positionen den Wildhütern mitgeteilt. Die meisten Wildtierkameras wurden an Waldrändern aufgestellt, einige auch im Waldesinneren. Alle verwendeten Wildtierkameras (Bushnell Agressor und Bushnell Core) sind mit einem "No Glow"-Blitz ausgestattet, um die Störung der Wildtiere zu reduzieren. Dies hat jedoch zur Folge, dass die Qualität der Fotos nicht immer ausreichend ist, um die verschiedenen Rothirsche individuell zu erkennen.

Betrieb & Auswertung

Die Wildtierkameras wurden alle 4 bis 6 Monate kontrolliert, um die Batterien und Speicherkarten auszutauschen. In den ersten beiden Jahren gab es nur wenige Probleme mit den Kameras. Demnach wurden 6 Geräte gestohlen und 2 weitere bei Forstarbeiten zerstört. 4 der gestohlenen Geräte wurden nicht ersetzt, da sie sich unter einem Viadukt befanden und zu gut sichtbar waren. Das Risiko eines erneuten Diebstahls wurde hier als zu eingeschätzt. Die anderen Geräte wurden ersetzt. Im dritten Jahr wurde dann eine erhebliche Anzahl von Wildtierkameras gestohlen oder mutwillig verwüstet. Tatsächlich kamen in diesem Zeitraum 12 Wildtierkameras abhanden. Bis auf eine Ausnahme wurden diese nicht ersetzt, da die geplante Monitoringperiode abgelaufen war. Die restlichen Wildtierkameras wurden in Betrieb gelassen.

Die Kameras waren so eingestellt, dass sie pro Auslösung eine Serie von drei Fotos mit einem Zeitabstand von fünf Sekunden zwischen den Auslösungen lieferten. An den häufig frequentierten Standorten stellten wir die Wildtierkameras zusätzlich so ein, dass neben der Bildsequenz auch ein Video aufgenommen wurde.

Die Fotos wurden mithilfe der Lepus-Software (www.cameratrap.app) sortiert. Diese Software ermöglicht es, Fotoserien in Sequenzen aufzuteilen, die einem Ereignis entsprechen. Indem ein Foto nach einem Ereignis benannt und klassifiziert wird, werden alle anderen Fotos automatisch getaggt. Dadurch kann die Zeit für das Sortieren der Fotos stark reduziert werden. Für jedes Ereignis wurde die identifizierte Art und die Anzahl der Individuen notiert. Für Fotos von Menschen oder anderen menschlichen Aktivitäten (Fahrzeuge, Reiter, etc.) wurden Datum, Uhrzeit und Art der Aktivität notiert und die Fotos anschliessend gelöscht.

3.2 Telemetriestudien

3.2.1 Telemetriestudie Albiskette (ZHAW)

Die Fangtätigkeiten zur Besenderung von Rothirschen in der Albiskette fanden im Zeitraum Januar – März 2022 und Dezember 2022 – März 2023 an verschiedenen Standorten in der näheren Umgebung des Sihlwalds statt. Insgesamt konnten wir 3 weibliche und 3 männliche Rothirsche besendern. Die Einfänge erfolgten in enger Absprache mit der Fischerei- und Jagdverwaltung Zürich und nach der Einholung aller erforderlichen Bewilligungen seitens Kantons und Bund. Zudem verfügten die von unserer Forschungsgruppe an den Einfängen beteiligten Personen über die dazu erforderlichen theoretischen und praktischen Spezialausbildungen. In verdankenswerter Weise wurden wir bei den Fangaktionen von der lokalen Jägerschaft und vom Tierspital Zürich unterstützt. Insgesamt wendeten wir für die Fangaktionen 43 Nächte und rund 1200 aktive Personenstunden auf (ausgeschlossen Personen auf Pikett).

Für den Einfang der Rothirsche setzten wir normalerweise ferngesteuerte Narkosegewehre ("Funknarkose") ein. Daneben sassen wir auch mit einem herkömmlichen Narkosegewehr an oder begaben uns damit auf "Autopirsch". Die für die Funknarkose vorbereiteten Fangstandorte haben wir i.d.R. auf eine Schussdistanzen von 12–15 m mit frischen Äpfeln bekirt. Als Narkosemittel haben wir eine Xylazin-Ketamin-Mischung verwendet (für Hirschkühe 375 mg Xylazin + 300 mg Ketamin, für Stiere 500 mg Xylazin + 300 mg Ketamin), welche wir abschliessend mit Antisedan® antagonistisiert haben. Die narkotisierten Individuen haben wir anhand verschiedener Parameter genau überwacht und ihnen vorsorglich zusätzlichen Sauerstoff verabreicht. Während der Behändigung wurden verschiedene Körpermasse erhoben sowie eine Haar- und Kotprobe entnommen. Jedes Tier erhielt links und rechts eine Ohrmarke mit individueller Erkennungsnummer und wurde mit einem Telemetriel Halsband (Modell Vertex Plus von VECTRONIC Aerospace GmbH) ausgestattet. Die Halsbänder erheben standardmässig stündlich die GPS-Positionen der besenderten Individuen und zeichnen zudem Aktivitätsdaten auf.

3.2.2 Telemetriestudie Genf (HEPIA)

Im Kanton Genf war zwischen 2009 und 2016 im Rahmen einer Zusammenarbeit zwischen dem Office Cantonal Agriculture et Nature und der HEPIA eine Vorstudie durchgeführt worden. Damals wurden 18 Rothirsche mit GPS-Halsbändern ausgestattet (10 weibliche und 8 männliche Individuen). Die Halsbänder waren so programmiert, dass sie während der Nacht eine Position pro Stunde und während des Tages zwei weitere Positionen erfassten. Die Daten aus diesem Monitoring dienten als Grundlage für die Erstellung von Rothirsch-Bewegungsmodellen für den Grossraum Genf. Eines der Ergebnisse war eine Bewertung des Bewegungswiderstandes der verschiedenen Lebensräume. Die resultierende Widerstandsliste wurde dann ebenfalls auf das Untersuchungsgebiet BE/SO/AG angewandt. Daraus ging für diese Region ein erstes Konnektivitätsmodell hervor, dass aufgrund bereits vorliegender Telemetriedaten von Rothirschen in diesem Raum überprüft werden konnte. Dieses Vorgehen ermöglichte es, frühzeitig zu evaluieren, ob die für das Genferseebecken erarbeitete Widerstandsliste ebenfalls auf andere Teile des Schweizer Mittellands anwendbar war oder ob sie gegebenenfalls

angepasst werden musste, um den verschiedenen im Schweizer Mittelland angetroffenen Bedingungen zu entsprechen.

Parallel zum vorliegenden Projekt startete der Kanton Genf im Jahr 2021 seinerseits ein neues Projekt zur Überwachung der Rothirsche mittels GPS-Besenderung. Die kantonalen Behörden waren damit einverstanden, uns die im Rahmen ihres Projektes gewonnenen Daten zur Verfügung zu stellen. So konnten wir zur Kalibrierung unserer Modelle ebenfalls auf diese Daten zurückgreifen. In den Jahren 2021 und 2022 gelang es dem Kanton Genf insgesamt 6 Individuen (4 Weibchen und 2 Männchen) mit GPS-Halsbändern auszustatten.

3.2.3 Telemetriestudie Zentrales Schweizer Mittelland (HAFL)

Einfang und GPS-Besenderung von Rothirschen

Der Einfang der Rothirsche im Zentralen Schweizer Mittelland erfolgte von 2020 bis 2023 jeweils im Winter/Frühjahr (Tab. 1). Der Fangperimeter umfasste weite Bereiche des Mittellands in den Kantonen Bern, Solothurn und Aargau, wo uns Vorkommen von Rothirschen bekannt waren (vergleiche Abb. 15 im Kapitel Vorkommen HAFL-Studiengebiet). Innerhalb des Perimeters wurden besonders geeignete Fanggebiete in Absprache mit den kantonalen Behörden und Wildhütern ausgeschieden. Wir richteten insgesamt 41 potenzielle Fangstandorte ein (BE: 17; SO: 11 AG: 13). Um die Rothirsche anzulocken, wurden Futterrübenhaufen angelegt, die mit mobilfunkfähigen Wildtierkameras überwacht wurden. Dies erlaubte es uns, günstige Fanggelegenheiten kurzfristig zu erkennen. Fangversuche wurden meist nur dann durchgeführt, wenn wir die Chancen als relativ hoch erachteten, dass die Rothirsche in der Folgenacht zurückkehren würden. Bedingung für einen Fangversuch war ein minimales Team von 4 Personen, wobei immer mindestens 1 Person mit Erfahrungen in der Narkoseüberwachung anwesend sein musste (i.d.R. ein/e Veterinärmediziner/in). Im Kanton Bern musste zudem immer der zuständige Wildhüter oder dessen Vertreter anwesend oder in der Nähe sein, in den Kantonen Aargau und Solothurn ein/e Vertreter/in der Jagdverwaltung oder der Jägerschaft. Mitarbeiter/innen des Zentrums für Fisch- und Wildtiergesundheit (FIWI) der Universität Bern unterstützten uns sowohl bei den Vorbereitungen als auch den Durchführungen der Fänge.

Für den Einfang der Rothirsche setzten wir hauptsächlich ein ferngesteuertes Teleinjektionssystem (MICS; Ryser et al. 2005) ein. Zeitweise wurde ergänzend auch der Ansitz mit einem Narkosegewehr aus dem Auto heraus versucht. Dies jeweils jedoch ohne Erfolg. Für die Verabreichung des Narkosemittels wurden 3 ml-Pfeile der Marke Daninject verwendet zusammen mit Pfeilspitzen, welche mit Wiederhacken versehen waren. Die Pfeile waren jeweils mit einem VHF-Sender bestückt, welcher das Wiederauffinden der narkotisierten Rothirsche vereinfachte. Als Narkosemittel verwendeten wir eine Mischung aus Zoletil® und Xylazin, mit den vom FIWI empfohlenen Konzentrationen von 154.6 mg/ml Zoletil® und 134.0 mg/ml Xylazin. Je nach Geschlechts- und Alterskategorie verwendeten wir unterschiedliche Volumina (i.d.R. zwischen 2.3–3.0 ml), um die angestrebte Zieldosis von 3mg/kg Zoletil® und 2.6 mg/kg Xylazin gemäss FIWI-Protokoll zu erreichen. Zur Antagonisierung der Xylazinwirkung wurde Atipamezol 5 mg/ml (Antisedan®), mit einer Dosis von 0.1 mg Atipamezol/mg Xylazin angewendet. Dies entsprach einer Dosis von 2.7 ml Antisedan® pro 1 ml verabreichte Narkosemittelmischung.

Rothirsche wurden nur beschossen, wenn sie am Futter waren und seitlich zum MICS standen, gezielt wurde nur auf den hinteren Oberschenkel. Wurde ein Tier beschossen, so galt es dieses innert etwa 20–30 Minuten zu behändigen. Während des Fangs wurde jedes narkotisierte Individuum veterinärmedizinisch überwacht und seine Vitalzeichen überprüft. Zudem verabreichten wir als therapeutische/reaktive Massnahme Sauerstoff per intranasaler Sonde (Initialdosis 4l/min, individuelle Adaption angepasst nach Bedarf), wobei die Sauerstoffsättigung (SpO₂) des Blutes mit einem Pulsoxymeter überwacht wurde. Die Tiere wurden vermessen und mit farbigen und nummerierten Ohrmarken (Allflex, Senior) sichtmarkiert. Alle gefangenen Rothirsche wurden mit GPS-Halsbändern ausgerüstet (Vertex Plus, VECTRONIC Aerospace GmbH). Neben der GPS-Einheit verfügen diese Halsbänder über ein GSM 3G Modul zur Übertragung der Daten, einen VHF-Sender und einen 3-Achsen Accelerometer. Die Daten des Accelerometers wurden allerdings nicht per GSM übertragen, sondern mussten direkt vom Halsband abgelesen werden. Zusätzlich war jedes Halsband mit einem zeit-/funkgesteuerten aktiven Drop-off und einem passivem Drop-off (Sollbruchstelle mit

Baumwollbändern) ausgestattet. Die Halsbänder waren so programmiert, dass sie alle 30 Minuten die Position mittels GPS ermittelten.

Fangaufwand und Fangenerfolg

Die Fänge erstreckten sich während den vier Fangsaisons über eine Gesamtdauer von 245 Tagen (Tab. 1). Der kumulierte Überwachungsaufwand der Fangstandorte mit den Wildtierkameras betrug 3849 Kameratage. Während dieser Zeit wurden 74 Fangversuche durchgeführt, welche mit einem Total von 391 Personen-Stunden Ansitz verbunden waren. Der gesamte Stundenaufwand zur Durchführung dieser Fangversuche von HAFL-Mitarbeitenden belief sich auf 1830 Personen-Stunden.

Insgesamt konnten wir 15 Rothirsche erfolgreich besendern, was durchschnittlich 4.93 Fangnächte pro besendertes Individuum ergibt. Leider verzeichneten wir auch zwei fangbedingte Abgänge (2020: 1 Stier, 2021: 1 Kuh).

Zu erwähnen ist, dass im Rahmen mehrerer Vorprojekte durch die ehemalige FaunAlpin GmbH und das FIWI der Universität Bern (Willisch et al. 2011, 2015, 2019b) bereits im Zeitraum von 2011-2017 insgesamt 7 Rothirsche (4 Stiere und 3 Kühe) im Zentralen Schweizer Mittelland auf dem Gebiet der Kantone Bern und Solothurn gefangen und mit GPS-Halsbändern (Modelle: Vertex Plus, GPS Pro light-3 und GPS Pro light-4 von VECTRONIC Aerospace GmbH) wurden. Zusätzlich wurde 1 Individuum (Kuh) durch die Wildhut des Kantons Bern in der Stadt Bern behändigt und mit einem GPS-Halsband (GPS Pro light-4, Vectronic) versehen in der Region Oberburg wieder freigelassen. Die Lokalisationsdaten dieser 8 Rothirsche wurden für die Analysen und Modellierungen dieser Studie ebenfalls verwendet. Die Positionierungsintervalle der GPS-Halsbänder waren in der Nacht kürzer (i.d.R. 30 Minuten) als am Tag (i.d.R. 60 Minuten). Details zu diesen Rothirschen finden sich in den entsprechenden Projektberichten (Willisch et al. 2015; Willisch et al. 2019a, b).

Tab. 1 : Arbeitsaufwand für die Fänge der Rothirsche in der Region Mittelland von 2020–2023.

Zeitraum	Dauer	Anzahl Standorte (BE/SO/AG)	Kamera-Tage	Fang- nächte	Std. Ansitz	Std. Aufwand	Tiere Besendert	Nächte/ Fang	Tiere beschossen	Fangnächte/ Schuss
14.2.- 15.3.2020	29	12 (8/3/1)	166	8	40	180	1	8	3	2.6
16.1.- 15.4.2021	89	23 (12/4/7)	1137	36	204	850	6	6	8	4.5
5.2.- 1.4.2022	55	22 (9/5/8)	1212	14	65	400	5	2.8	5	2.8
24.1.- 6.4.2023	72	17 (4/6/7)	1334	16	82	400	3	5.3	4	4
Total	245	40 (17/11/13)	3849	74	391	1830	15	4.93	20	3.7

3.3 Gebietsübergreifende Lebensraumanalysen & -modellierungen

Das Raumverhalten von Wildtieren ist unter anderem durch ihre Kapazität, sich in der Landschaft zu bewegen, gekennzeichnet. Weil Ressourcen oft weit verstreut vorkommen, müssen sie tageszeitlich oder im Jahresverlauf immer wieder kleinere oder zuweilen auch grössere Ortswechsel vollziehen, um diese nutzen zu können. Dies ist umso mehr der Fall, wenn die Landschaft fragmentiert ist, wie im Schweizer Mittelland. Hier liegen die verschiedenen günstigen Lebensräume besonders weit auseinander und mehr oder weniger überwindbare Hindernisse schränken die Möglichkeiten der Tiere, sich zu bewegen, zusätzlich ein. Korridore gewinnen in solchen Landschaften für den Artenschutz verstärkt an Bedeutung, denn Schutzgebiete allein sind in der Regel zu klein und zu isoliert, um mobilen Arten das Überleben zu ermöglichen. In der Strategie Biodiversität Schweiz (2012) wird die Bedeutung

von Korridoren hervorgehoben und die Absicht, eine funktionierende ökologische Infrastruktur zu definieren, klar erwähnt. Die Rückkehr des Rothirschs ins Schweizer Mittelland und seine mögliche Ausbreitung in dieser stark fragmentierten biogeografischen Zone hängen massgeblich vom Vorhandensein funktionaler Korridore ab. Die Präsenz dieser Art in einer Region, die durch ein dichtes Strassennetz und anthropogene Nutzungsaktivitäten geprägt ist, stellt darüber hinaus eine potenzielle Konfliktquelle dar. Es ist daher von entscheidender Bedeutung, vorhersagen zu können, wie und wohin sich die Tiere am wahrscheinlichsten bewegen, um ihre Ankunft in einer Region frühzeitig zu antizipieren, und um zu lokalisieren, wo Konflikte zuerst auftreten, bzw. wo sie am grössten sein könnten. In diesem Zusammenhang schlagen wir einen Ansatz vor, der es zum einen ermöglicht, die Lage der Hauptkorridore räumlich zu identifizieren respektive zu bezeichnen. Weiter soll ebenfalls eine Priorisierung der Korridore erfolgen. Diese soll die Wahrscheinlichkeit widerspiegeln, dass Korridore von unserer Zielart genutzt werden, aber gleichzeitig auch deren Bedeutung, um geeignete Lebensräume in der Region miteinander zu verbinden. Relevant ist diese Information insbesondere dann, wenn es keine alternative Korridore in der Nähe gibt, oder wenn diese dereinst beeinträchtigt oder unterbrochen würden. Die Bedeutung eines Korridors ist demnach umso grösser zu gewichten, je weniger Alternativen es gibt. Die Grösse des betrachteten Gebiets und die Vielzahl potenzieller Korridore oder Subkorridore erfordern eine solche Priorisierung. Es ist nämlich unmöglich, die Funktionalität aller Verbindungselemente in einem so grossen Gebiet wie dem Schweizer Mittelland einzeln zu überprüfen.

3.3.1 Home Ranges & Saisonale Migrationsrouten

Zur Ermittlung der Streifgebiete der Rothirsche verwendeten wir die Biased-Random-Bridge-Kernel-Methode (BRBK). Im Gegensatz zu klassischen Kernel-Methoden (Worton 1989), welche von voneinander unabhängigen Lokalisationsdaten ausgeht, berücksichtigt die BRBK-Methode die Abfolge der Lokalisationen, um die Streifgebiete der Individuen zu berechnen. Diese stimmen mit den tatsächlich genutzten Lebensräumen dadurch sehr gut überein, während andere Methoden (wie z.B. die Minimum-Convex-Polygon-Methode) oftmals weite Bereiche einschliessen, die durch die Tiere überhaupt nie begangen worden sind. Schliesslich kann basierend auf der BRBK-Methode mittels Kernel-Berechnung die Dichteverteilung für die Streifgebietenutzung (die sogenannte Utilization-Distribution UD) ermittelt werden (Benhamou 2011). Die Streifgebiete mittels BRBK-Methode wurden für sämtliche Rothirsche der drei Untersuchungsgebiete im Ganzjahresverlauf und für die verschiedenen Jahreszeiten berechnet. Die Aufteilung der Jahreszeiten erfolgte nach Kalendermonaten wie folgt: Frühjahr: März bis Mai, Sommer: Juni bis August, Herbst: September bis November, Winter: Dezember bis Februar. Für die Berechnungen wurden die ersten (3–7) Tage nach dem Fang weggelassen und es wurden nur jene Datensätze berücksichtigt, bei denen pro Individuum und Jahreszeit Lokalisationen von mindestens 45 Tagen vorlagen. Insgesamt flossen die Daten von 51 Rothirschen (BE-SO-AG-LU: 11 Kühe, 12 Stiere; GE-VD-F: 12 Kühe, 11 Stiere; ZH-AG-ZG-LU: 2 Kühe, 3 Stiere) in die Analysen ein (siehe Tab. 2). Die Analyse der räumlichen Daten erfolgte unter Verwendung der Software R (Version 4.2) mit dem "adehabitatHR" Package (Calenge 2015). Zur Visualisierung wurde QGIS 3.14.15 verwendet.

Die saisonalen Verschiebungen der Rothirsche wurden anhand ausgewählter Individuen beispielhaft beschreibend erläutert. Zudem wurden für die drei Untersuchungsregionen die mittleren Distanzen zwischen aufeinanderfolgenden Tageseinständen pro Individuum und Monat berechnet.

Tab. 2: Informationen zu den besenderten Rothirschen der 3 Untersuchungsregionen, welche für die Streifgebietenanalysen zur Verfügung standen.

Region	Name	Geschlecht	Fang	Daten bis	Dauer	Positionen
BE-SO-AG-LU	Wika	f	01.03.2013	12.10.2014	583	16243
BE-SO-AG-LU	Joba	f	14.03.2016	27.08.2018	896	24490
BE-SO-AG-LU	Kaja	f	05.02.2017	26.08.2018	567	16297
BE-SO-AG-LU	Bea	f	5.5.2019	09.12.2020	584	18827
BE-SO-AG-LU	Eiya	f	8.3.2020	06.02.2022	693	33017

BE-SO-AG-LU	Ruma	f	20.02.2021	20.01.2023	692	33163
BE-SO-AG-LU	Eika	f	15.4.2021	17.08.2022	483	23161
BE-SO-AG-LU	Zima	f	9.2.2022	31.08.2023	561	26842
BE-SO-AG-LU	Hope	f	30.03.2022	31.08.2023	513	24532
BE-SO-AG-LU	Sala	f	23.02.2023	31.08.2023	182	8730
BE-SO-AG-LU	Xina	f	06.04.2023	31.08.2023	140	6743
BE-SO-AG-LU	Yano	m	13.02.2013	08.07.2013	138	5263
BE-SO-AG-LU	Bajo	m	07.03.2016	03.04.2017	392	14878
BE-SO-AG-LU	Sipe	m	03.03.2017	29.08.2018	544	19292
BE-SO-AG-LU	Aiko	m	10.03.2021	04.05.2022	413	19761
BE-SO-AG-LU	Foro	m	19.03.2021	17.12.2021	266	12690
BE-SO-AG-LU	Bubu	m	22.03.2021	27.05.2021	60	2914
BE-SO-AG-LU	Flick	m	26.3.2021	17.02.2022	321	15385
BE-SO-AG-LU	Sami	m	11.2.2022	21.02.2023	368	7386
BE-SO-AG-LU	Bube	m	02.03.2022	19.10.2022	224	4914
BE-SO-AG-LU	Rody	m	14.03.2022	08.05.2023	413	19654
BE-SO-AG-LU	Arvi	m	15.03.2023	31.08.2023	162	7763
BE-SO-AG-LU	Ardy	m	20.21.2011	24.10.2011	239	8845
GE-VD-F	Fabiola	f	31.03.2009	10.11.2012	1320	4474
GE-VD-F	Rouphie	f	24.11.2010	11.09.2011	291	2362
GE-VD-F	Bibiche	f	13.12.2010	24.08.2014	1350	9660
GE-VD-F	Fabiolle	f	13.12.2012	18.12.2013	370	1977
GE-VD-F	Neige	f	13.12.2012	14.05.2016	1248	12272
GE-VD-F	Cocotte	f	22.12.2012	30.05.2015	889	7781
GE-VD-F	Biolina	f	19.10.2013	13.08.2015	663	5037
GE-VD-F	Julie	f	10.02.2015	22.09.2016	590	6941
GE-VD-F	Biola	f	07.10.2021	13.09.2022	341	8150
GE-VD-F	Fernande	f	15.10.2021	16.09.2023	701	17030
GE-VD-F	Victoire	f	18.11.2021	21.05.2023	549	13330
GE-VD-F	Richesse	f	21.10.2022	21.09.2023	335	7999
GE-VD-F	Collioud	m	04.11.2010	01.10.2013	1062	7405
GE-VD-F	Baron	m	15.11.2010	08.09.2012	663	4227
GE-VD-F	Daille	m	18.11.2010	04.10.2011	320	2243
GE-VD-F	Miolan	m	16.11.2011	13.02.2013	455	2707
GE-VD-F	Courtois	m	22.12.2011	07.12.2012	351	2460
GE-VD-F	Prince	m	04.10.2012	17.10.2014	743	4758
GE-VD-F	Obelix	m	24.12.2012	09.03.2015	805	7685
GE-VD-F	Titan	m	13.03.2013	11.03.2015	728	5667
GE-VD-F	Tictac	m	15.03.2013	16.09.2013	185	1312
GE-VD-F	Junior	m	14.10.2013	04.11.2015	751	6725

GE-VD-F	Richard	m	12.10.2022	20.12.2022	69	1542
GE-VD-F	Tirion*	m	31.10.2022	03.12.2022	33	791
ZH-AG-ZG-LU	Amanda	f	31.01.2022	30.05.2023	483	11450
ZH-AG-ZG-LU	Erika	f	21.01.2023	17.05.2023	114	2730
ZH-AG-ZG-LU	Frieda*	f	28.03.2023	31.05.2023	62	1392
ZH-AG-ZG-LU	Beni	m	18.02.2022	25.05.2023	459	11008
ZH-AG-ZG-LU	Christoph	m	04.03.2022	09.11.2022	247	5928
ZH-AG-ZG-LU	Dario	m	28.03.2022	25.05.2023	421	10096

* Für diese Individuen waren an <45 Tagen Positionsdaten vorhanden, so dass die Ermittlung der Streifgebietsgrössen nicht möglich war.

3.3.2 Konnektivitätsmodellierung

In einem ersten Schritt testeten wir die Möglichkeit, die Widerstandsliste zu verwenden, die für das Genfer Becken auf der Grundlage der GPS-Peilungen aus den Besunderungen 2009 – 2016 erstellt worden waren. Diese Modelle erwiesen sich jedoch als zu ungenau, wenn sie mit den Daten aus dem zentralen Mittelland verglichen wurden. Wir stellten unter anderem fest, dass einige Lebensräume, die im zentralen Mittelland vorkommen, in der Genfer Region nicht vorhanden sind. Wir stellten auch Unterschiede im Wanderverhalten der Individuen zwischen den beiden Gebieten fest. Schliesslich beschlossen wir, bei der Definition unserer Modelle mehr Parameter zu berücksichtigen. So entwickelten wir eine neue Methode zur Erstellung von Konnektivitätsmodellen.

Der in dieser Arbeit verfolgte Ansatz ist in Abb. 6 dargestellt. Er besteht zunächst in der Verwendung von Werkzeugen des maschinellen Lernens, um die jährlichen Serien an GPS-Lokalisationen verschiedener Individuen in zwei Bewegungstypen aufzuteilen, die für die Parametrisierung von Kerngebieten und Korridoren nützlich sind: Verschiebungen innerhalb des Lebensraumes und innerhalb der Matrix. Anschliessend schätzten wir ein Modell der Kerngebiete anhand von Tieren, die sich nur innerhalb eines Lebensraumes bewegen (z.B. zwischen wiederholten Phasen der Nahrungsaufnahme sowie kurze Wanderungen), und ein Widerstandslandschaftsmodell unter Verwendung einer Ressourcenselektionsfunktion, die erklärt, wie die Tiere während der Bewegungen innerhalb der Matrix (grosse Bewegungen zwischen Lebensräumen: zum Wechseln von Einständen, Migration, Ausbreitung oder Erkundung) Ressourcen auswählen. Die Karten der Kerngebiete und der Widerstände in der Landschaft wurden zur Parametrisierung und Priorisierung eines Modells der prioritären Konnektivitätsgebiete verwendet, das auf einer Kombination aus einem Landschaftsgraphen, Karten aus der Schaltkreistheorie die Konnektivitätengpässe hervorheben (=pinch-points) und Karten von kumulierten Bewegungskosten.

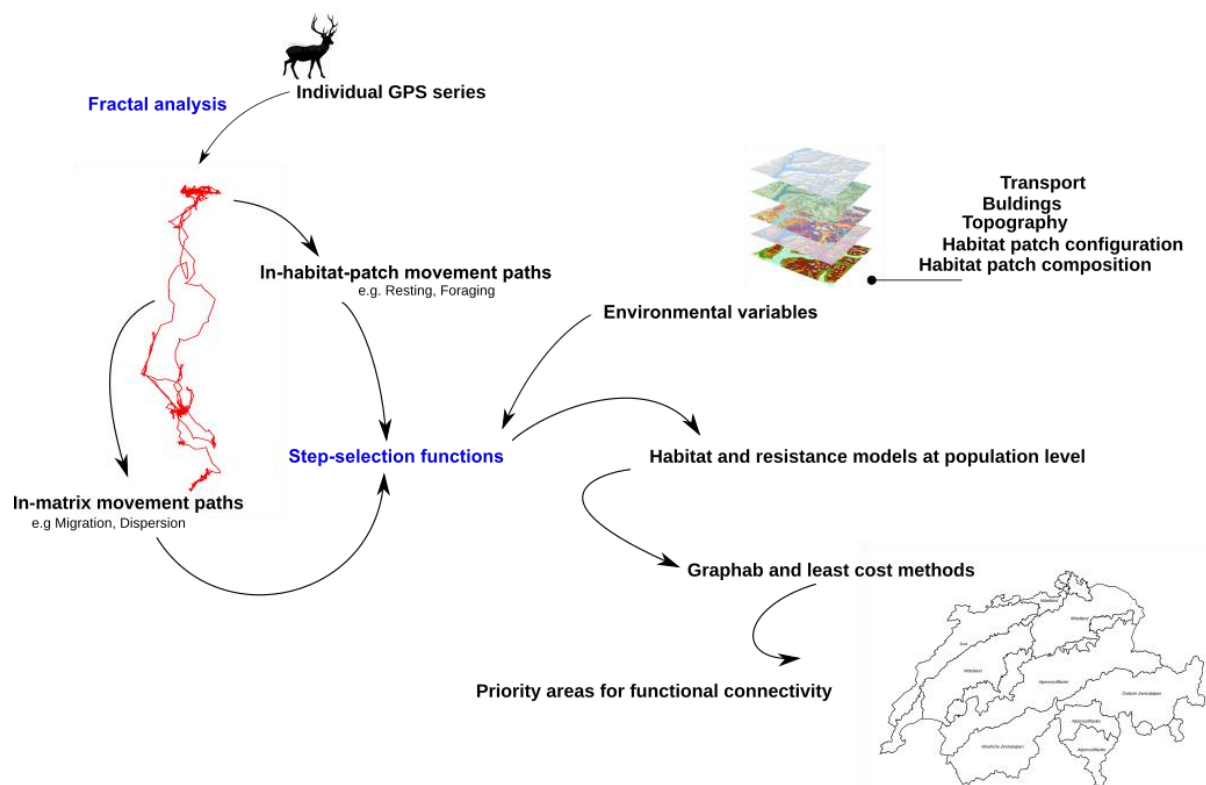


Abb. 6 : Allgemeiner Ansatz und Workflow zur Konnektivitätsmodellierung.

Untersuchungsgebiet

In diesem Kapitel befassen wir uns mit dem gesamten Schweizer Mittelland, wobei wir teilweise auch die Quellpopulationen berücksichtigen, die sich im Jura (südlicher Teil) und in den Voralpen befinden können. Ein Teil der Modelle wurde mit Hilfe von GPS-Daten kalibriert, die in den drei oben beschriebenen Untersuchungsgebieten gesammelt wurden. Die Modelle ermöglichen dann die Extrapolation der Analysen auf das gesamte Mittelland. Ein weiterer Teil der GPS-Daten sowie die Daten im Zusammenhang mit den Wildtierkameras erlauben es schliesslich, die Modelle zu validieren oder mögliche Lücken sowie Wege zu deren Behebung aufzuzeigen.

Klassifizierung von GPS-Daten in Bewegungsmuster

Um die Modelle zu erstellen, ist es zunächst notwendig, die Kerngebiete zu identifizieren. Diese entsprechen den Habitaten bzw. Habitatgruppen, die den Grossteil der benötigten Ressourcen bieten. Die Fläche der Patches mit günstigen Lebensräumen muss gross genug sein, damit die Tiere dort längere Zeit verbringen können. Sobald die Kerngebiete identifiziert sind, kann man nach potenziellen Korridoren suchen, die sie verbinden, und deren Lage und Form festlegen.

Um diese beiden Arten von Landschaftselementen auszuwählen, haben wir uns die GPS-Daten und vor allem ihre zeitliche Abfolge zunutze gemacht. So suchten wir nach einem automatisierten Weg, um festzustellen, ob sich eine Serie von Peilungen eher in einem Kerngebiet befand, oder ob es sich um eine Verschiebung zwischen Kerngebieten handelte.

Auswahl der Daten

Um auf das individuelle Bewegungsverhalten in ökologisch vergleichbaren Zeiträumen schliessen zu können, wurden die GPS-Daten jedes einzelnen Tieres in "Hirsch-Jahren", jeweils von Anfang März bis Ende Februar des Folgejahres, eingeteilt. Nur Individuen, zu denen während mindestens 240 Tagen (= 65% eines Hirschjahres) GPS-Daten vorlagen, wurden für die nachfolgenden Analysen beibehalten. Insgesamt wurden in dieser Arbeit 21 Hirschjahre und 367'470 GPS-Positionen zur Analyse der funktionalen Konnektivität von Rothirschen verwendet (Tab. 3).

Tab. 3 : GPS-Daten nach Untersuchungsgebiet, Jahr und Individuum, welche für die Konnektivitätsmodellierung analysiert wurden.

Population	Id	Sex	Deer-year	Start deer-year	End deer-year	Number of fixes	Number of days in the deer-year
BE-SO-AG-LU	Aiko	Male	2021-2022	2021/03/10	2022/02/28	16 954	355
BE-SO-AG-LU	Eika	Female	2021-2022	2021/04/15	2022/02/28	15 283	319
BE-SO-AG-LU	Eiya	Female	2020-2021	2020/03/08	2021/02/28	16 858	357
BE-SO-AG-LU	Eiya	Female	2021-2022	2021/03/01	2022/02/06	16 426	342
BE-SO-AG-LU	Flick	Male	2021-2022	2021/03/26	2022/02/17	15 677	328
BE-SO-AG-LU	Foro	Male	2021-2022	2021/03/19	2021/12/17	13 025	273
BE-SO-AG-LU	Hope	Female	2022-2023	2022/03/30	2023/02/28	15 975	335
BE-SO-AG-LU	Rody	Male	2022-2023	2022/03/14	2023/02/28	16 700	351
BE-SO-AG-LU	Ruma	Female	2021-2022	2021/03/01	2022/02/28	17 478	364
BE-SO-AG-LU	Ruma	Female	2022-2023	2022/03/01	2023/01/21	15 639	326
BE-SO-AG-LU	Zima	Female	2022-2023	2022/03/01	2023/02/28	17 462	364
BE-SO-AG-LU	Bajo	Male	2016-2017	2016-03-07	2017-04-03	13 596	358
BE-SO-AG-LU	Joba	Male	2016-2017	2016-03-14	2017-02-28	13 323	351
BE-SO-AG-LU	Joba	Male	2017-2018	2017-03-01	2018-02-28	7 943	364
BE-SO-AG-LU	Kaja	Male	2017-2018	2017-03-01	2018-02-28	12 986	364
BE-SO-AG-LU	Sipe	Male	2017-2018	2017-03-03	2018-02-28	12 863	362
BE-SO-AG-LU	Wika	Male	2013-2014	2013-03-08	2014-02-28	13 557	357
ZH-AG-ZG-LU	Dario	Male	2022-2023	2022-03-31	2023-02-28	7 952	334
ZH-AG-ZG-LU	Christoph	Male	2022-2023	2022-03-08	2022-11-09	5 707	246
ZH-AG-ZG-LU	Amanda	Female	2022-2023	2022-03-01	2023-02-28	8 560	364
ZH-AG-ZG-LU	Beni	Male	2022-2023	2022-03-01	2023-02-28	8 069	364

Fraktalanalyse von GPS-Daten

Jede Wanderung wurde 100-mal unter Verwendung von Teilern von Fest-Längen (=divider of fixed length) diskretisiert, beginnend bei 100 m und allmähliche Steigerung der Teilergrösse unter Verwendung einer geometrischen Progression, bis die Teilergrösse ein Drittel der grössten Entfernung zwischen allen GPS-Fixpunkten erreicht. Die Kosinuswerte der Abbiegewinkel für jedes Paar benachbarter Teiler wurden für den gesamten diskretisierten Pfad berechnet. Die Autokorrelation der Abbiegewinkel (d.h. der Grad der Ähnlichkeit zwischen einem Abbiegewinkel und dem nächsten entlang der Strecke) wurde für jede der 100 diskretisierten Strecken erstellt. Nach den Erkenntnissen von Nams (2004) ermöglicht die Autokorrelation der Abbiegewinkel bei unterschiedlichen Teilergrössen die Ermittlung der räumlichen Skala, auf der das Tier zwischen Bewegungen innerhalb eines Habitatpatches (im Folgenden als "in-patch" bezeichnet) und gerichteten Bewegungen zwischen den

Habitatpatches (im Folgenden als "in-matrix" bezeichnet) wechselt. Um die beobachtete Beziehung zwischen Teilergrösse und Autokorrelation mit einem theoretischen Modell einer uneingeschränkten Bewegung zu vergleichen, wurde ein korrelierter Zufallsweg (correlated random walk, CRW) mit identischer Anzahl von GPS-Peilungen auf der Grundlage des Mittelwerts und der Standardabweichung der beobachteten Schrittlänge des GPS-Pfades erzeugt.

Mittelwert und Standardabweichung des Autokorrelationsmasses wurden dann für jede Teilergrösse berechnet, indem der Startpunkt des CRW-Pfades 100-mal variiert wurde. Die Abweichung zwischen dem theoretischen und dem beobachteten Wert der Autokorrelation wurde mithilfe des z-Scores geschätzt. Ein positiver z-Score zeigt an, dass das Tier zwei Bewegungstypen zeigt, d.h. eine Bewegung innerhalb eines Habitatpatches, die mit einer gerichteten Bewegung zwischen den Habitatpatches durchsetzt ist. Ein negativer z-Score zeigt an, dass das Tier nur ein einziges Bewegungstyp innerhalb des Habitatpatches ausführt, die durch die Grösse des Patches, in dem es sich aufhält, eingeschränkt wird. Die Verteilung des z-Scores wurde daher für jedes Tier verglichen, und jede Wanderbewegung wurde entsprechend in einziges und doppeltes Bewegungsmuster eingestuft. Tiere, die zwei Bewegungstypen zeigten, wurden für die nachfolgenden Analysen beibehalten.

Unter den ausgewählten Tieren wurden diskretisierte Wanderbewegungen mit Teilergrössenwerten, bei denen die z-Werte im 10 % höheren Dezil lagen, einer Clusterung unterzogen, um die Teile der Flugbahn, bei denen die Bewegung eher "in-patch" ist, von denen zu unterscheiden, die eher "in-matrix" sind. Kmeans-Zeitreihen über die zeitliche Variation der Teiler-Wendewinkel wurden verwendet, um Abschnitte der Strecke zu gruppieren, in denen ähnliche Wendewinkel auftreten. Serien mit grossen Drehwinkeln wurden als "in-patch" kategorisiert, während kleine Drehwinkel wahrscheinlich eine Bewegung zwischen "patches" darstellen. Anschliessend wurde jeder GPS-Punkt, der sich innerhalb eines bestimmten Paares von Teilern befand, entsprechend der vorhergesagten Klasse dieses Paares klassifiziert.

Die Klassenspezifität (d.h. wie gut die Klassen des diskretisierten Pfades die tatsächliche Bewegung der Rothirsche beschreiben) für jede der ausgewählten Teilergrössen wurde durch Berechnung der Nettoquadratverschiebung (Net-Square-Displacement NSD) auf jedem Pfadabschnitt bewertet. Zur Bewertung der Spezifität wurden zwei Masse für die Verschiebung verwendet: die Summe der NSD innerhalb des Pfadabschnitts, die den Umfang der Tierbewegungen von ihrem Ausgangspunkt aus darstellt, und die endgültige NSD (d.h. die Nettoquadratverschiebung vom ersten Punkt zum letzten Punkt des Pfadabschnitts), die beschreibt, ob das Tier auf dem Pfadabschnitt in die Nähe seines Ausgangspunkts zurückgekehrt ist. Beide Grössen wurden einem Kruskal-Wallis-Test unterzogen, bei dem der vermutete Bewegungstyp als erklärende Variable verwendet wurde, und die Spezifität wurde anhand der aus dem Modell gewonnenen Chi-Quadrat-Statistik bewertet. Anschliessend wurden die Chi-Quadrat-Werte zwischen jeder ausgewählten Teilergrösse und jedem der beiden Masse verglichen, um die Teilergrösse und die NSD-Statistik auszuwählen, die die höchste Dichotomie zwischen den beiden Bewegungstypen erzeugt.

Schliesslich haben wir den Gaußschen Mischungsalgorithmus auf die ausgewählte NSD-Statistik angewandt, um die Bewegungsklassifizierung entsprechend der internen Variation der NSD-Statistik für einen bestimmten Rothirschpfad fein abzustimmen. Dieses Verfahren ermöglicht es, das letzte Paar von Teilern einer bestimmten Klasse zuzuordnen, was mit dem ersten Klassifizierungsalgorithmus nicht möglich ist, da es keinen folgenden Drehwinkel gibt, sowie eine robustere Zuordnung eines Bewegungsmusters zu Übergangspunkten des diskretisierten Pfades, d.h. wenn das Tier zwischen "in-patch"-Bewegungen und "in-matrix"-Bewegungen wechselt.

3.3.3 Modell für die Auswahl von Lebensräumen

Umwelt-Kovariablen

Um die Ressourcenselektion der Rothirsche während der Wanderung zu quantifizieren, verwendeten wir eine Kombination aus kategorialen und kontinuierlichen Variablen auf der Grundlage räumlicher Ebenen, um den Einfluss von Lebensraumkategorien, Walddichte, Topografie und menschlicher Infrastruktur in die Analyse einzubeziehen (Maclure et al. 2016, Sigrist et al. 2022, Urbina et al. 2023).

Eine kategoriale Habitatkarte wurde aus der Habitatkarte der Schweiz V.1 (Price et al. 2023) erstellt. Sie wurde auf der Grundlage der zuvor von Grima & Fischer (2023) erstellten Rasterkarte in 20 für die Untersuchung der funktionalen Konnektivität des Rothirsches relevante Kategorien gerastert (Abb. 7).

Aus den Waldflächen der in dieser Arbeit entwickelten Habitatkarte wurde eine Walddichtekarte erstellt, weil in vom Menschen geprägten Landschaften beobachtet wurde, dass einige Rothirsche tagsüber Wälder als Deckung und offene Flächen in der Nähe von Wäldern zur Nahrungssuche nutzen (Fischer et Ranzoni 2017). Bewaldete Lebensräume können auch als Trittsteine bei grossen Wanderungen wie Migrationsbewegungen oder Dispersion dienen. Um die Rolle der Wälder als Trittsteine während der Wanderung zu berücksichtigen, haben wir die Walddichte in das Modell einbezogen. Die Walddichte entspricht der Anzahl der Pixel mit Wald (Nadel-, Laub- und Feuchtwälder gemäss der Originalkarte von Price et al. 2023), innerhalb eines Radius von 50 m um jeden Pixel auf nationaler Ebene.

Die Topografie wurde auf der Grundlage des grossräumigen topografischen Modells der Schweiz swissTLM3D V.2.1 (swisstopo 2023) erstellt. Wir haben nur die Steigungsvariable beibehalten, da das Schweizer Mittelland den niedrigsten Anteil des gesamten Höhengradienten in der Schweiz ausmacht, was bei der Interpolation des Modells auf das gesamte Schweizer Territorium zu einem Bias bei der Schätzung seiner Auswirkungen führen könnte.

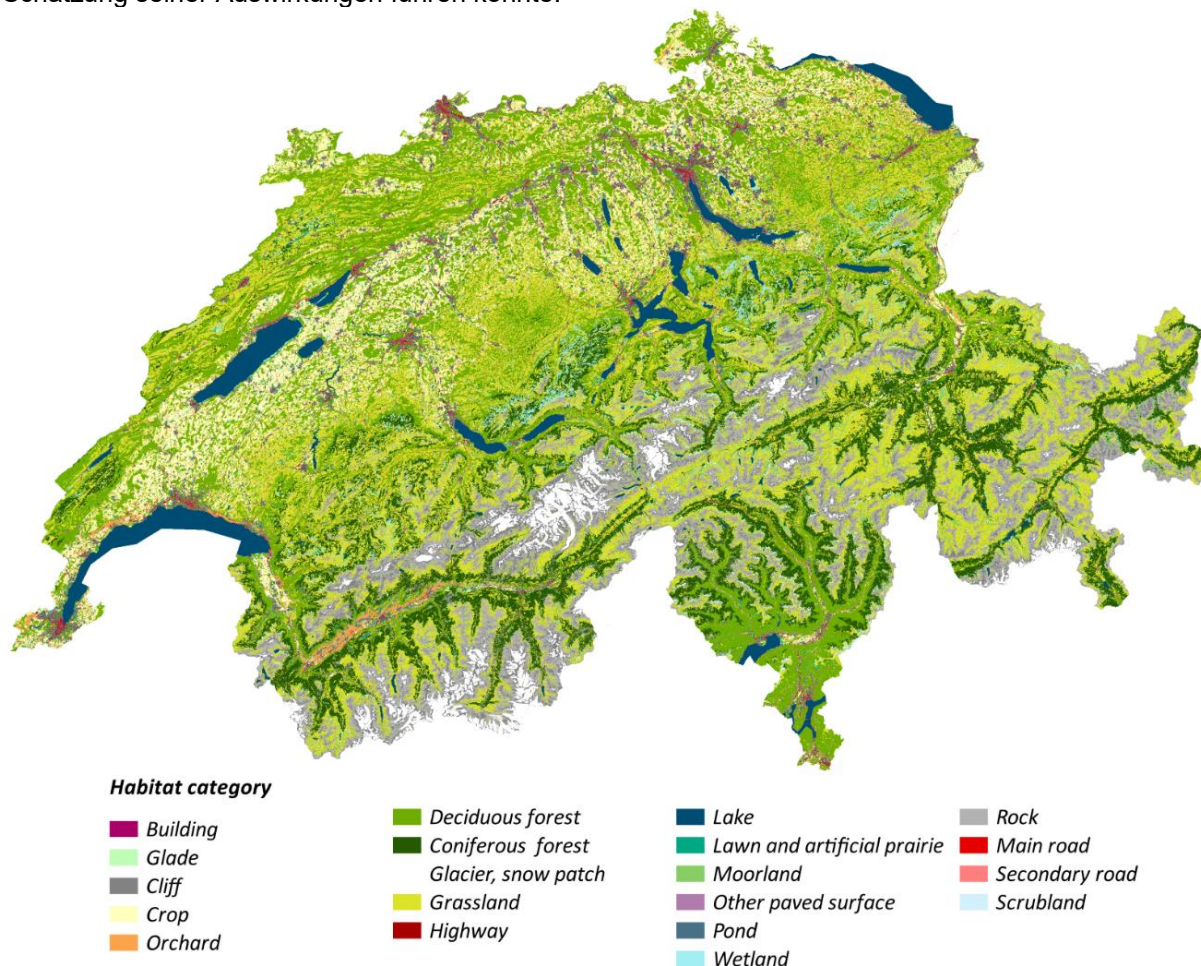


Abb. 7 : Lebensraumkarte und die 20 Kategorien bedeutender Lebensräume für die Untersuchung der funktionalen Konnektivität für Rothirsche.

Das Schweizer Mittelland ist ein Gebiet, das durch menschliche Infrastrukturen stark fragmentiert ist (Jaeger et al. 2008). Um ein Modell der Ressourcenselektion auf nationaler Ebene zu extrapolieren, ist es von grundlegender Bedeutung, die ökologischen Auswirkungen menschlicher Infrastrukturen auf die Ressourcenselektion während der Wanderung zu berücksichtigen. In der Schweiz sind alle Autobahnen eingezäunt, daher wurde nur die Wirkung der Autobahnoberfläche berücksichtigt, da Rothirsche diese Art von Barrieren nicht überwinden können. Da ausserdem beobachtet wurde, dass Rothirsche auch

Gebiete in der Nähe von Autobahnen nutzen können, könnte der Einbezug der Entfernung oder Dichte für diese Variable zu einem Bias des Modells führen. Für andere Arten von Verkehrsinfrastrukturen wie Haupt- und Nebenstrassen sowie Gebäude wurden sowohl die Dichte als auch die Entfernung berücksichtigt, da Rothirsche bei ihren Wanderungen zwar Strassen überqueren, aber nur selten, wenn ihre Dichte wichtig ist, wie z.B. innerhalb von Ortschaften oder Städten (Anhang B.1. und B.2.).

Widerstandsmodell

Für die gesamte Schweiz wurde ein Widerstandsraster erstellt, indem für jede Rasterzelle ein Widerstandswert gemäss einem additiven Modell (conditional cox-hazard) zugewiesen wurde, welcher die Lebensraumklasse und die verschiedenen oben beschriebenen anthropogenen Variablen umfasst. Anschliessend wurden Step-Selection-Functions (SSF) auf die Rothirschstrecken angewendet, um 10 Zufallspunkte an jedem Schrittlänge zu generieren. Diese Daten sind in ein generalisiertes lineares gemischtes Modell (Generalised Linear Mixed Effects Model, GLMM) eingeflossen, um jeden Satz von tatsächlich aufgezeichneten GPS-Lokalisationen mit den entsprechenden zufälligen Schritten unter Verwendung der Poisson-Regression zu vergleichen (used vs. available Ansatz). Die Einflüsse der einzelnen Kovariaten werden durch die jeweiligen Selektionskoeffizienten angegeben. Lebensraumklassen, die aufgrund der sehr geringen Anzahl von Punkten, die in diese Kategorien fallen, nicht bewertet werden konnten (d. h. Gebäude, Seen, Teiche, Autobahnen, Gletscher, Klippen und Sumpfgebiete), wurden mit dem kleinsten Wert der resultierenden Selektionskoeffizienten belegt, um sie im Widerstandsmodell nicht als unpassierbar erscheinen zu lassen. Das Ergebnis des additiven Modells für jede Rasterzelle wurde dann in die Lebensraumeignung umgewandelt, indem die Werte der Zellen auf einen Bereich zwischen 0 und 1 normalisiert wurden. Schließlich wurden die Widerstände abgeleitet, indem eine Exponentialgleichung auf die Werte der Lebensraumeignung angewendet wurde (Keeley et al. 2016) und eine Konstante $C=4$ verwendet wurde, wie von Urbina et al. (2023) vorgeschlagen.

Auswahl der Grösse der Kerngebiete

Die minimale Grösse der Kerngebiete, die für Rothirsche geeignet ist, wurde geschätzt, indem ein gemeinsamer Schwellenwert für die drei Untersuchungsgebiete mit GPS-Daten berücksichtigt wurde. Die kleinste Patch-Grösse wurde nicht berücksichtigt, da die Variabilität zwischen den Untersuchungsgebieten und zwischen den Individuen innerhalb eines Untersuchungsgebiets sehr hoch ist. Je kleiner das betrachtete Kerngebiet ist, desto mehr Kerngebiete müssten berücksichtigt werden, was die Modellberechnung erheblich erschweren würde. Waldstücke unterhalb einer minimalen Kerngebietsgrösse von 150ha wurden aus dem Landschaftsdiagramm entfernt, um spätere Analysen der Verbindungen zwischen den Kerngebieten ableiten zu können.

3.3.4 Konnektivitätsmodelle

Modellierung der funktionellen Konnektivität

Wir haben eine Kombination von drei Methoden, die im Naturschutz häufig zur Entscheidungsfindung herangezogen werden, angewendet: Graphentheorie, Schaltkreis-theorie und Least Cost Theorie. Wie in der Arbeit von Urbina et al. (in-review) vorgeschlagen, haben wir diese drei Methoden kombiniert, um die Struktur des ökologischen Netzwerks und der biologischen Wanderkorridore hervorzuheben, die während gerichteter (z.B. Wanderungen) und erratischer (z.B. Nomadismus und/oder Dispersion) Bewegungen genutzt werden. Zur Modellierung der funktionalen Konnektivität haben wir drei Karten der Konnektivität entwickelt. Zunächst wurde ein Landschaftsdiagramm erstellt, um die Struktur des ökologischen Netzwerks für Rothirsche als Knoten und Verbindungen darzustellen. Dann wurden Konnektivitätsengpässe modelliert, um Korridore hervorzuheben, die bei Erkundungs- oder Ausbreitungsbewegungen genutzt werden. Schliesslich wurde eine Karte der kumulierten Kosten erstellt, um auch schmale Korridore zu berücksichtigen, die bei gerichteten Bewegungen wie der Migration genutzt werden.

Landschaftsdiagramm

Der Landschaftsgraph wurde zwischen den Kerngebieten erstellt, indem ein planarer Graph zwischen den Knotenzonen aufgebaut wurde. Diese Art von Graph ermöglicht es, alle möglichen Verbindungen abzuschätzen und gleichzeitig zu vermeiden, dass sich diese gegenseitig kreuzen. Auf diese Weise ist

es möglich, die Anzahl der Verbindungen und damit die Berechnung der kumulierten Kosten zwischen den Kerngebieten zu reduzieren. Die Verbindungen wurden mit einem euklidischen Abstand von höchstens 30 km und unter Verwendung von Graphab V.2.8 (Foltête et al., 2021) gezeichnet, wie von Urbina et al. (2023) für Rothirsche vorgeschlagen.

Konnektivitätsengpässe

Eine Karte der Stromdichte (die Bewegungsintensität) wurde mit der Software Circuitscape V5 in der Sprache Julia erstellt (Anantharaman et al. 2020). Sie stellt die Wahrscheinlichkeit der Nettobewegung zwischen Lebensraumflecken dar. Diese Karte bietet die Möglichkeit, Engpässe in der Vernetzung oder Gebiete hervorzuheben, in denen aufgrund der Knappheit an alternativen Passagen eine hohe Bewegungswahrscheinlichkeit zu erwarten ist, was sie sehr anfällig macht. Die aktuellen Dichtewerte der Karte wurden in Dezile eingeteilt, von geringer Bewegungswahrscheinlichkeit oder unpassierbaren Gebieten (erstes Dezil) bis zu hoher Bewegungswahrscheinlichkeit oder Engpässen in der Vernetzung (letztes Dezil).

Um Circuitscape zu parametrisieren, verwendeten wir die im vorherigen Abschnitt beschriebene Widerstandskarte, indem wir den von Pelletier et al. 2014 vorgeschlagenen Kachelansatz verfolgten. Ein Pinch-Point-Konnektivitätsmosaik wurde dann für das Untersuchungsgebiet erstellt, indem es in eine Reihe von überlappenden kleineren quadratischen Kacheln unterteilt wurde (Abb. 8A). Um jede Kachel wurde ein Puffer von 100 % hinzugefügt, um den Randeffect zu minimieren und um Berechnungsbereiche für die Verarbeitung in Circuitscape zu schaffen (Abb. 8A). Die gerichtete Stromdichte wurde für jedes Berechnungsgebiet sowohl in Nord-Süd- als auch in Ost-West-Richtung geschätzt, indem ein Knotenpaar mit einer Breite von einem Pixel in den äussersten Punkten der Berechnungsgebiete platziert wurde, wie in den (Abb. 8B-C) dargestellt. Die Richtungsergebnisse wurden addiert, um eine omnidirektionale Schätzung der Stromdichte für jedes der Berechnungsgebiete zu erhalten. Schliesslich wurde der Puffer um die bearbeiteten Gebiete herum abgeschnitten und mit Hilfe von QGIS V. 3.22 (QGIS.org 2023) zu einem Stromdichtemosaik zusammengesetzt.

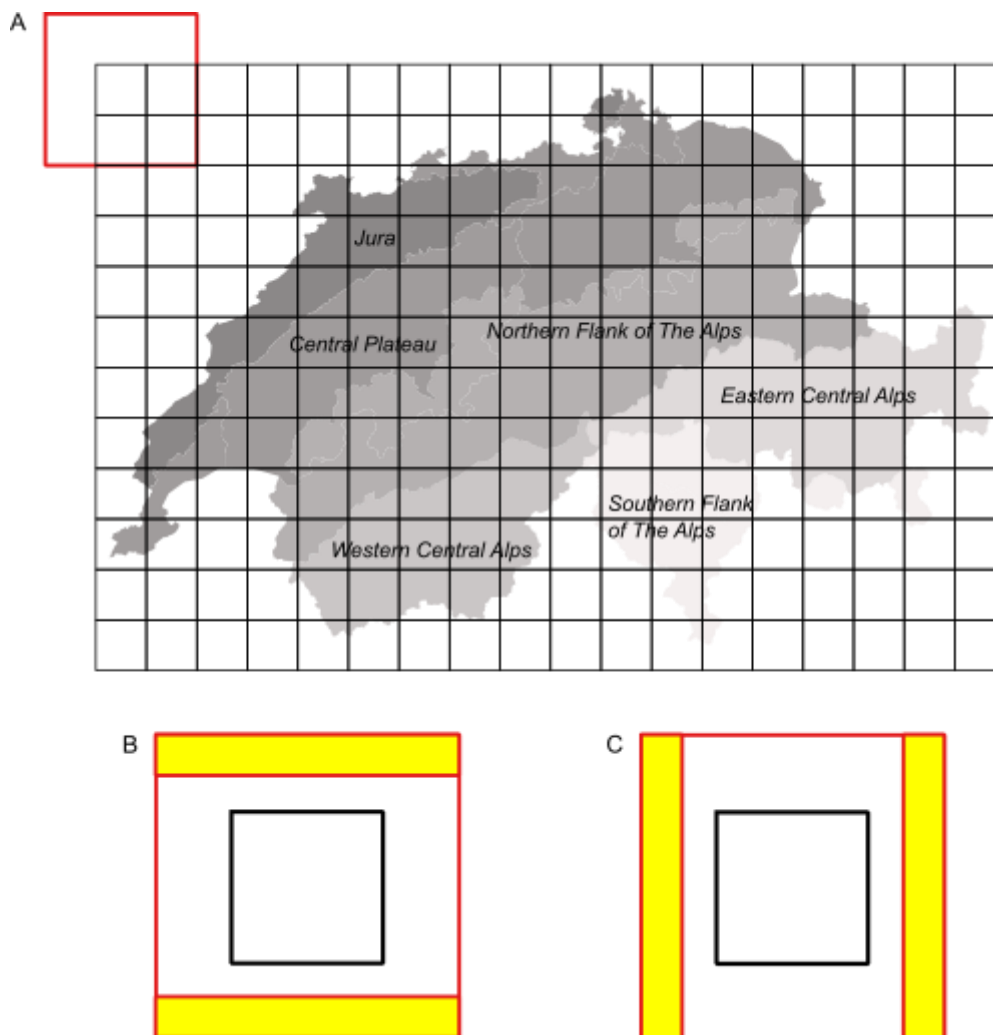


Abb. 8 : Kachelansatz, der zur Schätzung der Stromdichte auf der Ebene des Schweizer Mittellandes verwendet wurde. A: Kachelgitter (schwarzes Gitter), das zur Erstellung eines Stromdichte-Mosaiks für das Untersuchungsgebiet erstellt wurde, und ein Beispiel für eines der überlappenden kleineren Quadrate, die in Circuitscape verarbeitet werden (rotes Quadrat). B: Ein Detail eines Berechnungsgebiets (rotes Quadrat), das aus einem 100%-igen Puffer um die Kachel (schwarzes Quadrat) und zwei Knoten im äussersten Norden und Süden des Berechnungsgebiets besteht; Circuitscape wurde zwischen den Knoten ausgeführt, um die Stromdichte in Nord-Süd-Richtung zu schätzen. C: Ein Ausschnitt aus demselben Berechnungsgebiet und zwei Knoten, die in den äussersten östlichen und westlichen Bereichen des Quadrats platziert wurden; Circuitscape wurde zwischen den Knotenpunkten ausgeführt, um die Stromdichte in Ost-West-Richtung zu schätzen.

Kumulierte Kosten

Die kumulativen Kostenflächen geben die Gesamtwahrscheinlichkeit der Bewegung zwischen Knotenpunkten (Verallgemeinerung des Weges mit den geringsten Kosten) und einer Hierarchie biologischer Korridore an. Die Werte spiegeln die Energiekosten oder die theoretische Risikobereitschaft der Individuen während der Bewegungen wider. Das Ergebnis der kumulativen Kosten wurde in Dezile eingeteilt, von bevorzugten Korridoren (erstes Dezil, niedrige kumulative Kosten) bis zu Barrieren (letztes Dezil, hohe kumulative Kosten). Die kumulativen Kosten wurden mit Hilfe von aufeinanderfolgenden Werkzeugen aus der Spatial Analyst Toolbox in ArcGIS Pro 2.9.3 quantifiziert, die in ModelBuilder-Tools zusammengefasst sind.

Das Hauptmodell wird mit Hilfe der zuvor generierten Eingabedaten parametrisiert: die Polygone der Knotenzonen, das Widerstandsraster und eine Liste von Knotenzonenpaaren, die aus dem Landschaftsdiagramm resultieren. Der Prozess beginnt mit einem Teilprozess zur Berechnung der Kostenabstände für jede betrachtete Knotenzone. Ein weiterer Teilprozess generiert die Korridore mit den geringsten Kosten unter Verwendung der Ergebnisse des vorherigen Schritts für jedes Paar von

Knotenzonen, die im Landschaftsdiagramm berücksichtigt wurden. Schliesslich werden die Ergebnisse der vorangegangenen Stufe durch Iteration mit Hilfe der Zellstatistik ("Minimum"-Statistik) aggregiert, die es ermöglicht, die günstigsten kumulativen Kosten für jede Zelle im Gebiet zu berücksichtigen, wobei alle Paare von Knotenzonen kombiniert werden.

Prioritätensetzung

Um eine einheitliche Wiedergabe für eine leichtere Interpretation der Konnektivitätsmodelle und ein einfacheres Entscheidungsinstrument zu erhalten, wurden die beiden wichtigsten Zwischenergebnisse, nämlich das Konnektivitätsengpassmodell und die kumulierten Kosten, in einer einzigen Karte unter Verwendung eines räumlichen ModelBuilder-Prozesses kombiniert. Damit wird das Verhalten des Werkzeugs Suitability Modeler in ArcGIS Pro 2.9.3 nachgebildet.

In diesem letzten Schritt werden die beiden Datensätze mit Hilfe von Transformationsfunktionen vereinheitlicht und dann zusammengefügt, um eine einzige räumliche Prioritätskarte zu erstellen, die in Dezilen auf einer Skala von hoher Priorität (letztes Dezil) bis zu niedriger Priorität (erstes Dezil) eingeteilt ist. Die Priorität Null entspricht den Regionen, die von den Tieren bei der Wanderung nicht durchquert werden können. Die höchsten Prioritäten stellen Gebiete dar, die sowohl die wahrscheinlichsten Verschiebungsgebiete als auch fehlende Alternativen sind, was die Notwendigkeit eines Managements dieser Korridore verdeutlicht.

3.4 Zusätzliche Erhebungen & Grundlagen

3.4.1 "Versteckte" Wanderhindernisse (HAFL & HEPIA)

Die Konnektivität hängt einerseits vom Bewegungswiderstand der verschiedenen Lebensräume und andererseits von den Hindernissen ab, die bestimmte natürliche Strukturen (Wasserflächen, hohe Berge) oder bestimmte anthropogene Infrastrukturen (Strassen, Gebäude) darstellen. Diese Art von Landschaftselementen ist in der Regel auf Landnutzungskarten oder Luft- und Satellitenbildern sichtbar. Sie können somit in den Modellen berücksichtigt werden, da sie in den Geodatenbanken eine "räumliche Realität" haben. Es gibt jedoch einige Elemente, die auf herkömmlichen Luftbildern nicht sichtbar sind und die nicht systematisch erhoben werden, um kartografiert zu werden. Sie können daher in den Modellen nicht berücksichtigt werden. Diese Elemente werden als "versteckte Hindernisse" betrachtet (Urbina et al. 2023, Fischer & Ranzoni 2017).

Die versteckten Hindernisse, die während der Studie über Rothirsche im Kanton Genf zwischen 2009 und 2016 anerkannt wurden, waren Zäune und Lichtverschmutzung. In der Schweiz existieren derzeit keine kartographischen Grundlagen für diese Elemente. Nur in einigen begrenzten Gebieten wurden Stichproben genommen, um die vorhandenen Zäune zu erfassen, wobei sie entsprechend ihrer Struktur nach verschiedenen Widerstandsgraden klassifiziert wurden. Diese Erhebungen wurden im Rahmen verschiedener Studentarbeiten durchgeführt (Détraz et Fischer 2022 in Genf, Federici & Fischer 2020 in einem Teil des Waadtländer Mittellandes, Lichtenberg 2021 in der Grenzregion Bern/Solothurn). In Bezug auf die Lichtverschmutzung existiert ein Modell für ein schwarzes Kontinuum unseres Wissens nur für den Kanton Genf. Diese versteckten Hindernisse können somit in unseren Modellen nicht oder nur lokal berücksichtigt werden. Das BAFU hat kürzlich ein Auftrag für das Erstellen eines „schwarzen Kontinuums“ für die ganze Schweiz erteilt. Dieser Parameter könnte in einer späteren Version des Modells einbezogen werden.

Die von den Modellen identifizierten Korridore stellen somit nur theoretische Korridore dar. Um ihre Funktionalität zu beweisen, muss man ins Feld gehen und beurteilen, ob die gewählte Strecke frei von Bewegungshindernissen ist, insbesondere von Zäunen oder künstlichen Lichtquellen, aber möglicherweise auch von anderen versteckten Barrieren, die noch nicht identifiziert wurden. Da es unmöglich ist, alle identifizierten Korridore zu validieren, haben wir unsere Methode zur Priorisierung vorgeschlagen.

Zur Erhebung des Einflusses "versteckter" anthropogener Wanderhindernisse wurden in der Grenzregion Bern/Solothurn entlang der Routen von 8 besenderten Rothirschen die genutzten Haupt- und Nebenkorridore untersucht. Mithilfe der Software QField wurden anthropogene Wanderhindernisse aufgenommen: Temporär und dauerhaft aufgestellte Weidezäune von 1–2 m Höhe, Hecken,

Pferdekoppeln sowie vereinzelte Mauerelemente in der Landschaft. Dabei wurden die Hindernisse anhand ihrer Durchlässigkeit kategorisiert und den Werten 1 für "leicht passierbar" bis 4 für "schwer passierbar" zugewiesen. Im Anschluss an diese Erhebungen im Feld wurde dann in einem zweiten Schritt anhand von Kartenmaterial, GPS-Daten und erhobenen Hindernissen interpretiert, welchen Einfluss die Hindernisse der unterschiedlichen Kategorien auf das Wanderverhalten und die Korridorwahl der Rothirsche haben.

3.4.2 Kollisionshotspots & Wirksamkeit Wildwarnsysteme (ZHAW & HEPIA)

Kollisionshotspots

Zur Identifikation von Kollisionshotspots mit dem Rothirsch und anderen Wildtieren konnten wir auf kürzlich fertiggestellte Grundlagen von Suter et al. (2021a,b) zurückgreifen. In diesen Arbeiten wurden die für das Auftreten von Wildtierunfällen relevanten Einflussfaktoren zusammengetragen und, basierend auf Unfalldaten, verschiedene räumliche Modelle zur Darstellung der Unfallwahrscheinlichkeit auf den einzelnen Strassenabschnitten generiert.

Die Arbeiten von Suter et al. (2021a,b) beinhalten auch eine aktuelle Übersicht zu den verschiedenen Massnahmen, die für die Prävention von Wildtierunfällen bislang zur Anwendung kommen, sowie eine Beschreibung von Funktionsweise, Wirksamkeit und Finanzierungsaufwand. Eine weitere umfassende Literaturrecherche von B+S AG Righetti & Eicher (2021) befasst sich ebenfalls mit dem Erfolg von Wildtiermassnahmen entlang von Verkehrsträgern.

Weil viele der vorhandenen Grundlagen nicht explizit auf den Rothirsch und/oder die Situation im Mittelland fokussieren und in der Thematik teilweise auch noch grundlegende Fragen offen sind, haben wir am 21. August 2023 einen Expertenworkshop durchgeführt. In diesem wurden unter anderem Erfahrungen zu verschiedenen Wildwarnsystemen ausgetauscht und auch spezifische Aspekte im Zusammenhang mit dem Rothirsch und der Verkehrssicherheit diskutiert.

Wirksamkeit Wildwarnsysteme

Eine mögliche Methode, um das Risiko von Kollisionen zu verringern, ist die Installation von Reflektoren an Strassenrändern, die die Aufmerksamkeit der Tiere erhöhen sollen. Ihre Wirksamkeit ist sehr umstritten und die meisten Studien beschränken sich darauf, den Unterschied in der Anzahl der Kollisionen vor und nach der Installation zu vergleichen. Andere Faktoren, wie die Entwicklung der Tierpopulation oder die Verteilung der Tiere, werden bei solchen Monitorings oftmals nicht mitberücksichtigt. Die Wirksamkeit dieser zwei Ansätze haben wir durch Verhaltensbeobachtungen sowie im Rahmen eines Workshops bewertet.

Verhaltensbeobachtungen

Mit direkten Beobachtungen haben wir das Verhalten von Rothirschen (und anderen Huftierarten) bei der Annäherung an ausgerüstete Strassenabschnitte im Vergleich zu nicht ausgerüsteten Abschnitten untersucht. Diese Beobachtungen wurden vom Ansitz aus mithilfe einer Wärmebildkamera durchgeführt (Abb. 9). Das Vorhandensein von Tieren, die mit GPS-Halsbändern besendert waren, hätten die Wahrscheinlichkeit von Beobachtungen erhöhen sollen. In diesem Zusammenhang wurden auch zwei Studentarbeiten durchgeführt (Valentinelli & Fischer 2021 und Détraz & Fischer 2022).



Abb. 9 : Beispiel einer Wärmebildbeobachtung

Workshop

Nachdem festgestellt wurde, dass die direkten Beobachtungen zu aufwändig waren (siehe Kapitel 4.6.3), wurde ein Workshop zu Methoden zur Reduktion von Kollisionen mit Wildtieren organisiert. Das Zielpublikum waren die Mitarbeiter der kantonalen Jagd- und Strassenverkehrsämter. Der Workshop war in zwei Teile gegliedert: ein theoretischer Teil, in dem praktische Erfahrungen vorgestellt wurden, und ein zweiter Teil, der auf drei Arbeitsgruppen mit Erfahrungsaustausch der Teilnehmer basierte. Die drei Arbeitsgruppen behandelten folgende Themen: 1) Erfahrungen mit verschiedenen Warnsystemen für Wildtiere und Menschen, 2) Gefahren mit der Rückkehr des Rothirschs ins Mittelland und geeignete Lösungsansätze, 3) Bedeutung einer Wildunfallsstatistik und Möglichkeiten eines schweizweiten systematischen Unfallprotokolls.

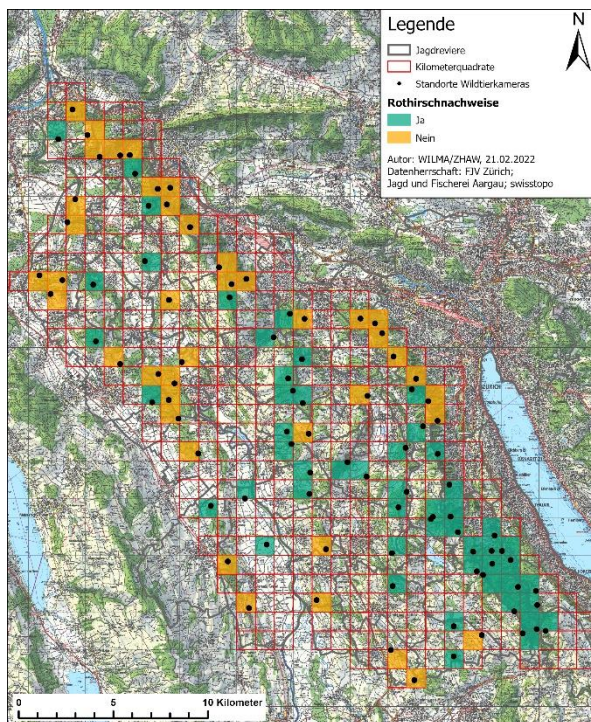
4 Resultate & Diskussion

4.1 Aktuelle Vorkommen & Verbreitung

4.1.1 Albiskette/Reusstal (ZHAW)

Mit dem systematischen Wildtierkameranonitoring in der Albiskette/Reusstal konnten in den Untersuchungsperioden Oktober 2020 – September 2021 und Oktober 2021 – September 2022 jeweils in 53 der insgesamt 95 Kilometerquadrate Rothirsche nachgewiesen werden (Abb. 10). Es zeigte sich, dass Rothirsche im südöstlichen Bereich des Perimeters in der Umgebung des Sihlwalds (inkl. Wildnispark Zürich) besonders flächig verbreitet sind. Ebenso kommen sie in Teilen des Reusstals und teilweise auch in den unmittelbar an die Stadt Baden angrenzenden Wäldern ganz im Norden des Perimeters vor. Hingegen konnten in den direkt an die Stadt Zürich angrenzenden Waldbereichen keine Rothirsche nachgewiesen werden.

a) Berichtsperiode Oktober 2020 – September 2021:



b) Berichtsperiode Oktober 2021 – September 2022:

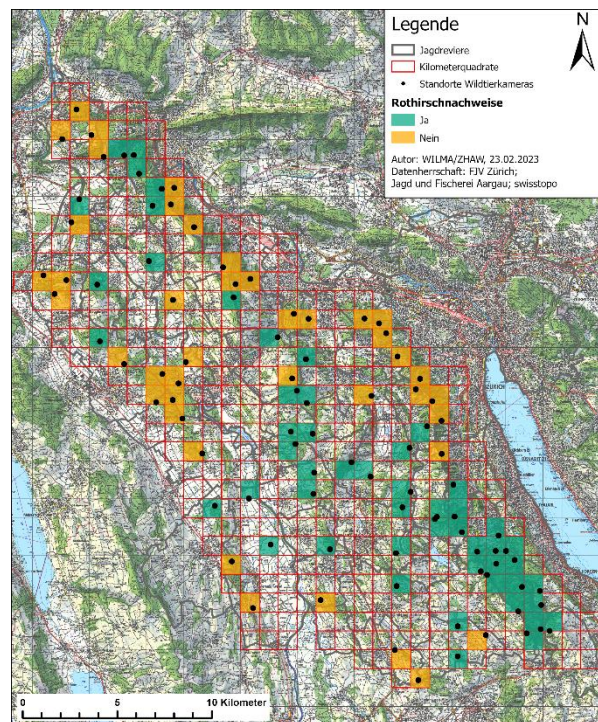


Abb. 10 : Perimeter des Wildtierkameranonitorings Albiskette/Reusstal mit den Standorten der 95 Wildtierkameras (schwarze Punkte) in den 95 systematisch ausgewählten Kilometerquadraten (ausgefüllte Flächen im roten Rastergitter). a) Rothirschnachweise während der Untersuchungsperiode Oktober 2020 – September 2021 und b) Rothirschnachweise während der Untersuchungsperiode Oktober 2021 – September 2022. Kilometerquadrate mit Rothirschnachweisen in der jeweiligen Untersuchungsperiode sind grün eingefärbt, Kilometerquadrate ohne Rothirschnachweise orange

Eine monatliche Betrachtung der Rothirschnachweise zeigt, dass die Vorkommen des Rothirschs im Perimeter stark saisonal geprägt sind. So verringerte sich die Verbreitung im Verlauf der Wintermonate deutlich und erreichte jeweils etwa in den Monaten Februar – März das jahreszeitliche Minimum (siehe exemplarisch Abb. 11). Dann erfolgten die Rothirschnachweise fast ausschliesslich nur noch in einigen Kilometerquadraten im Bereich des Sihlwalds bzw. Wildnispark Zürich. Im späteren Jahresverlauf wurden die Rothirsche wieder zunehmend weiträumig nachgewiesen, mit einer maximalen räumlichen Verbreitung um die Monate August – September. Aber auch in diesen beiden Monaten wurden die meisten Rothirschnachweise jeweils im Bereich des Sihlwalds bzw. Wildnispark Zürich erbracht. Die dortigen Wälder scheinen für die Rothirschpopulation im Untersuchungsgebiet demnach ganzjährig ein wichtiges Einstands- bzw. Rückzugsgebiet zu sein.

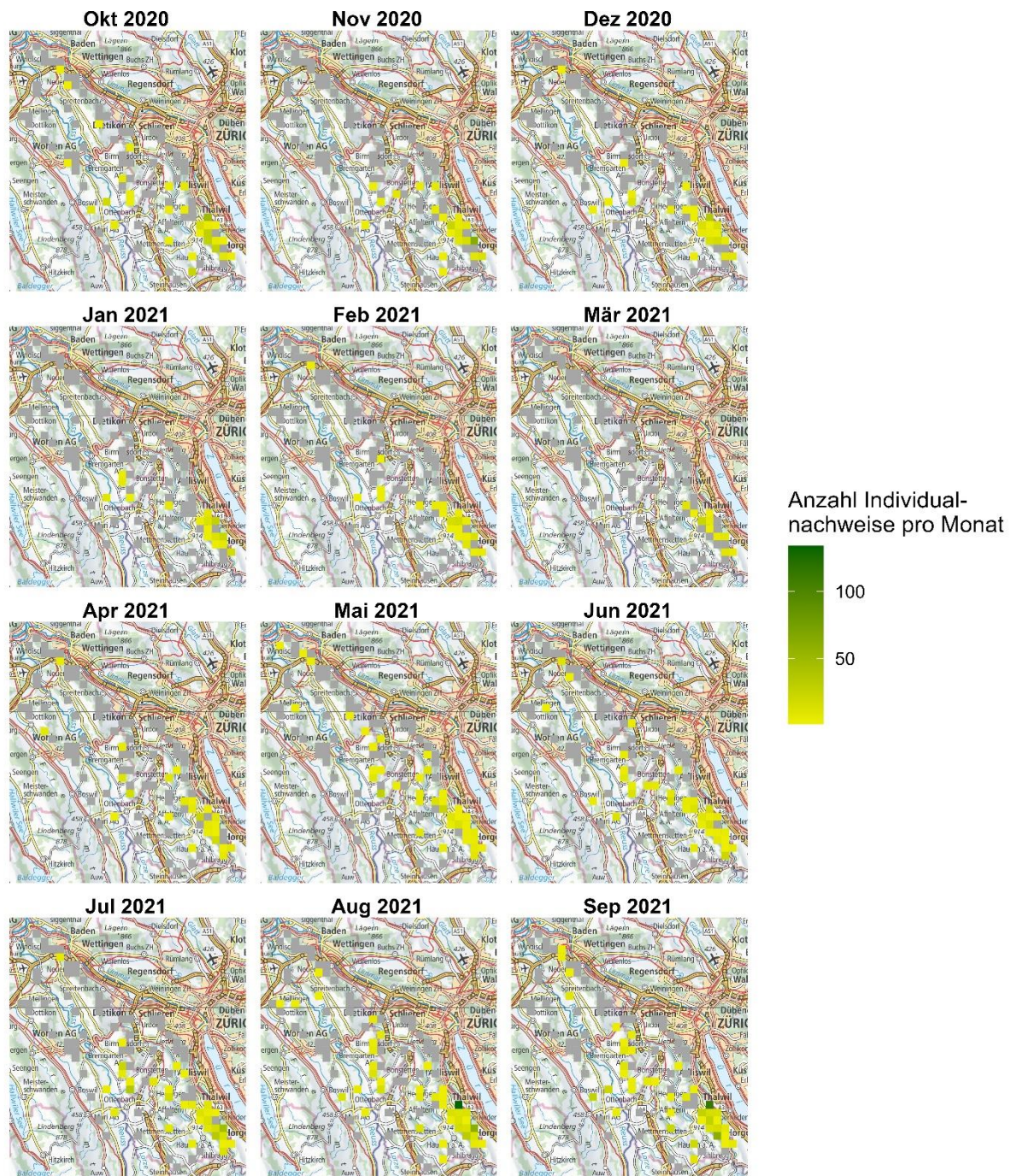


Abb. 11 : Monatliche Nutzung der Kilometerquadrate durch Rothirsche im Wildtierkameraperimeter während der exemplarischen Untersuchungsperiode Oktober 2020 – September 2021, dargestellt als Anzahl Individualnachweise pro Kilometerquadrat (grün = viele Individuen, gelb = wenige Individuen, grau = keine Nachweise im jeweiligen Monat).

Während den beiden Untersuchungsperioden Oktober 2020 – September 2021 und Oktober 2021 – September 2022 wurden Rothirsche in insgesamt 1'100 bzw. 1'001 Bildsequenzen nachgewiesen und dabei total 1'646 bzw. 1'645 Individualnachweise erbracht. Die Anzahl Rothirschnachweise bewegte sich in den beiden Untersuchungsperioden demnach in einem sehr ähnlichen Umfang. Im Vergleich zum Rothirsch konnte das Reh mehr als zehnmal häufiger in Bildsequenzen und Individualnachweisen festgestellt werden und war damit die deutlich häufigste Art im Untersuchungsgebiet (siehe exemplarisch Tab. 4). Weitere häufig nachgewiesene Arten waren Rotfuchs, Dachs und auch der Rothirsch. Daneben konnten weitere Marderartige, verschiedene Vögel, Eichhörnchen, vereinzelt

Gämsen und mehrfach auch Haushunde, Hauskatzen und Hausschafe nachgewiesen werden. Zumindest in einzelnen Untersuchungsperioden gelangen zudem einmalige Nachweise von Feldhasen und Wolf. Wildschweine konnten im Rahmen des Wildtierkameramonitorings in der Albiskette/Reusstal bislang nicht nachgewiesen werden. Bilder mit Personen wurden anonymisiert dokumentiert und anschliessend gelöscht.

Tab. 4: Im Rahmen des systematischen Wildtierkameramonitorings in der Albiskette/Reusstal während der exemplarischen Untersuchungsperiode Oktober 2020 – September 2021 erbrachte Artnachweise, aufgeteilt in Anzahl Bildsequenzen und Anzahl Individualnachweise. Ein Individualnachweis entspricht der in einer Bildsequenz aufsummierten Anzahl Individuen pro Art, wobei dieselben Individuen zu verschiedenen Zeitpunkten mehrfach erfasst werden können. Aus der Anzahl Bildsequenzen oder Individualnachweise kann demnach nicht direkt auf eine Bestandsgrösse geschlossen werden.

Art	Anzahl Bildsequenzen	Anzahl Individualnachweise
Dachs	1'279	1'303
Eichhörnchen	42	44
Gämse	8	8
Hermelin	2	2
Haushund	72	77
Hauskatze	53	54
Hausschaf	19	83
Iltis	3	3
Marder (Baum- & Steinmarder)	161	164
Mensch	1'965	3'034
Reh	15'901	20'815
Rotfuchs	1'435	1'467
Rothirsch	1'100	1'646
Vogel	80	84
Wolf	1	1

4.1.2 Waadt/Freiburg (HEPIA)

Die Überwachung mit Wildtierkameras erbrachte 52'813 Ereignisse für alle Arten zusammen. Davon waren 1'160 Ereignisse auf Rothirsche zurückzuführen, 11'973 auf menschliche Aktivitäten, 3'083 wurden nicht identifiziert und der Rest auf andere Arten im Untersuchungsgebiet (Tab. 5).

Tab. 5 : Tabelle der mit Wildtierkameras überwachten Ereignisse.

Art	Unabhängige Ereignisse	Unabhängige Ereignisse	Mittlere Gruppengrösse	Relativ abundance index = RAI
Reh	14 355	17 099	1,19	0,54
Fuchs	13 080	13 289	1,02	0,49
Wildschwein	2 540	4 387	1,73	0,09
Dachs	2 031	2 124	1,05	0,08
Feldhase	1 247	1 309	1,05	0,05
Rothirsch	1 153	1 610	1,4	0,04
Marderartige	659	669	1,02	0,02
Wildkatze	16	16	1	0
Luchs	6	6	1	0
Mensch	11 808	14 797	1,25	0,44
nicht identifiziert	3 084	3 146	1,02	0,12

Diese Daten zeigten, dass es einen stabilen Kernbestand von Rothirschen in den Gemeinden Oulens-Vuarrens-Penthéréaz östlich der Autobahn A1 gibt (Abb. 12). Die Präsenz von Rothirschen ist regelmässig, wenn man die Jahreszeiten des Monitorings betrachtet (Abb. 13) und die Anzahl der Individuen ist auch stabil (Tab. 6). Bemerkenswert ist, dass der Hirsch in diesem Gebiet seit mindestens 2018 brunftet und dass in allen Jahren des Monitorings Hirschkalber beobachtet wurden. Diese Besiedlungsfront ist eindeutig mit der Wildtierpassage von Oulens verbunden. In der Tat ist die Anzahl der Hirschpassagen über dieses Bauwerk hoch und regelmässig (Abb. 14). Von den drei anderen identifizierten potenziellen Unterführungen (2 Viadukte und 1 kleine Brücke) auf dem Autobahnabschnitt zwischen Yverdon und Lausanne wurde nur ein Hirschereignis unter dem Viadukt von Bavois festgestellt. Es ist anzumerken, dass 4 der 5 Wildtierkameras unter diesem Viadukt nach einem Jahr der Überwachung gestohlen wurden. Die Anzahl der Durchgänge könnte somit unterschätzt werden, aber sie ist auf jeden Fall sehr viel geringer als die Durchgänge, die auf der Wildtierpassage von Oulens beobachtet wurden. Ausserdem hat sich die Kernpopulation ausserhalb des Hauptgebiets nur wenig ausgebreitet.

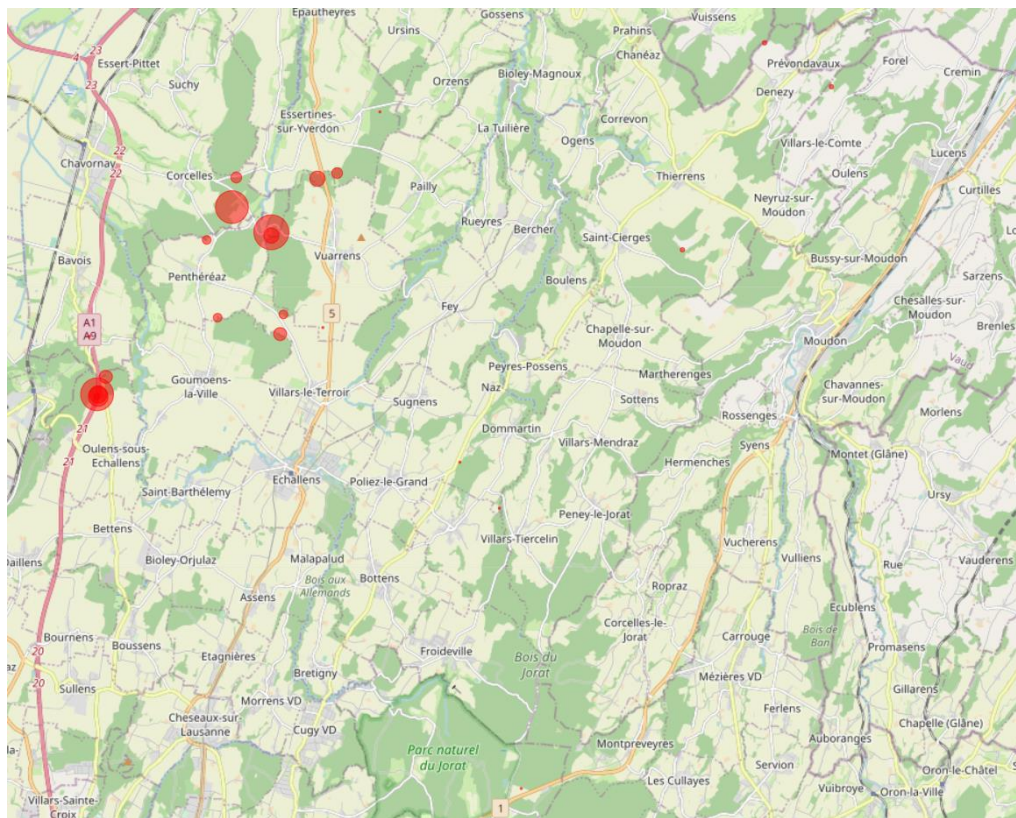


Abb. 12: Stabile Rothirschnachweise östlich der Autobahn A1. In Rot: Standorte mit Rothirschnachweisen (je grösser, desto mehr Nachweise). Der rote Kreis über der A1 entspricht die Lage der Wildtierbrücke.

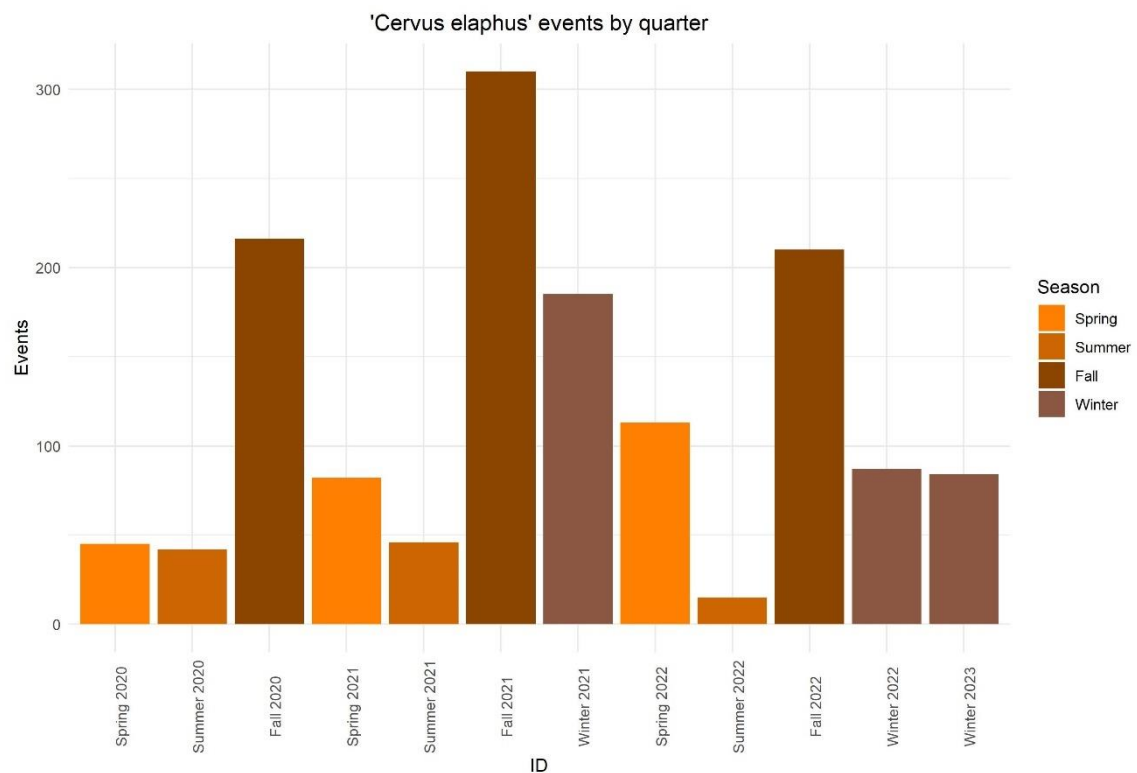


Abb. 13: Rothirschnachweise in Abhängigkeit der Jahreszeit.

Tab. 6 : Anzahl erkennbare Einzeltiere in Abhängigkeit der Jahreszeit.

		Kuh	Kalb	Stier	Total
2020	Sommer	3	2	3	8
	Herbst	3	1	4	8
2021	Winter	5	0	4	9
	Frühling	3	1	5	9
	Sommer	5	1	4	10
	Herbst	2	1	4	7
2022	Winter	3	0	5	8
	Frühling	6	2	4	12
	Sommer	2	2	2	6
	Herbst	7	0	6	13
2023	Winter	5	0	4	9

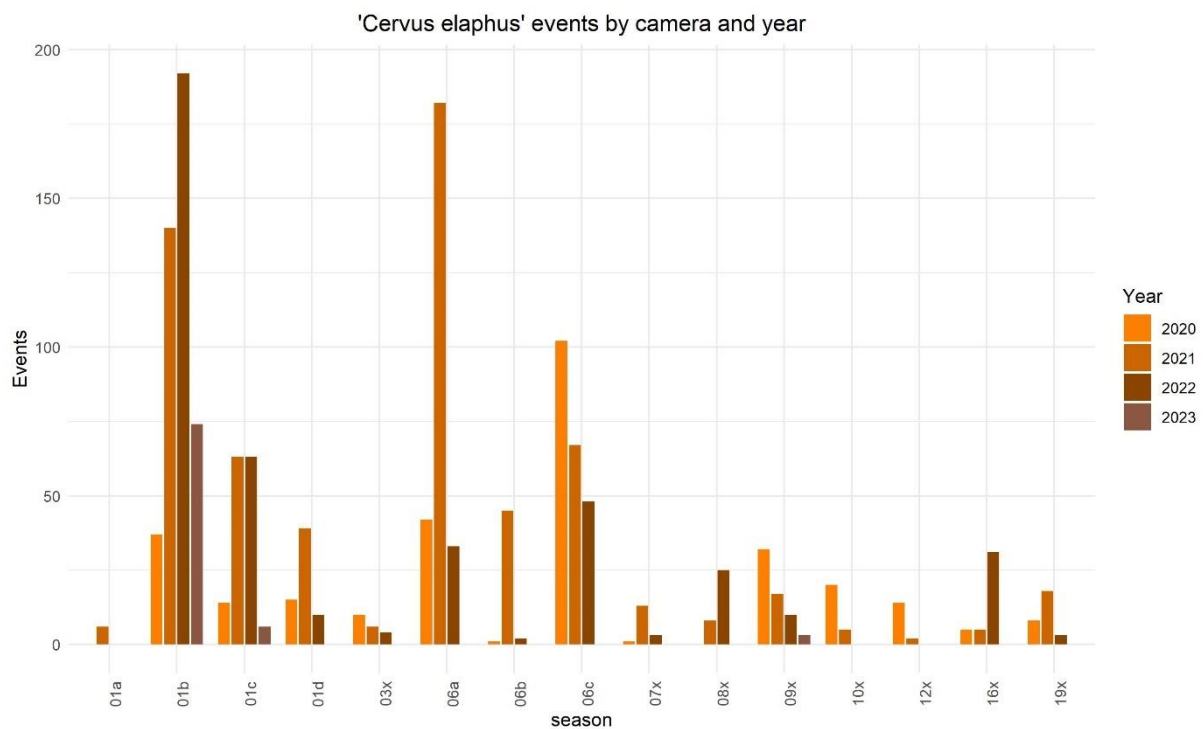


Abb. 14: Anzahl der Rothirsch-Ereignisse (Kameranummer und Jahr). Kameranummer 01a-01d = Wiltierkameras auf der Wildtierbrücke; Kameranummer 06a-06c = Haupt-Brunftplatz.

4.1.3 Zentrales Schweizer Mittelland (HAFL)

Im Zentralen Schweizer Mittelland wurde die Verbreitung der Rothirsche nicht explizit untersucht. Die Erfahrungen der letzten Jahre zeigen jedoch auf, dass die Rothirsche im angrenzenden Mittelland-Bereich der Kantone Bern, Solothurn und Aargau praktisch flächig präsent gewesen sind. Rothirsche sämtlicher Geschlechts- und Alterskategorien (d.h. Stiere, Kühe und Jungtiere) konnten in allen drei Vorkommen zwischen der Autobahn A1 (Bern-Rothrist) und der A2 (Rothrist-Luzern) festgestellt werden (in Abb. 15 orange, rot und blau eingefärbte Ellipsen). Die Nachweise beinhalten Meldungen durch die Wildhut des Kantons Bern oder die Jägerschaft (Sichtungen/Bilder, Fallwild, erlegte Tiere) der Kantone Solothurn und Aargau, aber auch Wildtierkamera-Nachweise, welche wir im Rahmen unserer Fangversuche erbracht haben. Zudem wissen wir auch von den früheren Besenderungen (Willisch et al. 2019a), dass Rothirsche in diesen Regionen ganzjährig ihren Lebensraum hatten.

Besondere Individuen hielten sich in der Vergangenheit auch schon im Bereich zwischen den Autobahnen A1 und A5 (Solothurn-Biel) auf (in Abb. 15 gelb eingefärbte Ellipse). Allerdings drangen sie nie bis in den Bucheggberg (SO/BE) und in die Nähe der A5 vor. Aus diesem Teil des zentralen Mittelland erhielten wir in den vergangenen 2-3 Jahren allerdings zunehmend Meldungen von Rothirschen. Durch unsere eigenen Tätigkeiten in diesem Raum konnten wir hier v.a. männliche Tiere nachweisen. Die Bestätigung weiblicher Tiere in der Region des Bucheggbergs konnten wir selber nicht erbringen. Meldungen aus der Jägerschaft legen jedoch nahe, dass sich zumindest zeitweise dort auch Hirschkühe (mit Jungtieren) aufhalten dürften.

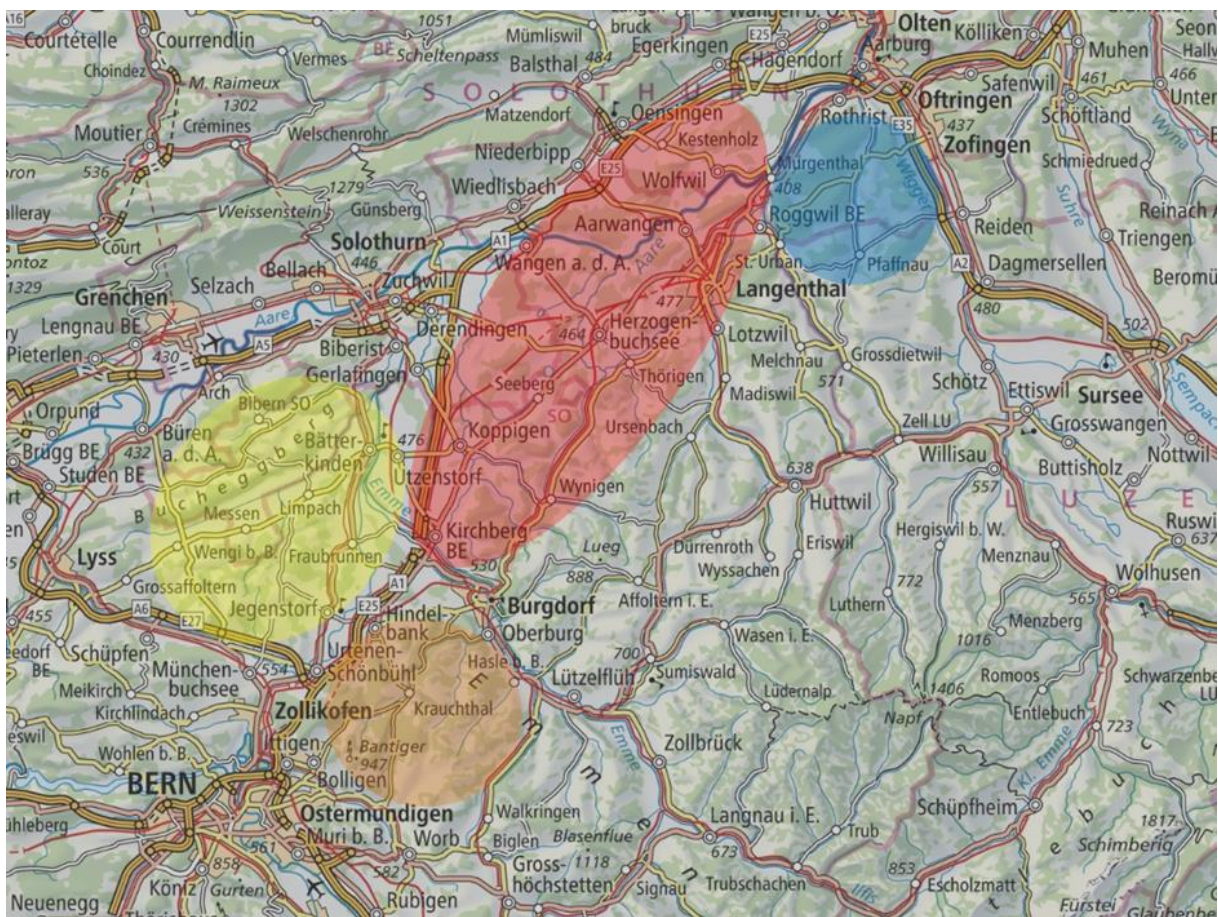


Abb. 15: Durch Sichtungen und Meldungen bestätigte Rothirsch-Vorkommen (farbige Ellipsen) im Projektgebiet des Zentralen Schweizer Mittellands.

4.1.4 Diskussion Vorkommen & Verbreitung

Unsere Untersuchungen zeigen, dass der Rothirsch in den letzten Jahren in verschiedenen Bereichen seines einstigen Verbreitungsgebiets im Schweizer Mittelland wieder vermehrt permanente Vorkommen bildet. Sowohl im Untersuchungsgebiet Albiskette/Reusstal in den Kantonen Zürich und Aargau, wie auch in der Waadt östlich der Autobahn A1 konnten mittels Wildtierkameramonitoring ganzjährige Nachweise generiert werden. Im Gebiet Albiskette/Reusstal wurden insbesondere im Bereich des Sihlwalds ganzjährig Rothirsche nachgewiesen. Dort findet der Rothirsch zahlreiche ungestörte Rückzugsmöglichkeiten in einem der grössten Laubmischwälder des Mittellands. Namentlich in der rund 4.4 km² umfassenden Kernzone des Wildnispark Zürich gilt seit 2008 ein striktes Wegegebot (Livebardon et al., 2018), was Rothirsche und andere Wildtiere effektiv vor Störung schützt. Dass sich der Rothirsch auch in weniger zusammenhängenden und kleineren Waldhabitaten des eigentlichen Flachlands in ganzjährigen Vorkommen etabliert hat, zeigen die Wildtierkameranachweise in den Regionen Kelleramt (Kanton AG) und Oulens (Kanton VD), aber auch die Erkenntnisse aus dem Zentralen Schweizer Mittelland. Denn obwohl kein systematisches Kameramonitoring zur Verbreitung der Rothirsche im zentralen Mittelland durchgeführt wurde, kann aufgrund von lokalem Expertenwissen und aus vergangenen Untersuchungen von einer flächigen Präsenz südöstlich der Autobahn A1 zwischen Bern und Zofingen (Kantone BE, SO, AG) ausgegangen werden. Die Anbindung an die Voralpenpopulationen scheint in dieser Region sehr gut gegeben (vergl. 4.2.3) und dürfte ähnlich ausgeprägt sein wie in der Region Albiskette. Daneben scheint die Tössstockkette eine weitere bedeutsame Ausbreitungsachse von den Voralpen ins Mittelland zu sein (siehe Abb. 1). Die Bestände in Oulens und im Kanton Genf (Kapitel 4.1.2 bzw. 4.2.2) sind hingegen an die Quellpopulationen im Jura angebunden.

Mindestens saisonal umfasst die Verbreitung des Rothirschs weitere Projektteilgebiete wie die Region Bucheggberg (zentrales Mittelland) oder die Regionen Knonaueramt (Zürich), Freiamt (Aargau) und die Stadt Baden umgebenden Wälder. Typischerweise für die Alpen und Voralpen beschriebene saisonale Migrations- und Verbreitungsmuster (z.B. Haller 2002, Reimoser et al. 2015, Signer et al. 2022) scheinen demnach auch in gewissen Gebieten des Schweizer Mittellands relevant zu sein.

Insgesamt zeigen unsere Erkenntnisse, dass der Rothirsch durchaus auch in der stark anthropogen geprägten Kulturlandschaft des Mittellandes ganzjährige Vorkommen bilden kann. Dies stützt bisherige Belege, wonach sich Rothirsche über längere Zeiträume in der Nähe von Gebieten mit starker menschlicher Präsenz (Willisch et al. 2019b) und stark befahrenen Verkehrsträgern (exemplarisches Beispiel in Thiel et al. 2018) aufhalten können. In diesem Zusammenhang dürfte dem Vorhandensein von deckungsreichen Lebensraumstrukturen eine zentrale Bedeutung zukommen (Hummel et al. 2014, Thiel et al. 2018).

4.2 Raumverhalten & Habitatnutzung

4.2.1 Albiskette/Reusstal (ZHAW)

Wie im vorangegangenen Kapitel anhand des Wildtierkameranonitorings beschrieben, ist das Vorkommen der Rothirsche entlang der Albiskette stark saisonal geprägt. Die geringste Verbreitung herrscht während den Wintermonaten, wenn Rothirsche vorwiegend im Bereich des Sihlwalds bzw. im Wildnispark Zürich nachgewiesen werden. Die von uns besenderten sechs Rothirsch-Individuen wurden in den Wintern 2021/22 und 2022/23 ebenfalls in der näheren Umgebung des Sihlwalds eingefangen und zeigten zumindest phasenweise eine starke Nutzung dieses Gebiets. Dies gilt insbesondere für zwei der drei weiblichen Individuen, während zwei der drei Stiere und auch eine Hirschkuh im Sommerhalbjahr jeweils ausgedehnte Wanderungen unternahmen (siehe individuelle Raumnutzungskarten in Anhang A). Doch auch die migrierenden Rothirsche kehrten auf den Winter hin wieder in den Sihlwald und dessen Umgebung zurück. Allen besenderten Individuen ist zudem gemein, dass sie in aller Regel nur in der Nacht ins Offenland austraten und sich tagsüber praktisch ausschliesslich im Wald oder in anderen Lebensräumen mit guter Schutzstruktur aufhielten.

ID01 "Amanda"

Die Hirschkuh ID01 "Amanda" weist eine ausgesprochen starke Bindung an den Sihlwald und insbesondere die Kernzone des Wildnisparks Zürich auf und hat das Gebiet seit ihrer Besenderung am 31.01.2022 nie grossräumig verlassen (Abb. 16). Im Vergleich zu den anderen besenderten Individuen verblieb sie am Tag besonders konsequent im Wald und nutzte selbst in der Nacht nur sehr walddnahe Gebiete des Offenlands. Teilweise verliess sie den Wald über längere Zeiträume auch während der Nacht nicht, so beispielsweise vom 10.05.–03.06.2022 (d.h. während der Setzzeit und unmittelbar danach). Durch Beobachtungen und Wildtierkamerabilder ist belegt, dass die Hirschkuh im Sommer 2022 ein Kalb führte.

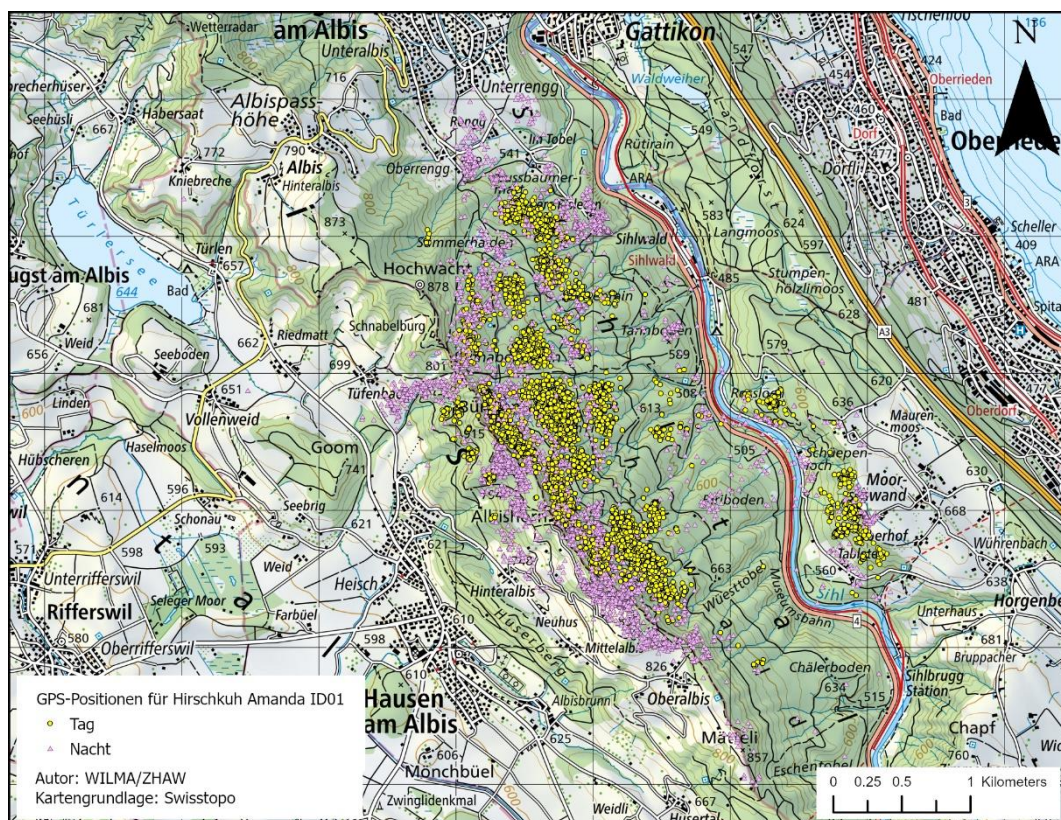


Abb. 16 : Bisheriger Gesamtdatensatz der GPS-Positionen von Hirschkuh ID01 "Amanda" am Tag (gelb) und in der Nacht (lila). Positionen während der jeweils zweistündigen Morgen- bzw. Abenddämmerung sind nicht dargestellt

ID05 "Erika"

Hirschkuh ID05 "Erika" wurde in der zweiten Fangsaison am 21.01.2023 im südlichen Bereich des Sihlwalds besendert. Sie verliess den Sihlwald Anfang April und hielt sich zwischen April und September vorwiegend in den teils ausgedehnten Waldgebieten zwischen Aesch ZH und Jonen AG auf, wobei sie Mitte August eine Exkursion bis ins Gebiet unmittelbar südwestlich von Spreitenbach AG unternahm. Anfang Oktober kehrte sie in den Sihlwald zurück, wo sie seither besonders den südlichen Bereich nutzt.

ID06 "Frieda"

Hirschkuh ID06 "Frieda" wurde am 28.03.2023 im nördlichen Bereich des Sihlwalds besendert und zeigte, ähnlich wie ID01 "Amanda", bislang eine sehr starke Bindung an dieses Gebiet. Abgesehen von einer kurzen Exkursion in Richtung Langenberg im April 2023, hielt sie sich bislang ansonsten vor allem in den nordwestlichen Bereichen des Sihlwalds bis nach Hinteralbis auf.

ID02 "Beni"

Der als Spiesser besenderte ID02 "Beni" wurde am 18.02.2022 ebenfalls im nördlichen Bereich des Sihlwalds besendert und streifte bis zum Ablösen seines Halsbands am 26.05.2023 etwas weiträumiger in der Albiskette umher. Dabei nutzte er verschiedene Einstände, die primär in grösseren Waldbereichen lagen. Im Frühling 2022 wanderte er zweimal bis in die Wälder zwischen Aesch ZH und Oberwil-Lieli AG. Im Winter 2022/23 hielt er sich dann wieder bevorzugt im Sihlwald und dessen unmittelbarer Umgebung auf. Aufgrund des Wachstums haben wir das Halsband bei diesem als Spiesser besenderten Individuum nach rund 15 Monaten aktiv abgelöst.

ID03 "Christoph"

Der als junger Stier am 04.03.2022 besenderte ID03 "Christoph" verliess unmittelbar nach der Besenderung den Sihlwald und streifte daraufhin relativ weiträumig in den Grenzgebieten der Kantone Zürich, Zug und Aargau umher. Dabei hielt er sich oftmals in der Reussebene und bevorzugt in bewaldeten und offenen Naturschutzflächen sowie in landwirtschaftlichen Nutzflächen mit ausreichender Deckung auf. Häufig befanden sich seine Einstände in oder in der Nähe von Hecken oder anderen bestockten Kleinstrukturen (Abb. 17). Anhand von Wildtierkamerabildern mussten wir bei diesem Individuum im Zeitraum zwischen Besenderung und Herbst ein ausserordentlich starkes Wachstum feststellen, so dass wir das Halsband mittels ferngesteuertem Drop-off am 10.11.2022 frühzeitig ablösten. Zum Zeitpunkt der Halsbandablösung befand sich der Stier in der Nähe von Bonstetten.



Abb. 17: Beispiel eines der zahlreichen am Offenland gelegenen Tageseinstände von Stier ID03 "Christoph": Randbereich des Naturschutzgebiets "Rüssspitz" bei der "Maschwander Allmend" zwischen Reuss und Lorze. (Foto: Valerie Arnaldi).

ID04 "Dario"

Der junge Stier ID04 "Dario" wurde am 28.03.2022 im südlichen Bereich des Sihlwalds besendert. Er wanderte im Mai 2022 innerhalb von nur etwa zwei Tagen von der Albiskette ins Gebiet zwischen Baldeggersee und Sempachersee (Kt. LU; Abb. 18). Im Juli wechselte er in einen Einstand östlich der A2 nahe Neuenkirch und überquerte dort die erst im Frühling 2022 eröffnete Wildtierbrücke in der Nacht vom 15. – 16.08.2022. Daraufhin zog er am 16.08.2022 einige Kilometer weit südwärts in Richtung Pilatus, kehrte – wohl aufgrund eines jagdlichen Ereignisses – jedoch gleichentags wieder zurück und passierte auf dem Rückweg in der Nacht vom 16. – 17.08.2022 nochmals dieselbe Wildtierbrücke über die A2 (Abb. 19).

Die Luftliniendistanz zwischen Sihlwald und den Positionen nördlich des Pilatus beträgt etwa 35 km. Besonders erwähnenswert in diesem Zusammenhang ist, dass die im Zentralen Schweizer Mittelland bei Balzenwil besenderte Hirschkuh "Sala" einige Monate später in dasselbe Gebiet gewandert ist. Dies belegt, dass Rothirsche aus der Albiskette und solche aus dem Zentralen Schweizer Mittelland zumindest teilweise dieselben Gebiete nutzen.

Anfang September 2022 migrierte ID04 "Dario" vom Kanton Luzern in den Sihlwald zurück und unternahm von dort aus während der Brunftzeit Mitte und Ende September nochmals zwei ausgedehnte Wanderungen bis an die Kantonsgrenze Zug-Schwyz im Bereich zwischen Ägerisee und Zugersee. Zwischen Oktober 2022 und Anfang Mai 2023 hielt er sich dann praktisch ausschliesslich im Sihlwald und dessen unmittelbarer Umgebung auf. Vom 6. – 8. Mai 2023 migrierte er wiederum sehr rasch und weitestgehend entlang der Route vom Vorjahr in die Waldgebiete westlich des Baldeggersees. Ende Juni 2023 wechselte er von dort, wie im Jahr zuvor, in den "Chüserainwald" östlich der A2 bei der Wildtierbrücke Neuenkirch. Leider mussten wir dort einige Wochen später seinen Tod feststellen, weil er sich mit dem Geweih in einem Zaun verfangen und unüberwindbar an Bäumen verwickelt hatte. Aufgrund der Aktivitätsdaten konnten wir den 13.07.2023 als Todeszeitpunkt eruieren.

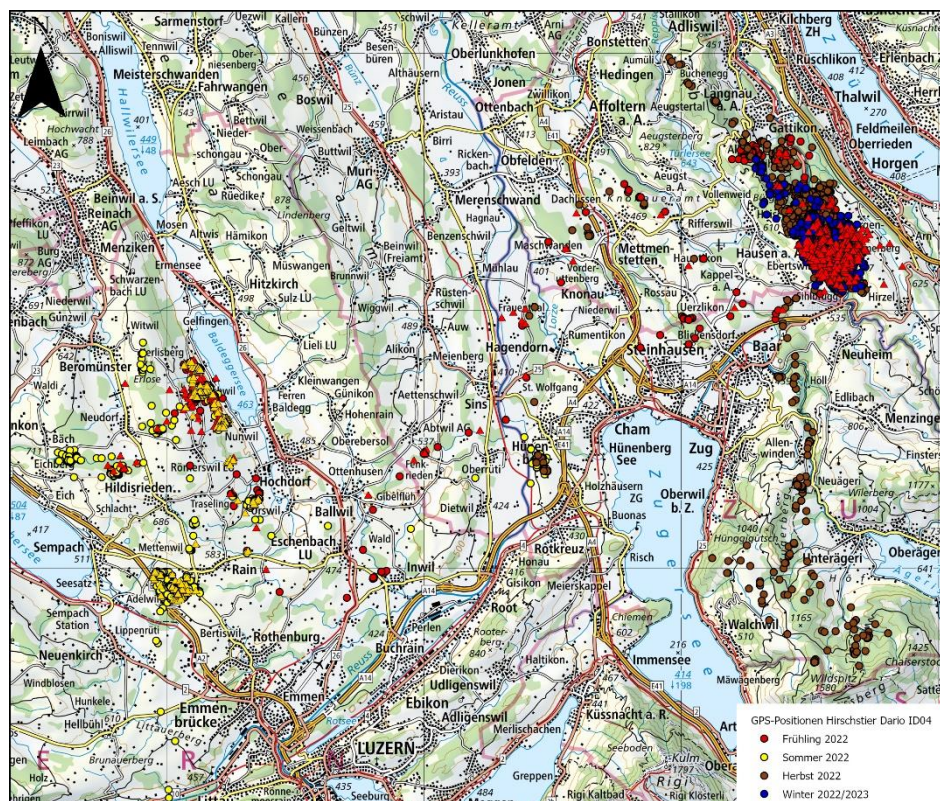


Abb. 18: Gesamtdatensatz der GPS-Positionen von Stier ID04 "Dario", unterteilt in die verschiedenen Jahreszeiten und Jahre.



Abb. 19: GPS-Positionen des Stiers ID04 "Dario" im Zeitraum um Mitte August 2022 mit der zweimaligen Überquerung der neuen Wildtierbrücke über die A2 bei Neuenkirch.

4.2.2 Westschweiz (HEPIA)

Wie bereits erwähnt, beschränkt sich die Rothirschpopulation zwischen den Autobahnen A1 und A12 derzeit auf ein kleines Gebiet am östlichen Rand der A1, direkt nördlich der Wildtierpassage von Oulens (Abb. 12). Der Waldanteil und die Waldgrösse sind hier höher als im Rest des Untersuchungsgebiets, was diese Verteilung erklären könnte. Die Hauptstrasse 5, die von Yverdon über Echallens nach Lausanne führt, kann nördlich von Vuarrens überquert werden, dem einzigen Ort, an dem sich auf beiden Seiten der Strasse Wälder befinden. Die Tiere scheinen jedoch nicht darüber hinauszugehen und halten sich westlich dieser Strasse auf. Einige sehr punktuelle Beobachtungen wurden weiter östlich und südlich gemacht. Der Jorat-Wald scheint noch nicht besiedelt zu sein, könnte aber aufgrund seiner Fläche ein günstiges Gebiet für die Ansiedlung einer Kernpopulation darstellen.

Die minimale Anzahl an Individuen scheint stabil zu sein (Tab. 6), aber viele Individuen konnten aufgrund der schlechten Qualität der Nachtfotos nicht individuell identifiziert werden. Die Häufigkeit der Querungen auf der Wildtierpassage ist sehr hoch (Abb. 20), variiert jedoch je nach Jahreszeit. Es scheint, dass die Hirschstiere im Herbst und Winter häufiger durchkommen - was mit der Brunft zusammenhängen könnte - und die Hirschkuhe häufiger im Frühling und Sommer. Es ist jedoch schwer zu sagen, wie viele Individuen all diese Events generieren. Ebenso wenig lässt sich feststellen, wie sesshaft die einzelnen Individuen, insbesondere die Männchen, sind, da sie nicht telemetrisch überwacht werden. Die Richtung der Durchzüge scheint relativ ausgeglichen zwischen Durchzügen vom Jura ins Mittelland (Osten) und in umgekehrter Richtung (Westen) zu sein. Jedenfalls lässt sich mit unseren Daten kein klarer Trend erkennen (Abb. 21).

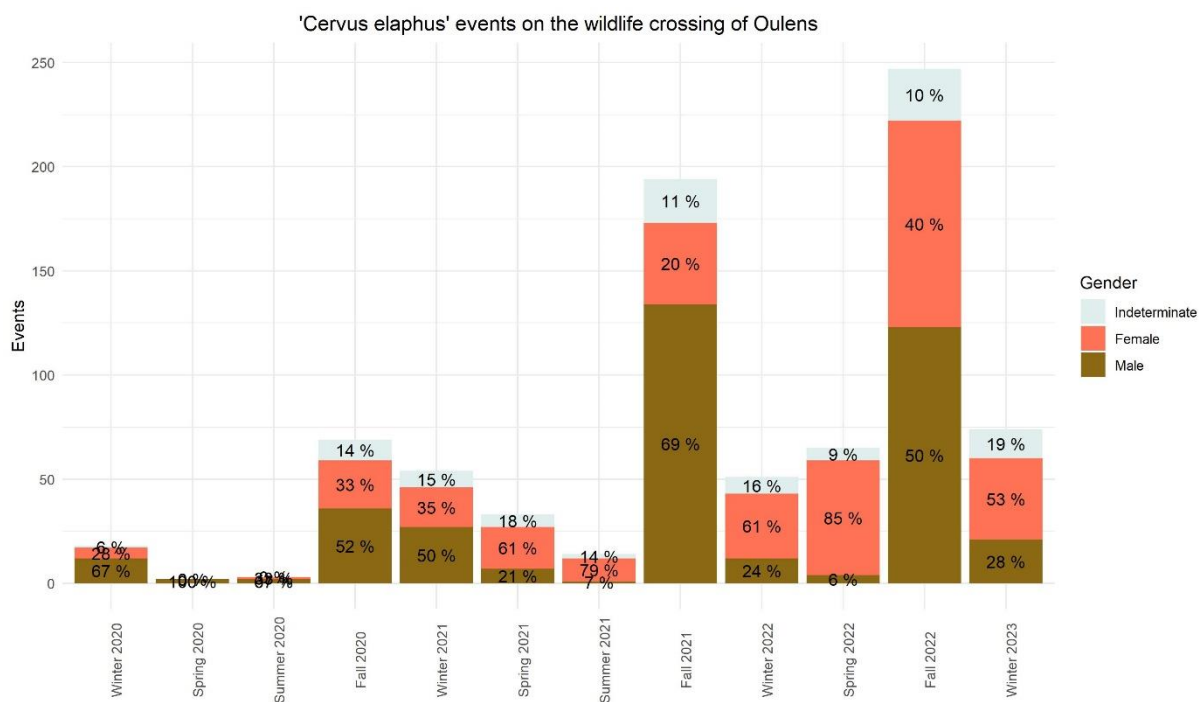


Abb. 20: Zeitlicher Verlauf der Anzahl Ereignisse auf der Wildtierpassage Oulens aufgeteilt nach Geschlecht.

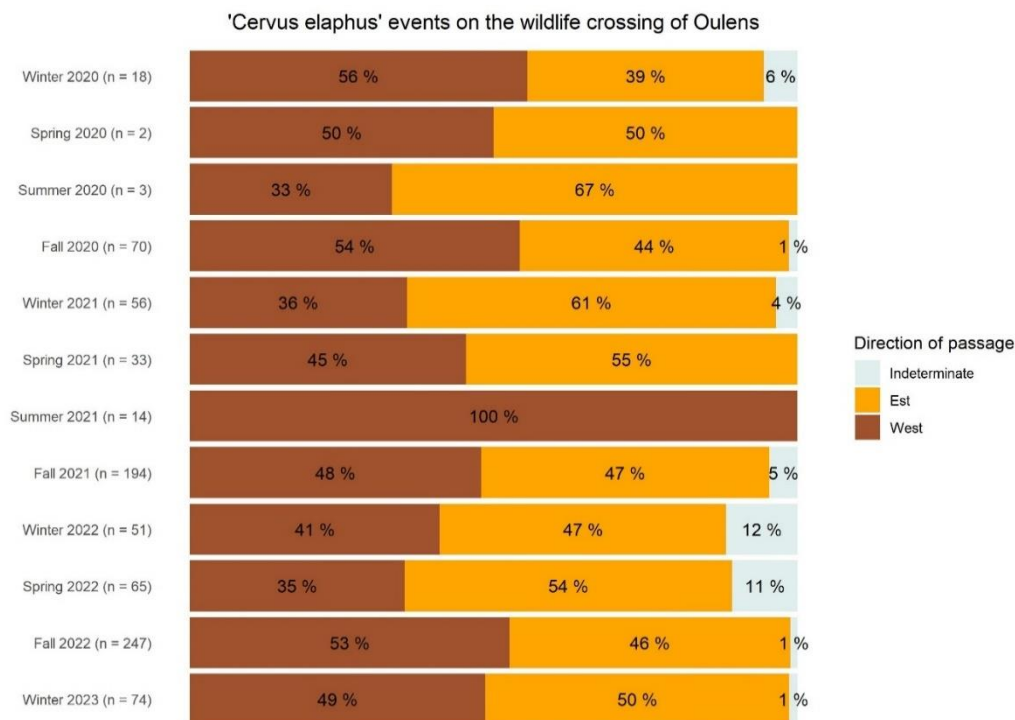


Abb. 21: Anzahl Ereignisse nach Richtung der Überquerung der Brücke von Ouleurs (Ost = Überquerungen vom Jura ins Mittelland; West = Überquerungen vom Mittelland in den Jura).

In Genf wurde während der Besenderungsstudie zwischen 2009 und 2016 festgestellt, dass die Mehrheit der Hirschstiere (alle im Kanton Genf besendert) zwischen Jura und Mittelland während der Brunft wanderte, während nur eine Hirschkuh diese Art von Wanderung vollzog (Abb. 22A-B; Fischer & Ranzoni 2017). In einer Veröffentlichung, in der 14 Rothirschpopulationen in Europa und 14 Wapiti-Populationen (*Cervus canadensis*) in Nordamerika verglichen wurden, hat sich herausgestellt, dass die Population im Genfer Becken diejenige war, die durch das höchste Niveau des "Human Footprint Index" gekennzeichnet war (Abb. 23; Mumme et al. 2023). Trotz des hohen Fragmentierungsgrades ermöglicht die Existenz von Korridoren somit noch einen Austausch. Das Überleben von Populationen, die sich in solch stark fragmentierten Gebieten befinden, könnte somit von den verbleibenden Verbindungen zu den Quellpopulationen in weniger urbanisierten Bergmassiven abhängen.

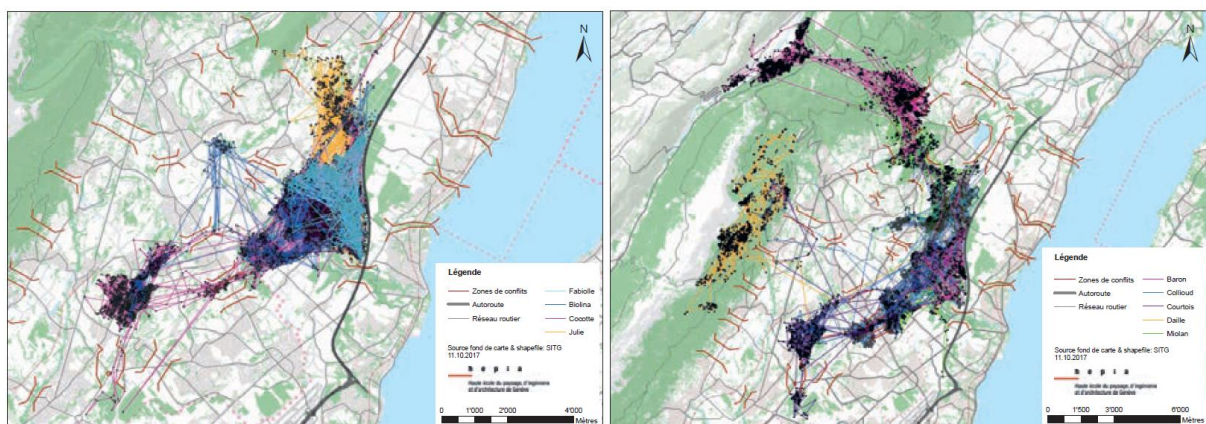


Abb. 22: Bewegungen der Rothirsch im Genfer Becken zwischen 2009 und 2016 (links Hirschkuhe, rechts Hirschstiere).

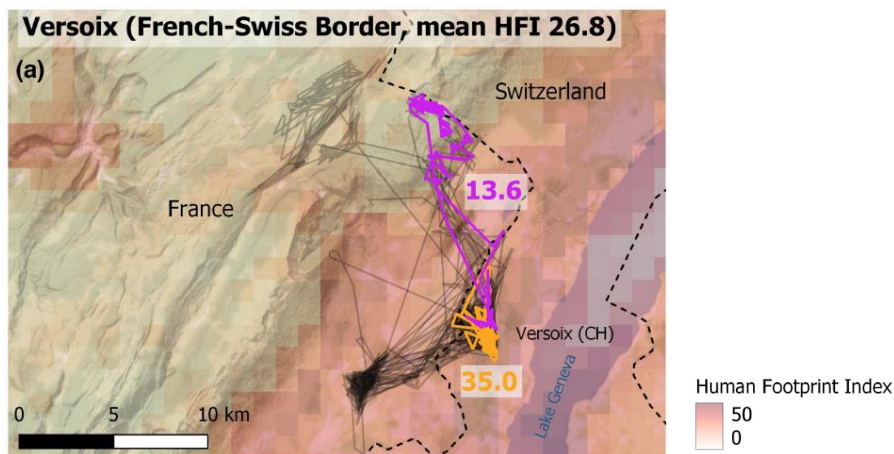


Abb. 23 : "Human Footprint Index" im Genfer Becken (Auszug aus Mumme et al. 2023).

4.2.3 Zentrales Schweizer Mittelland (HAFL)

Grossräumige Bewegungen und Vernetzung

Mithilfe der besenderten und markierten Individuen konnten grossräumige Einstandswechsel der Rothirsche im zentralen Mittelland und ins südlich gelegene Emmental/Entlebuch respektive Voralpengebiet nachgewiesen werden (Abb. 24). Die Mehrheit der 23 besenderten Rothirsche vollzog grössere saisonale Einstandswechsel innerhalb des Mittelland-Bereichs. Nur gerade 4 Kühe migrierten nicht über grössere Distanzen (Längwald BE/SO: Eiya; Oberburg-Krauchthal BE: Hope, Zima; Rothrist-Vordemwald AG: Xina). Die übrigen Individuen verschoben sich zumindest einmal über eine grössere Strecke, um ihren Einstand zu wechseln. Ganze 8 Rothirsche wanderten zudem aus dem Mittelland-Bereich ins Emmental/Entlebuch bzw. Voralpengebiet ab. Dies entspricht etwa einem Drittel aller Individuen. Neben 5 Stieren (Ardy, Arvi, Sipe, Foro, Yano) zeigten solche Wanderungen ebenfalls 3 Kühe (Bea, Kaja, Sala).

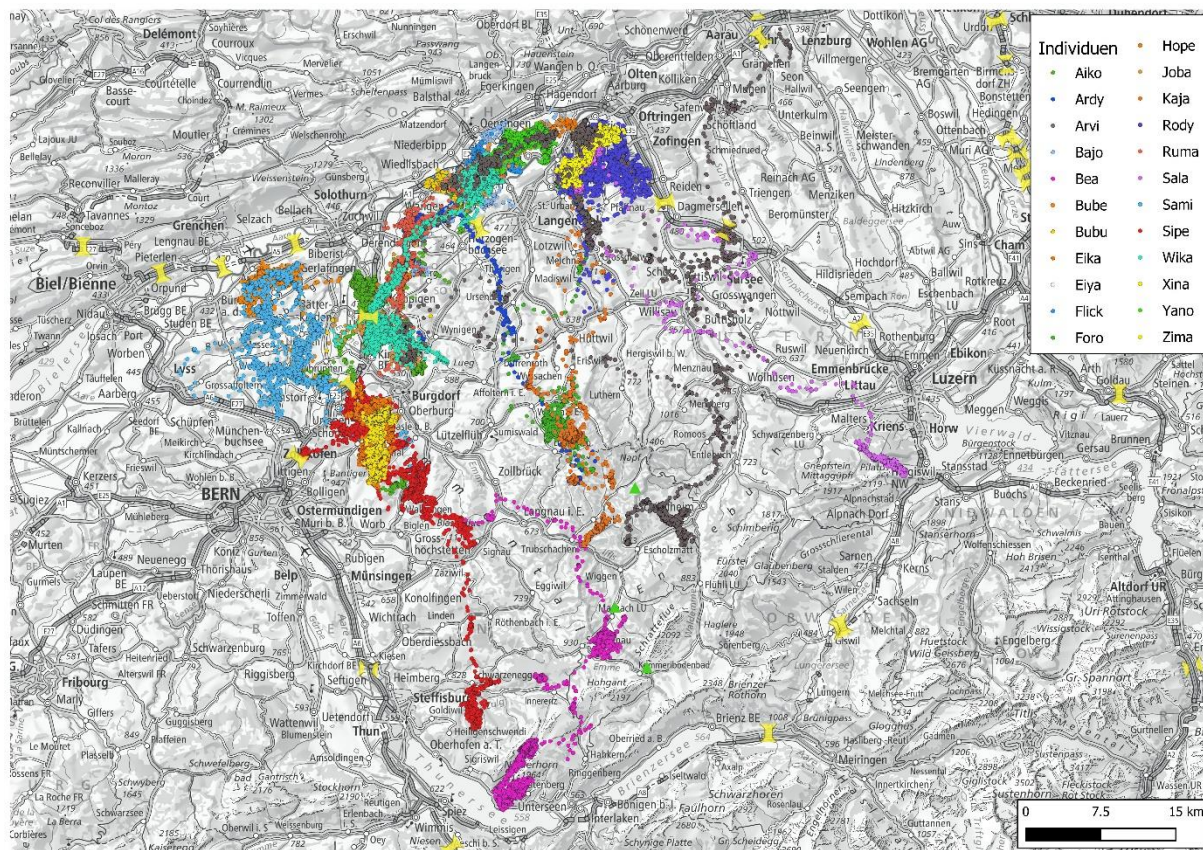


Abb. 24: GPS-Positionen von 23 Rothirschen, welche im Zentralen Schweizer Mittelland gefangen und besendert wurden. Die grünen Dreiecke bezeichnen zudem Nachweise des Rothirschs Yano, dessen Halsband infolge eines Defekts keine GPS-Positionen mehr lieferte. Die gelben Polygone stellen Wildtierbrücken/-unterführungen bei grösseren Strassen/Bahnlinien dar. (Kartengrundlage: © swisstopo).

Beispielhaft erwähnt werden hiernach die Ortsverschiebungen des jungen Stiers Arvi, der im Frühjahr 2023 bei Kestenholz (SO) gefangen und besendert werden konnte. Dieser Hirsch zeigt eindrücklich auf, wie grossräumig Rothirsche im Mittelland unterwegs sein können: Arvi hielt sich nach seinem Fang bis ca. Mitte April im Längswald zwischen Wangen a. Aare (BE) und Härkingen (SO) auf (Abb. 25). Anschliessend zog er zunächst in die Region Burgdorf (BE) und von dort aus in einem Bogen nördlich des Napfs durch bis ins Entlebuch (LU), wo er den gesamten Sommer bis im September verbrachte. Gegen Ende September zog er ostwärts weiter. Nördlich von Sursee nutzte er die Wildtierunterführung bei Knutwil (LU), um auf die östlich gelegene Seite der Autobahn A2 zu gelangen. Von dort wanderte er weiter bis in die Region südwestlich von Lenzburg (AG). Hier machte er kehrt und lief zurück in den Bereich der Wildtierunterführung Knutwil. In den Tagen darauf zog er in westliche, dann in nördliche Richtung weiter bis in die Region von St. Urban (LU). Danach kehrte er erneut zur Wildtierpassage bei Knutwil zurück. Er nutzte diese in der Folge gleich mehrmals, um von der West- auf die Ostseite der Autobahn und zurückzuwechseln. Schliesslich kam er wiederum auf die Westseite der Autobahn und wanderte weiter in die Region Rothrist (AG), wo er sich zuletzt aufhielt.

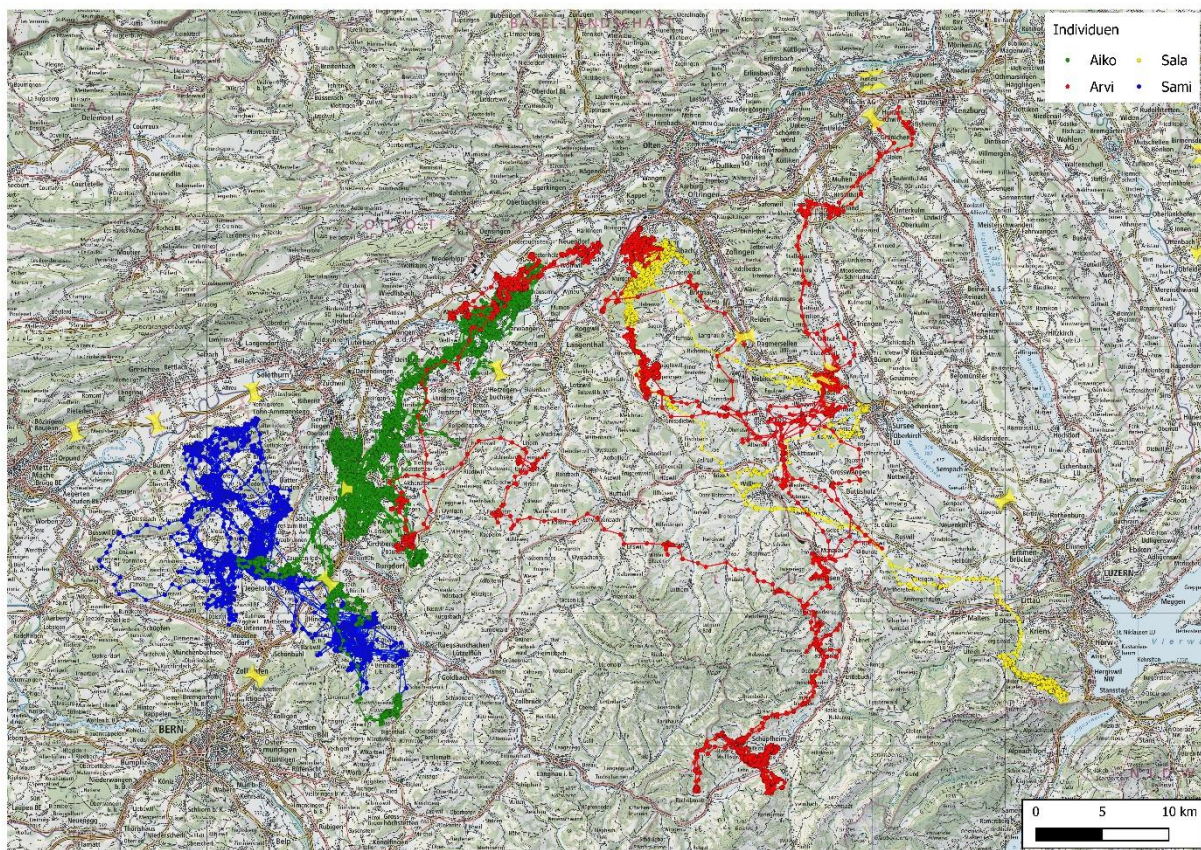


Abb. 25: Bewegungen der Rothirsche Aiko, Arvi, Sami und Sala im Zentralen Schweizer Mittelland. Wildtierüberführungen und -unterführungen bei grösseren Strassen/Bahnlinien sind gelb dargestellt. Deren Nutzung ist bei Lyssach, Utzenstorf (beide BE) und Knutwil (LU) mehrfach durch die Bewegungsdaten von Senderhirschen nachgewiesen worden. (Kartengrundlage: © swisstopo).

Die Zusammenstellung der individuellen Bewegungsdaten bestätigte, dass es unter den Mittelland-Rothirschen, sowohl stationäre Tiere wie auch (saisonal) migrierende gab. Die grossräumigen Einstandswechsel der Rothirsche im Mittelland fanden mehrheitlich, aber nicht ausschliesslich, in der Übergangszeit im Frühling und im Herbst statt.

Hinsichtlich der grossräumigen Bewegungen wurden drei Muster beobachtet, die wie folgt zusammengefasst werden können:

- Stationär im Mittelland: Individuen, die sich ganzjährig in mehr oder weniger derselben Region im Mittelland aufhalten (z.B. Eiya, Xina, Zima in Abb. 24).
- Saisonale Migration innerhalb des Mittellands: Individuen, die ihre Einstände im Mittelland haben, dort jedoch saisonale Einstandswechsel vollziehen (z.B. Sami, Aiko in Abb. 25).
- Saisonale Migration zwischen Mittelland und den südlich gelegenen Regionen: Hirsche, die saisonal wechselnde Einstände im Mittelland und in den südlich gelegenen Regionen des Emmentals, dem Entlebuch oder den Voralpen haben (z.B. Arvi, Sala in Abb. 25).

Die Bewegungsdaten der besenderten Rothirsche zeigten, dass die Rothirsch-Vorkommen, welche im zentralen Mittelland bekannt waren, untereinander vernetzt sind und ein aktiver Austausch von Rothirschen besteht. Ein aktiver Austausch existiert darüber hinaus auch mit den südlich angrenzenden Vorkommen des Emmentals/Entleuchs und der Voralpen. Zudem konnte durch den Rothirsch Arvi auch die Vernetzung in Ost-West-Richtung nachgewiesen werden.

Eine besonders wichtige Feststellung war, dass durch die GPS-Besenderung die Nutzung von Wildtierüberführungen und -unterführungen an verschiedenen Orten nachgewiesen werden konnte: Autobahnnunterführung bei Knutwil (LU), sowie die Überführungen der Autobahn A1 und Eisenbahn bei Lyssach und Utzenstorf (BE).

Tageszeitliche Bewegungen & Aktivität

Weitere Analysen der Positionsdaten zeigten, dass sich Rothirsche im Zentralen Schweizer Mittelland tagsüber, wenn überhaupt, nur relativ kleinräumig bewegten. Ihre Einstände lagen zu dieser Tageszeit mehrheitlich im Wald (Abb. 26, wo sie einen guten Sichtschutz vorfanden). Während des Sommerhalbjahres (Mai bis Oktober) kam es aber verschiedentlich auch vor, dass sich Individuen in hochwüchsigen landwirtschaftlichen Kulturen aufhielten, wie Raps- oder Maisfeldern (Abb. 26). Dieses Verhalten stellten wir bei verschiedenen männlichen (z.B. Aiko, Bajo, Bubu, Flick) und weiblichen (z.B. Eiya, Joba, Wika) Rothirschen fest (siehe dazu Murpf 2021).

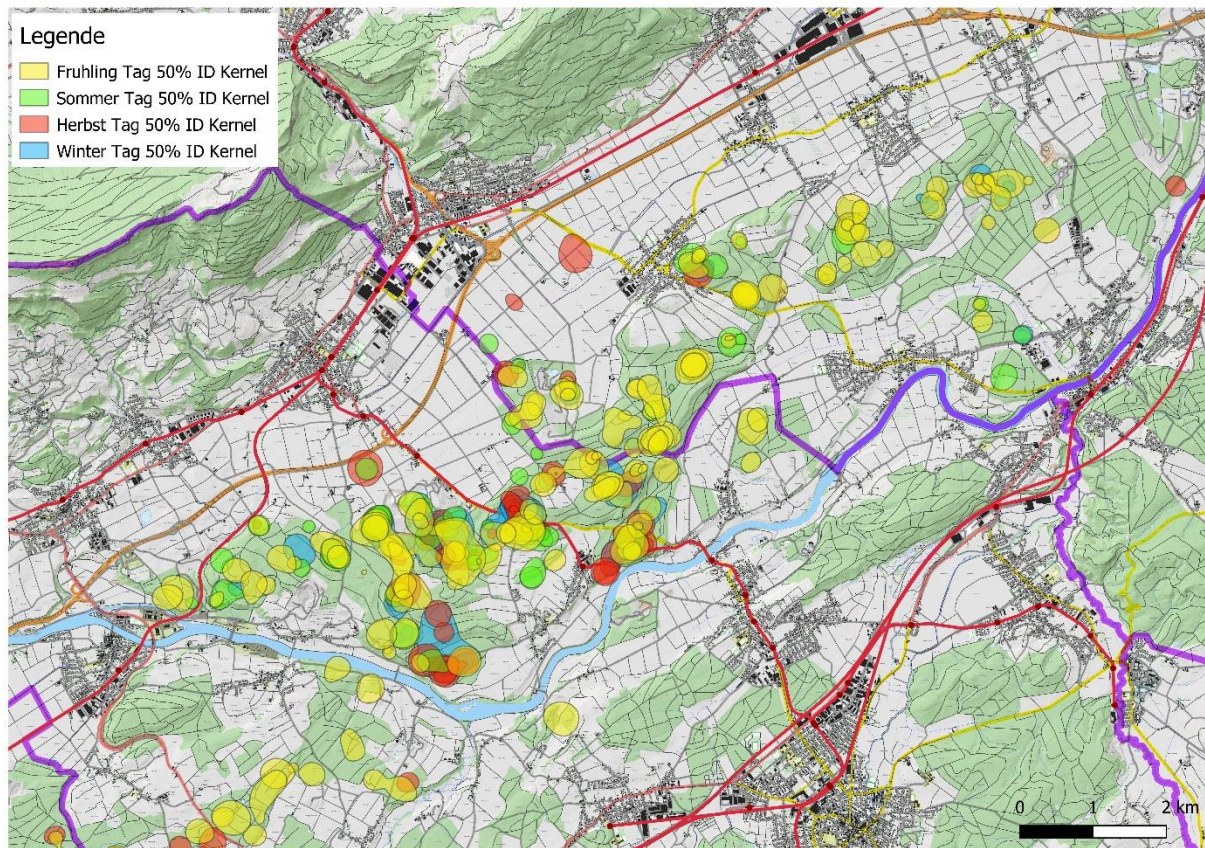


Abb. 26: 50%-Kernelflächen basierend auf den Tag-Positionen der besenderten Rothirsche in der Region des Längwalds (BE/SO) abhängig von der Jahreszeit. Zu beachten sind die Offenlandflächen ausserhalb des Waldes, die von Hirschen im Sommer/Herbst während des Tages zum Aufenthalt genutzt wurden. (Kartengrundlagen: © swisstopo)

Die Offenlandflächen und waldrandnahen Bereiche wurden fast ausschliesslich während den Nachtstunden aufgesucht. Wie in der Abb. 27 ersichtlich ist, nutzten die Rothirsche ihren Lebensraum dann aber auf einer deutlich grösseren Fläche.

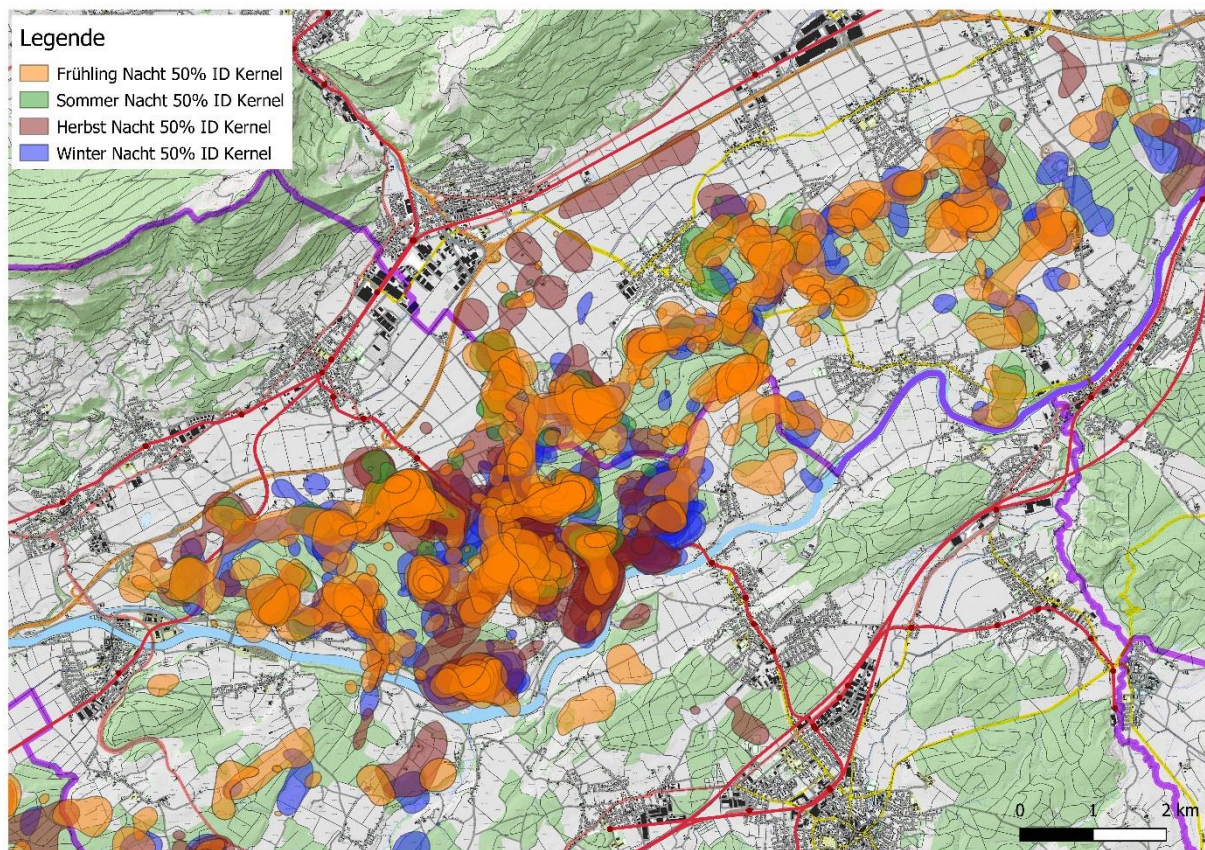


Abb. 27: 50%-Kernelflächen basierend auf den Nacht-Positionen der besenderten Rothirsche in der Region des Längswalds (BE/SO) abhängig von der Jahreszeit. (Kartengrundlagen: © swisstopo).

Die tageszeitlichen Unterschiede in den räumlichen Bewegungen widerspiegeln sich auch in der Aktivität der Tiere. So konnten wir von 10 besenderten Individuen (7 Stiere, 3 Kühe) nach dem Einholen der Halsbänder die Aktivitätssensordaten auslesen.

Abb. 28 zeigt, dass die besenderten Stiere und Kühe während des Tages hauptsächlich inaktiv waren. Besonders ausgeprägt war dies im Winter der Fall, etwas weniger im Sommer, als die Hirsche bereits während bzw. vor Abenddämmerung aktiv wurden. Im Vergleich zu den Kühen, waren die Stiere im Sommer zudem generell etwas früher in den Abendstunden und etwas länger in den Morgenstunden aktiv. Interessant ist weiter, dass nach der ersten abendlichen Aktivitätsphase sowohl bei den Stieren als auch den Kühen jeweils ein deutlicher Einbruch in der Aktivität ersichtlich ist – v.a. im Winter.

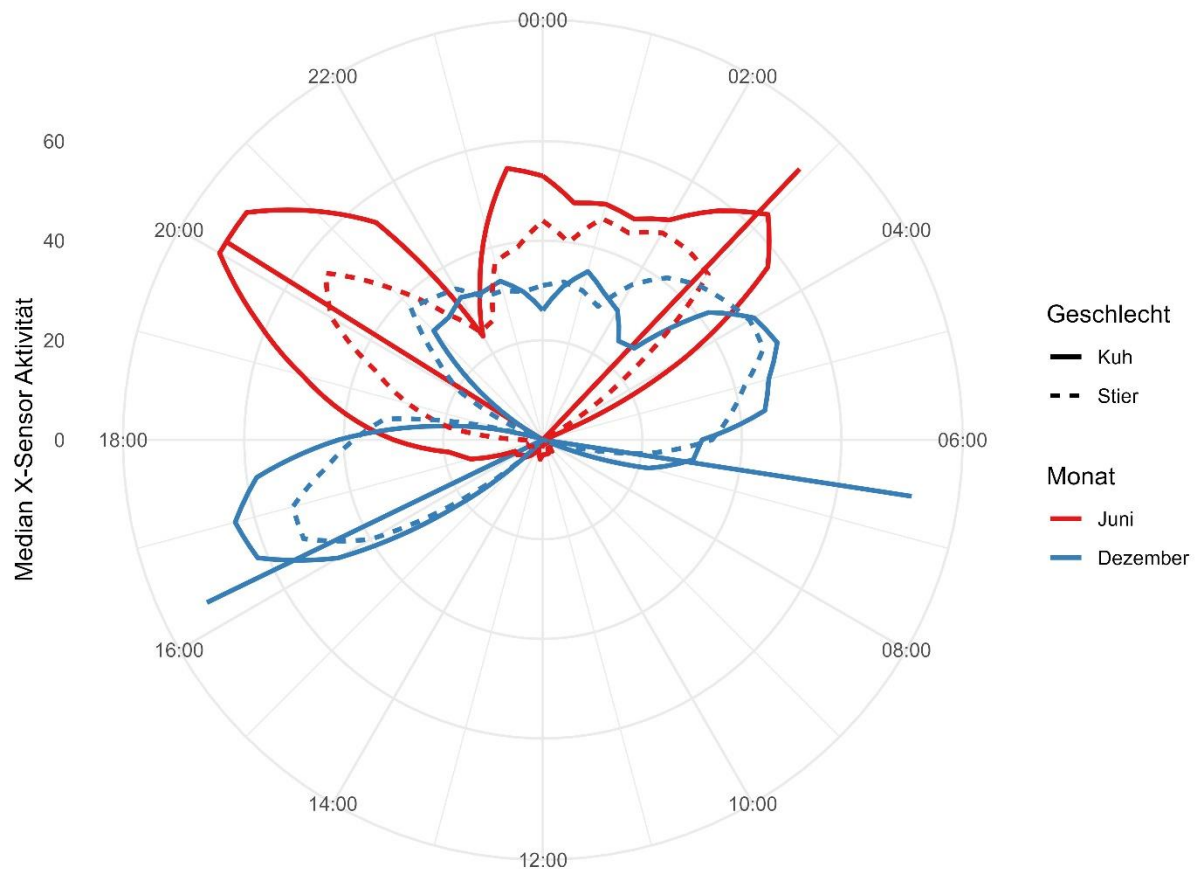


Abb. 28: Aktivitätsmuster der besenderten Rothirsche, gemessen in der Längsachse der Halsbandaccelerometer. Gezeigt werden die Mediane der Aktivität nach Uhrzeit (Winkel), Geschlecht (Linie) und Monat (Farbe). Die radialen Linien zeigen den Übergang zwischen der bürgerlichen und nautischen Dämmerung.

4.2.4 Home Ranges & Saisonale Migrationsrouten

Die Ganzjahresstreifgebiete der Rothirsche zeigten eine grosse Variation zwischen den Individuen, den Geschlechtern und den Regionen (Abb. 29 & Abb. 30, Anhang C). Die ermittelten 95%-BRBK-Flächen lagen in einem Bereich von $<10 \text{ km}^2$ bis $>70 \text{ km}^2$. Auffällig war, dass die Streifgebiete der weiblichen Tiere im Zentralen Schweizer Mittelland grösser waren als in den übrigen Untersuchungsgebieten. Im östlichen Untersuchungsgebiet hatten zumindest die Stiere auch verhältnismässig grosse Ganzjahresstreifgebiete, die vergleichbar waren mit jenen im zentralen Mittelland. Die Streifgebietsgrössen der männlichen Sendertiere waren in allen Regionen grösser als jene der weiblichen.

Betrachtet man die Lage und räumliche Anordnung der Einstandsgebiete genauer, kann zudem festgestellt werden, dass sich in den zentralen und östlichen Untersuchungsgebieten die effektiv genutzten Lebensräume mehrerer Individuen auf einer grösseren Fläche verteilen und deshalb auch weiter auseinander liegen als in der Westschweiz (Abb. 31). In der Region Genf-Waadt-Frankreich sind demgegenüber die begangenen Lebensräume sämtlicher Individuen auf deutlich kleinerem Raum angeordnet (siehe Abb. 31).

Mit Blick auf jahreszeitliche Unterschiede kann gesagt werden, dass die kleinsten Streifgebiete sowohl bei Kühen wie auch bei Stieren im Sommer bestehen, während im Frühjahr relativ grosse Streifgebiete festgestellt wurden. Im Herbst weiten besonders die Stiere ihre Streifgebiete markant aus.

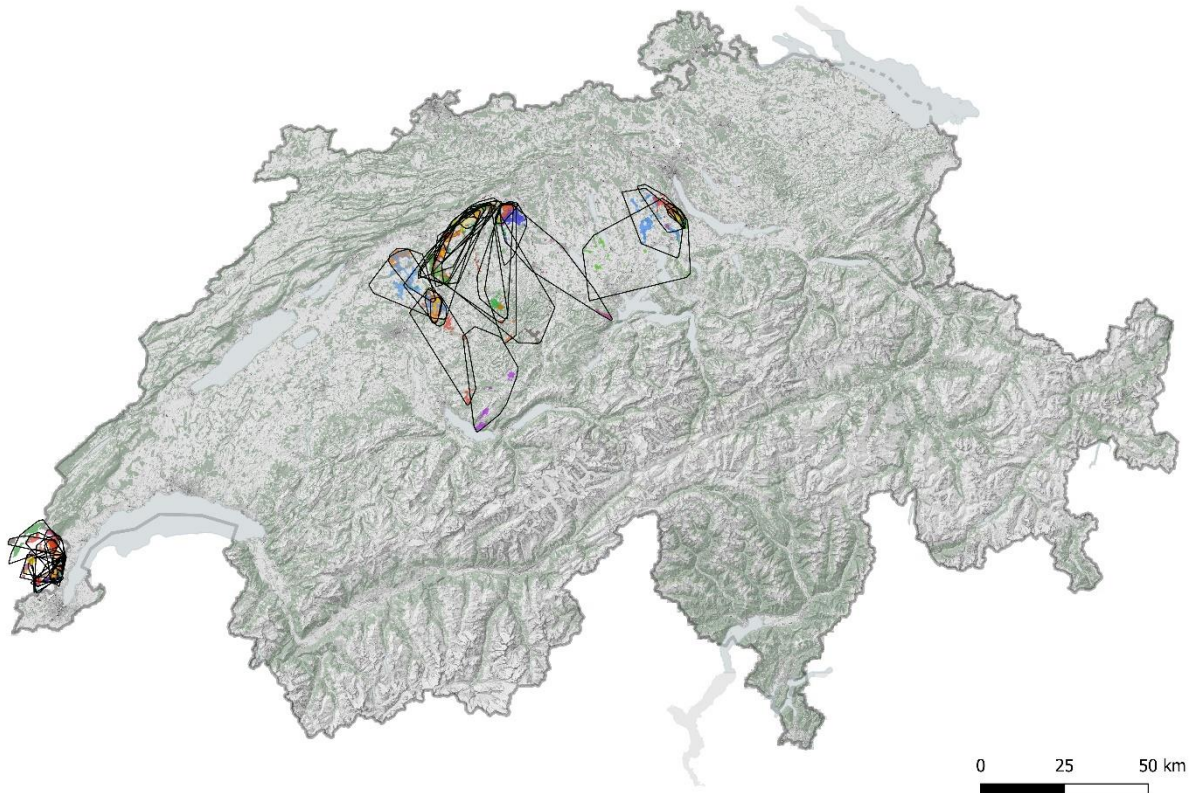


Abb. 29: Individuelle Ganzjahresstreifgebiete der Rothirsche in den drei Untersuchungsgebieten. Dargestellt sind die 95%-BRBK-Streifgebiete (farbige Flächen) als auch die Minimum-Konvex-Polygone (schwarz). (Kartengrundlage: © Swisstopo).

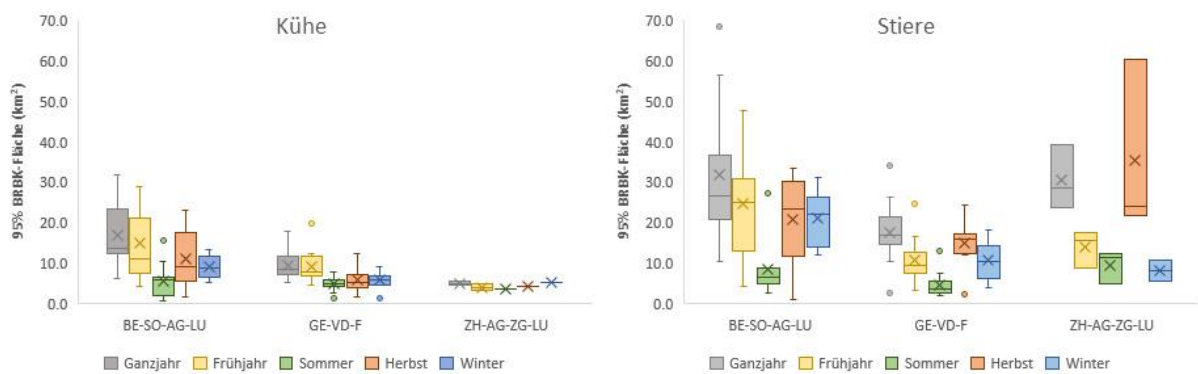


Abb. 30: 95% BRBK-Streifgebietsgrößen (in km²) der GPS-besenderten Rothirsch für das gesamte Jahr und die verschiedenen Jahreszeiten in Abhängigkeit des Geschlechts der Tiere und des Untersuchungsgebiets.

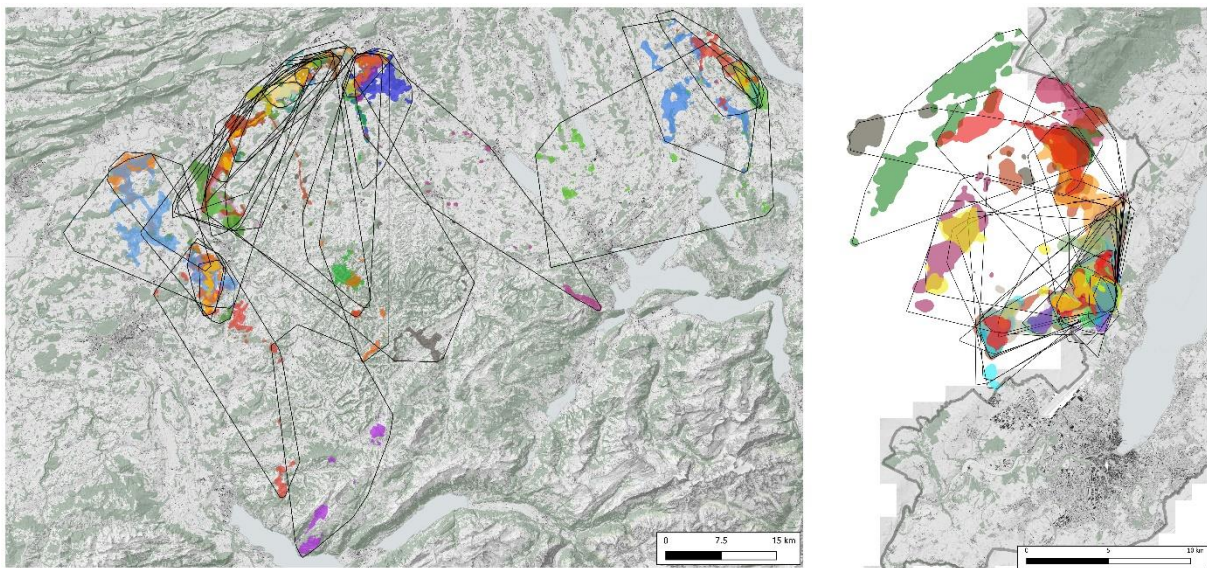


Abb. 31 : Ganzjahresstreifgebiete der GPS-besenderten Rothirsche (95%-BRBK-Flächen: farbig und Minimum-Konvex-Polygon: schwarz) für die beiden Untersuchungsgebiete in den Regionen Bern/Solothurn/Aargau/Luzern und Zürich/Aargau/Zug/Luzern (links) und die Region Genf/Waadt/Frankreich (rechts).

Der von den Rothirschen genutzte Lebensraum hängt in seiner Grösse zu einem beachtlichen Teil von der räumlichen Verteilung der Tageseinstände (den Aufenthaltsorten der Rothirsche zwischen der Morgen- und der Abenddämmerung) ab. Die Ortsverschiebungen zwischen aufeinanderfolgenden Tageseinständen waren bei den weiblichen Rothirschen im zentralen Mittelland entsprechend deutlich grösser als jene der Rothirsche in den beiden übrigen Untersuchungsgebieten (Abb. 32). Übers Jahr betrugen die Abstände zwischen aufeinander folgenden Tageseinständen bei Kühen im zentralen Mittelland im Mittel 845 m, in der Westschweiz 629 m und in der Region Zürich-Aargau 596 m. Für die Stiere resultierten entsprechend 1463 m im zentralen, 889 m im westlichen und 1326 m im östlichen Mittelland.

Der Unterschied zwischen Kühen und Stieren war besonders in den Regionen Bern, Solothurn, Aargau und Zürich-Aargau ausgeprägt, in der Region Genf-Waadt-Frankreich weniger (Abb. 32).

Hinsichtlich der Jahreszeit wiesen die weiblichen Rothirsche v.a. im Frühjahr und teils im Herbst grössere Abstände zwischen ihren Tageseinständen auf als während dem Sommer. Auch die Stiere verschoben sich zu diesen Jahreszeiten von einem Tag auf den nächsten über grössere Strecken, wobei gegenüber den Sommermonaten v.a. der Anstieg im September ins Auge sticht. Generell scheinen die jahreszeitlichen Unterschiede im zentralen Mittelland etwas ausgeprägter zu sein als in der Westschweiz, während das Muster für das östliche Untersuchungsgebiet aufgrund einer geringen Stichprobengrösse nicht abschliessend beurteilbar ist (Abb. 32).

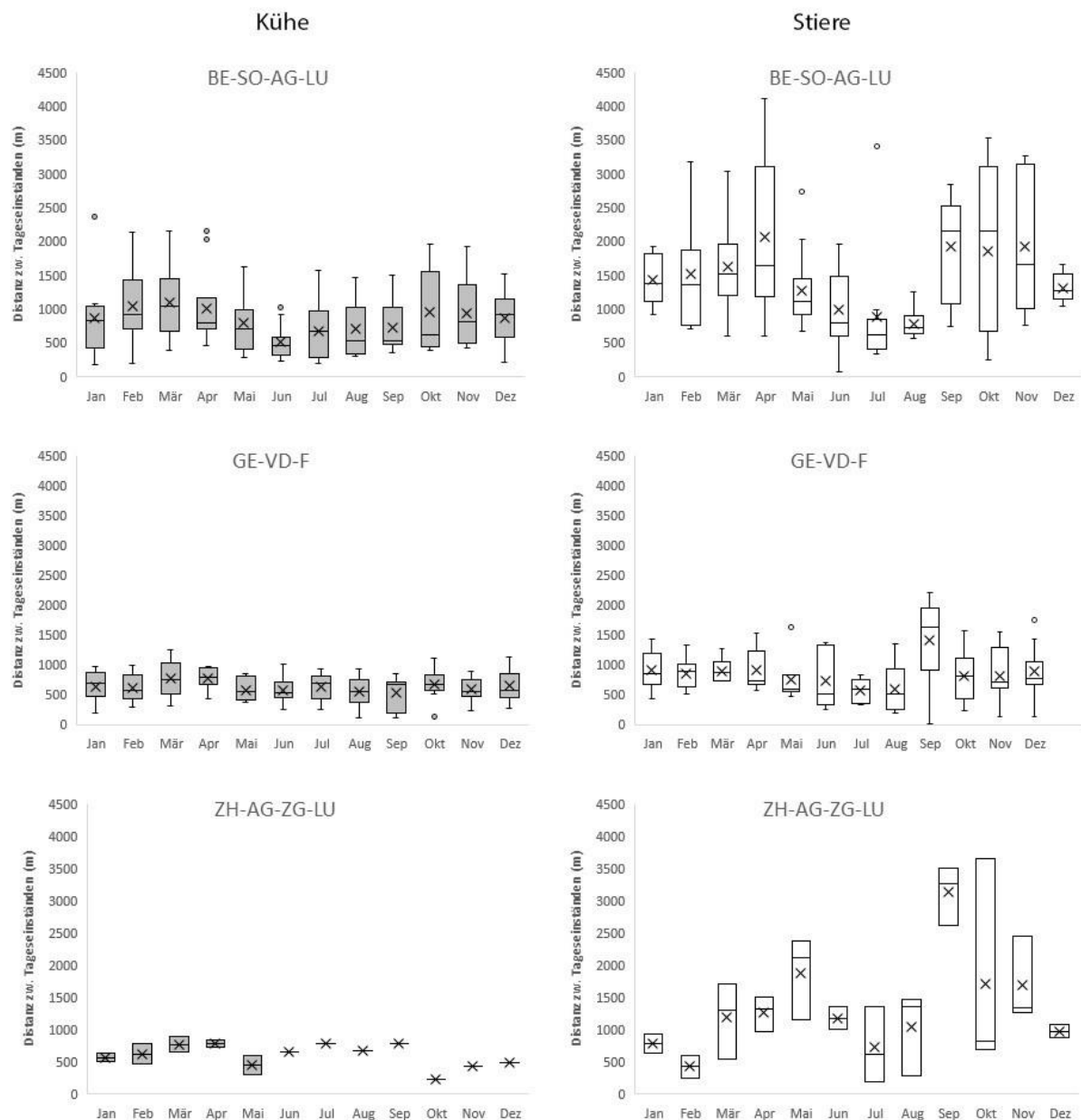


Abb.32: Box-Plots der Distanzen (m) zwischen aufeinanderfolgenden Tageseinständen basierend auf den monatlichen Durchschnittswerten der besenderten Rothirsch-Individuen aufgeteilt nach Geschlecht (links: Kühe, rechts: Stiere) und Untersuchungsgebiet. Neben dem Median (Querstrich) ist zusätzlich auch der Mittelwert (x) dargestellt.

4.2.5 Diskussion Raumverhalten & Habitatnutzung

Mit Blick auf die grossräumige Raumnutzung der Rothirsche im Jahresverlauf ist festzustellen, dass wir in allen drei Untersuchungsgebieten im Mittelland sowohl stationäre wie auch migrierende Rothirsche beobachten konnten. Auffällig war, dass grössere Verschiebungen der Einstände öfters saisonal erfolgten, d.h. im Frühjahr und im Herbst / Anfang Winter (siehe dazu ebenfalls Kapitel 4.3). Bei den Stieren waren weitläufige Wanderungen besonders im September während der Brunft zu sehen. Insofern zeigen die Mittelland-Rothirsche ähnliche saisonale Bewegungsmuster wie ihre Artgenossen in den Voralpen/Alpen (Signer et al. 2022; Willisch et al. 2012). Anders als in den Berggebieten, wo die saisonalen Einstandswechsel zu einem grossen Teil mit der lokalen Schneesituation und der damit verbundenen Nahrungsverfügbarkeit in Zusammenhang stehen (Zweifel-Schielly et al. 2009), sind die Ursachen für die Einstandswechsel im Mittelland allerdings nicht offensichtlich. Gut möglich, dass

regional unterschiedliche Faktoren(-kombinationen) (z.B. Nahrung, Landnutzung, Jagd, Störungen) ausschlaggebend dafür sind, dass Rothirsche ihre Einstände im Mittelland wechseln.

Wie in den Resultaten beschrieben, ist Migration sowohl innerhalb des Mittellands nachgewiesen worden als auch zwischen den Mittelland-Vorkommen und den Quellpopulationen in den Voralpen respektive dem Jura. Das deutet darauf hin, dass ein aktiver Austausch zwischen diesen Vorkommen besteht, und dass dieser nicht vernachlässigbar ist. Besonders erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang der Umstand, dass die Autobahnen A1 und A2, welche das Mittelland zwischen den Kantonen Bern und Zürich faktisch zerteilen, von besondern Rothirschen an je 2 verschiedenen Wildtierüber respektive -unterführungen mehrfach überwunden werden konnten. Auch im Bereich von Oulens (VD) wurde die dortige Wildtierüberführung über die A1 mehrfach von Rothirschen gequert. Das zeigt, dass die Vernetzung der Rothirsch-Populationen innerhalb des Mittellands auch über eingezäunte Verkehrshindernisse wie Autobahnen hinweg funktioniert, wenn entsprechende Bauwerke vorhanden sind.

Hinsichtlich des Raumverhaltens brachten unsere Analysen des Weiteren deutliche Unterschiede zwischen den Untersuchungspopulationen zutage. So wiesen die Rothirsche, welche in der Region Genf besendert wurden, gesamthaft deutlich kleinere Homeranges auf als die Rothirsche im zentralen und östlichen (hier v.a. bei den Stieren) Mittelland. Dasselbe gilt für die Abstände zwischen aufeinanderfolgenden Tageseinständen, die im zentralen Mittelland ebenfalls deutlich grösser ausfielen als jene in der Westschweiz. Es ist anzunehmen, dass hier u.a. die räumliche Verfügbarkeit und Verteilung geeigneter Lebensräume eine grosse Rolle spielen, wie auch die Distanz zu den Quellvorkommen, von welchen aus die Rothirsch-Lebensräume im Mittelland besiedelt wurden. Schliesslich ist auch die Variation zwischen den Individuen im zentralen und östlichen Mittelland deutlich grösser als in der Westschweiz.

Wie die Aktivitätsdaten der Rothirsche aus dem zentralen Mittelland nahelegen, bewegen sich die Rothirsche tagsüber kaum. Erst mit Einsetzen der Dunkelheit werden sie aktiv. Ob dies auch in den anderen Untersuchungsgebieten der Fall ist, kann aufgrund der fehlenden Daten für diese Regionen noch nicht abschliessend beurteilt werden, es dürfte jedoch aufgrund der vergleichbaren tageszeitlichen Störungssituation sehr wahrscheinlich sein. Das tageszeitliche Aktivitätsmuster, welches im Mittelland ersichtlich ist, widerspiegelt nämlich das ausgesprochen starke Bedürfnis der Rothirsche nach Schutz vor menschlicher Störung. Diesen finden sie tagsüber v.a. im Wald und während des Sommerhalbjahres teils auch in hochwüchsigen landwirtschaftlichen Kulturlflächen vor (Willisch et al. 2019b). Wenn ausreichender Sichtschutz gegeben ist, können Rothirsche tagsüber ebenfalls in unmittelbarer Nähe zu Feld-, Waldwegen und Forststrassen eintreten (Berera 2021; Hummel et al. 2014). Ab der Abenddämmerung und während der Nachtstunden verlassen die Rothirsche ihre Deckung und gehen im Waldrandbereich und teils auch gänzlich im Offenen auf Nahrungssuche. Einstandswechsel werden ebenfalls während der Nacht vollzogen.

Die Selektion geeigneter Einstände der Rothirsche erfolgt wohl aber nicht nur auf kleinräumiger Ebene, indem die Tiere Lebensraumbereiche bevorzugen, die einen besonders guten Sichtschutz bieten. So scheint zumindest im Raum des Längswalds im Grenzbereich der Kantone Bern und Solothurn die Raumnutzung auch grossräumig vom dortigen Störungsaufkommen beeinflusst zu sein. Ein Abgleich der Kerntageeinstände der Senderhirsche mit bodengebundenen Aktivitätsdaten von Freizeitsuchenden/-sportlern deutet demnach darauf hin, dass die Rothirsche vermehrt in jenen Waldabschnitten eingestanden sind, welche eine weniger starke Nutzung durch Menschen aufwiesen (Willisch et al. 2023). Auch im östlichen Untersuchungsgebiet fiel auf, dass die Rothirsche einen Verbreitungsschwerpunkt in der Kernzone des Wildnisparks Zürich im Sihlwald hatten, welcher durch strikte Wegegebote stark beruhigt ist (siehe Kapitel 5.3). Um abschliessende Sicherheit zu haben, inwiefern die Habitatwahl der Rothirsche grossräumig von der Intensität der menschlichen Nutzung im Mittelland abhängig ist, sind allerdings weiterführende Analysen erforderlich.

4.3 Analyse und Visualisierung der Bewegungstypen von Rothirschen

4.3.1 Fraktal- und Autokorrelationsanalyse der GPS-Strecken

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. Abb. 33 veranschaulicht die Ergebnisse der Reaktion auf die Landschaftsheterogenität anhand der Autokorrelationsdiagramme der Tortuosität von 21 einzelnen Hirschjahren. Im Untersuchungsgebiet Zentrales Schweizer Mittelland (N=14) konnten wir 11 jährliche Strecken (von 9 Individuen) identifizieren, die auf die Landschaftsheterogenität reagieren, und 6 jährliche Strecken, die nicht auf die Landschaftsheterogenität reagieren (von 5 Individuen). Im Untersuchungsgebiet Zürich-Aargau (N=4) wurden drei jährliche Strecken identifiziert, die auf Landschaftsheterogenität reagieren (3 Stiere) und eine jährliche Strecke, die nur einen Bewegungstyp zeigt (von einer Hirschkuh). Im Allgemeinen zeigte uns die Autokorrelation der Tortuosität der realen Wanderstrecken im Vergleich zu der für das entsprechende CRW-Modell (correlated random walk model) geschätzten Autokorrelation der Tortuosität, dass Individuen, die eine Reaktion auf die Landschaftsheterogenität zeigen, höhere positive z-Scores aufweisen. Dies deutet darauf hin, dass sie eine höhere Persistenz bei den Drehwinkeln und Schrittlängen aufweisen als ein CRW (Abb. 33). Individuen, die nicht auf Landschaftsheterogenität reagieren oder auf homogene Weise reagieren, wiesen negative mittlere z-Scores auf, was bestätigt, dass ihre Routen eine geringere Persistenz bei Drehwinkeln und Schrittlängen aufweisen als eine CRW (Abb. 33).

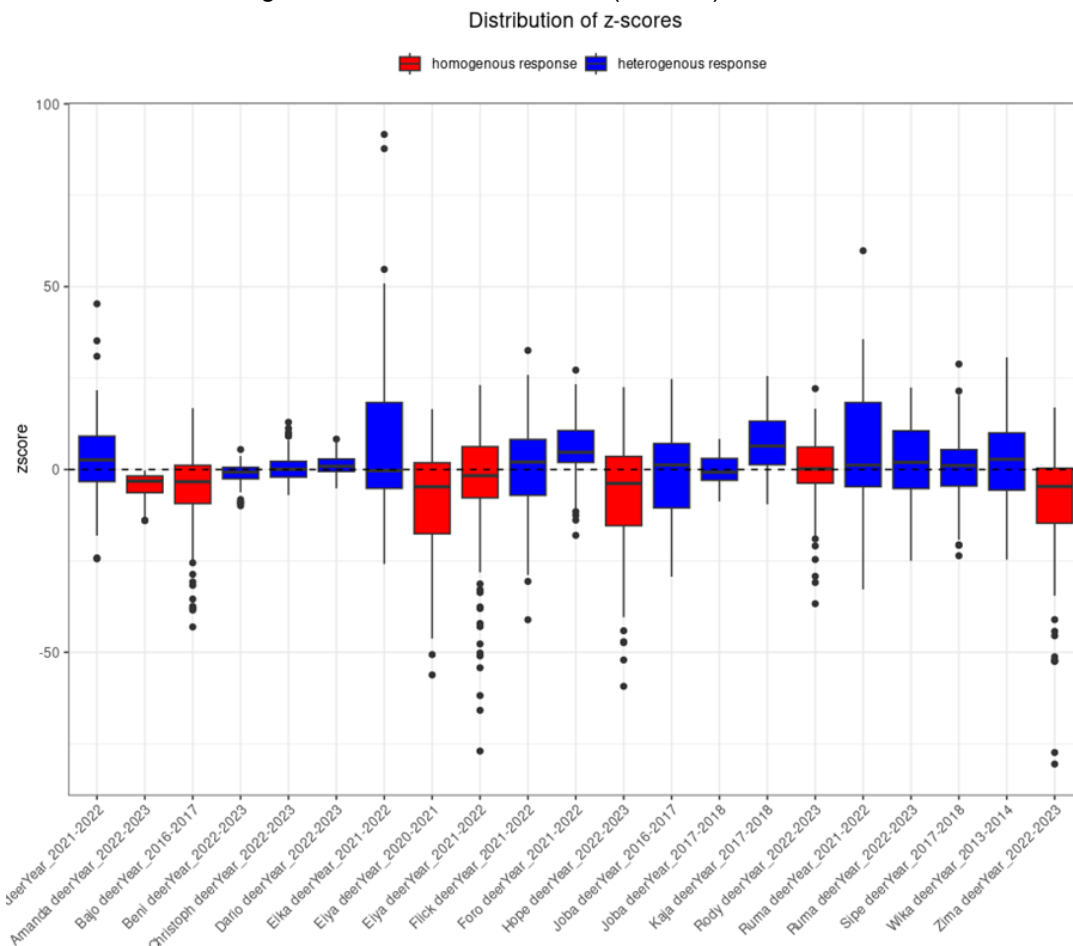


Abb. 33: Verteilung der z-Scores, die durch Vergleich der Autokorrelation der Tortuosität der realen jährlichen Strecken mit der Autokorrelation der Tortuosität der entsprechenden CRW-Strecke (correlated random walk) geschätzt werden. Die Strecken in Rot waren gewundener als von einem CRW erwartet und wurden daher als ein einziger "in-patch"-Bewegungstyp gewertet. Die Strecken in Blau weisen eine grössere Dichotomie in ihrem Verhalten auf, als von einer CRW zu erwarten wäre, und wurden daher für die nachfolgende Bewegungsklassifizierung ausgewählt.

Abb. 34 und Abb. 35 zeigen zwei Beispiele für die Beziehung zwischen der Autokorrelation der Tortuosität und der Teilergrösse für beobachtete und simulierte Strecken (CRW-Modell). Abb. 34 veranschaulicht die Autokorrelation der Tortuosität für ein Individuum, das eine homogene Reaktion auf die Heterogenität der Landschaft zeigt und somit als resident eingestuft werden kann (in-habitat patch). Abb. 35 zeigt ein Individuum, das eine starke Reaktion auf die Landschaftsstruktur zeigt, dass dann für die Ableitung von zwei Bewegungstypen (in-habitat-patch und in-matrix movements) ausgewählt werden kann.

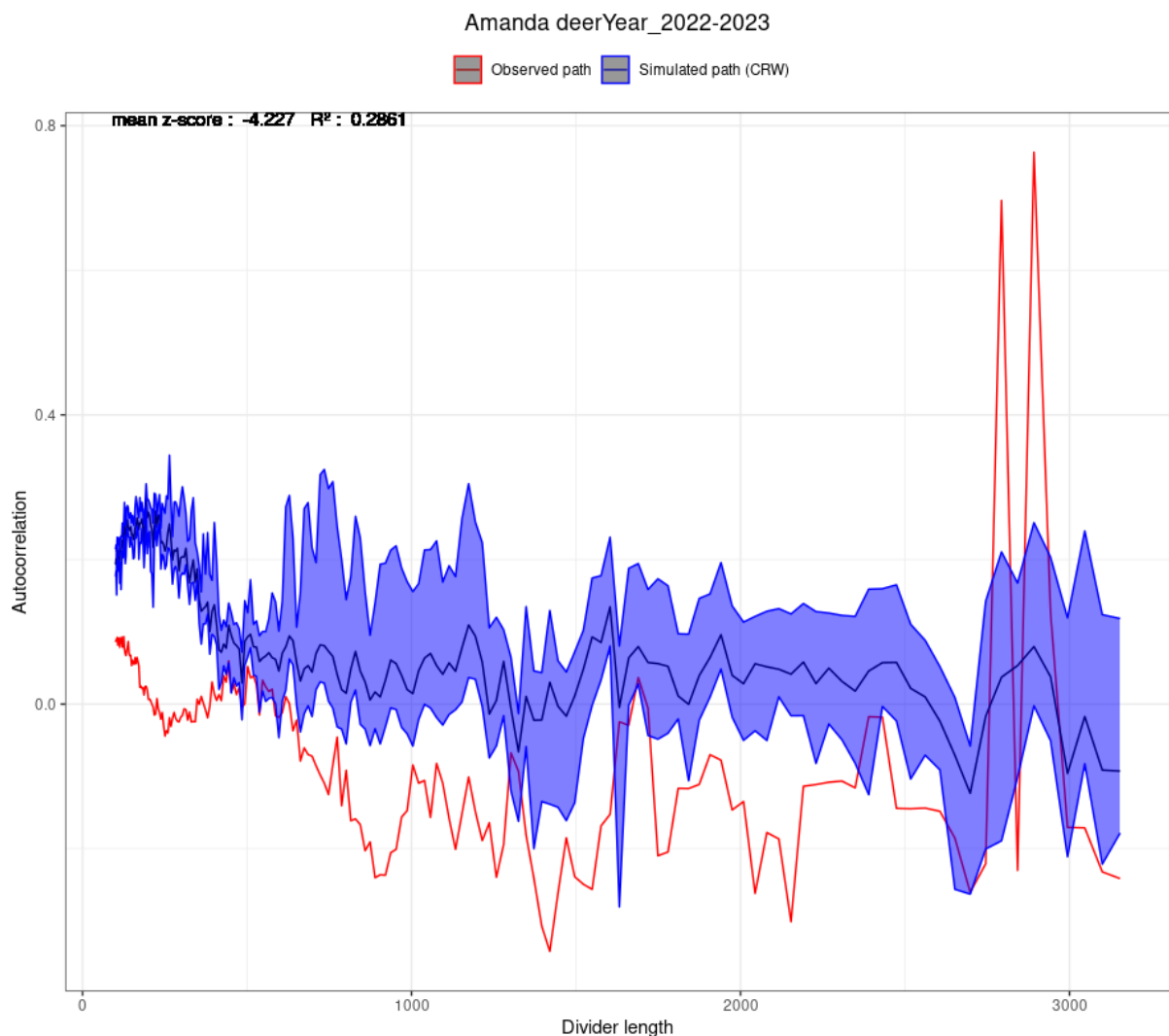


Abb. 34: Autokorrelation der Tortuosität für die beobachtete Strecke (rote Linie) im Vergleich zur Autokorrelation der Tortuosität für die entsprechende simulierte Strecke (CRW-Modell, blaue Linie und Fläche) am Beispiel von Amanda. Diese Hirschkuh zeigt eine homogene Reaktion auf die Heterogenität der Landschaft. Ihre Wanderstrecke weist eine geringere Autokorrelation auf als das CRW-Modell, d. h. eine geringere Persistenz sowohl der Tortuosität als auch der Schrittlänge. Sie kann somit als resident betrachtet werden.

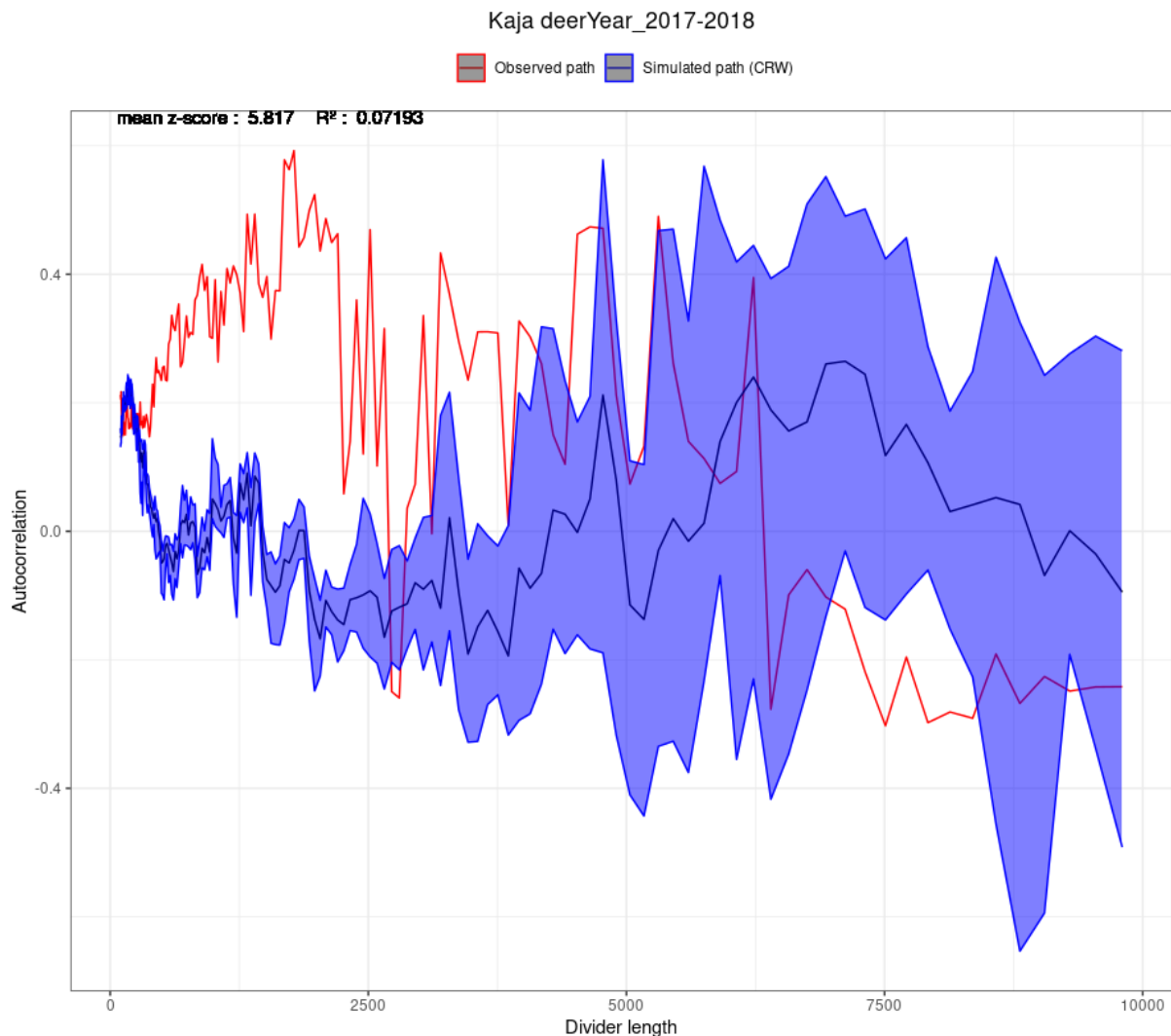


Abb. 35: Autokorrelation der Tortuosität für die beobachtete Strecke (rote Linie) im Vergleich zur Autokorrelation der Tortuosität für die entsprechende simulierte Strecke (CRW-Modell, blaue Linie und Fläche) am Beispiel von Kaja. Diese Hirschkuh zeigt eine heterogene Reaktion auf die Landschaft. Ihre Wanderstrecke zeigt eine höhere Autokorrelation als das CRW-Modell, also eine höhere Persistenz sowohl in der Tortuosität als auch in der Schrittlänge. Sie kann somit als migrierend betrachtet werden.

4.3.2 Segmentierung der GPS-Strecken anhand des Bewegungstyps

Bei Individuen, die zwei Bewegungstypen zeigen, wurde eine Gesamtzahl von 14 Hirschjahr-Wanderstrecken in zwei Bewegungstypen unterteilt. Es wurden verschiedene Teilerlängen verwendet, um die Strecken in Bewegungsmuster aufzuteilen, wie in Tab. 7 zu sehen ist. Die grafisch ausgewählten Teilerlängen, die zur Aufteilung der Strecken verwendet wurden, und die zur Verfeinerung der Segmentierung verwendete NSD-Methode (Net Square Displacement) sind in Tab. 7 aufgeführt.

Tab. 7 : Kategorisierte und segmentierte jährliche Wanderstrecken im Bewegungsverhalten.

Population	Id	Sex	Deer-year	Number of behaviours	Divider length (m)	Refinement method (cf 3.3.2.)
BE-SO-AG-LU	Aiko	Male	2021-2022	2	1442	Cumulative NSD
BE-SO-AG-LU	Eika	Female	2021-2022	2	958	Cumulative NSD
BE-SO-AG-LU	Eiya	Female	2020-2021	1		
BE-SO-AG-LU	Eiya	Female	2021-2022	1		
BE-SO-AG-LU	Flick	Male	2021-2022	2	2282	End NSD
BE-SO-AG-LU	Foro	Male	2021-2022	2	7065	End NSD
BE-SO-AG-LU	Hope	Female	2022-2023	1		
BE-SO-AG-LU	Rody	Male	2022-2023	1		
BE-SO-AG-LU	Ruma	Female	2021-2022	2	1236	End NSD
BE-SO-AG-LU	Ruma	Female	2022-2023	2	1086	Cumulative NSD
BE-SO-AG-LU	Zima	Female	2022-2023	1		
BE-SO-AG-LU	Bajo	Male	2016-2017	1		
BE-SO-AG-LU	Joba	Male	2016-2017	2	3229	End NSD
BE-SO-AG-LU	Joba	Male	2017-2018	2	2269	End NSD
BE-SO-AG-LU	Kaja	Male	2017-2018	2	656	Cumulative NSD
BE-SO-AG-LU	Sipe	Male	2017-2018	2	3251	Cumulative NSD
BE-SO-AG-LU	Wika	Male	2013-2014	2	2986	End NSD
ZH-AG-ZG-LU	Amanda	Female	2022-2023	1		
ZH-AG-ZG-LU	Beni	Male	2022-2023	2	774	Cumulative NSD
ZH-AG-ZG-LU	Christoph	Male	2022-2023	2	905	End NSD
ZH-AG-ZG-LU	Dario	Male	2022-2023	2	784	End NSD

Ein Beispiel für drei individuelle Wanderstrecken, die in zwei Bewegungsmuster unterteilt sind, ist in Abb. 36 bis Abb. 41 gezeigt. Abb. 36 bis Abb. 39 zeigen Jahresverläufe von zwei Individuen, aus dem Untersuchungsgebiet Zentrales Schweizer Mittelland. Abb. 40 und Abb. 41 zeigt die jährliche Wanderstrecke eines Individuums aus dem Untersuchungsgebiet Zürich-Aargau. Generell lässt sich grafisch erkennen, dass die Segmentierung in zwei Bewegungstypen eine Zweiteilung der NSD zur Folge hat. GPS-Standorte, die als Bewegungen innerhalb der Matrix klassifiziert werden, weisen einen schnellen Anstieg der NSD auf, während GPS-Standorte, die einer Bewegung von Individuen innerhalb der Matrix entsprechen, im Laufe der Zeit stabile NSD-Werte aufweisen. Individuen mit einem solchen Bewegungsmuster mit zwei Ebenen können als Migranten betrachtet werden. Zum Vergleich, ein Beispiel von einem Tier (Amanda) mit nur einem Bewegungsmuster ist in Abb. 42 und 43 gegeben.

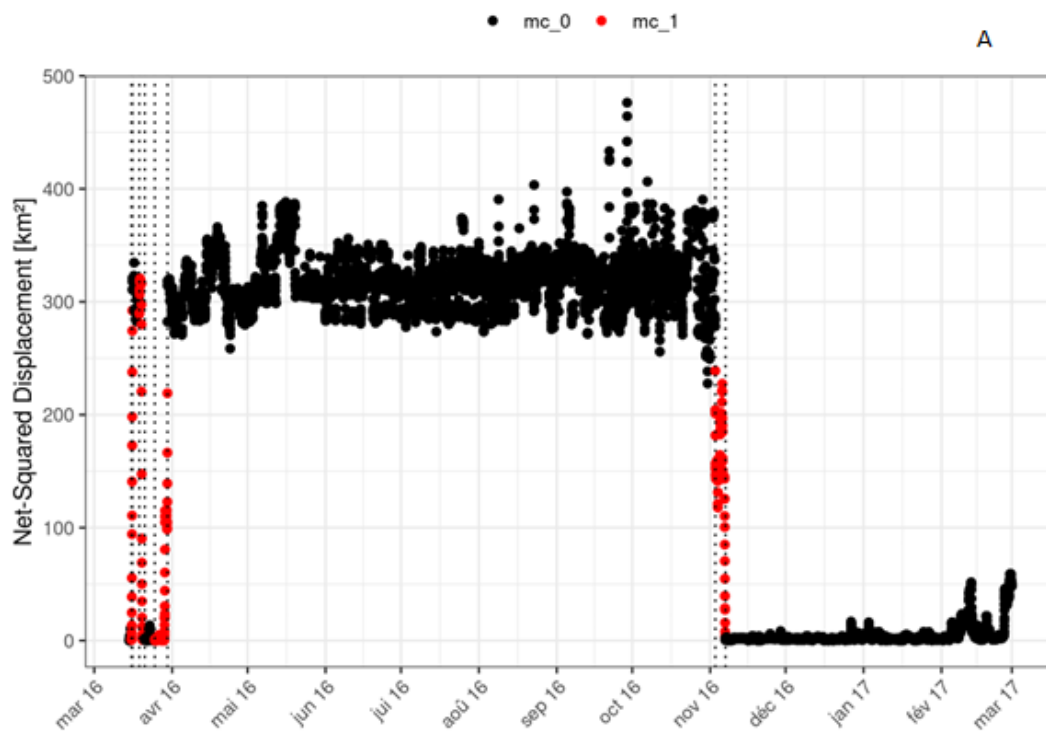


Abb. 36: Ein in zwei Bewegungsmuster segmentierter Jahresverlauf eines Individuums (Hirschkuh Joba) aus dem Untersuchungsgebiet Zentrales Schweizer Mittelland. Die Segmentierung der NSD ist über ein Hirschjahr aufgetragen. Die roten Punkte entsprechen die GPS-Positionen, die als Bewegungen innerhalb der Matrix klassifiziert wurden, die schwarzen Punkte als Bewegungen innerhalb des Kerngebietes.

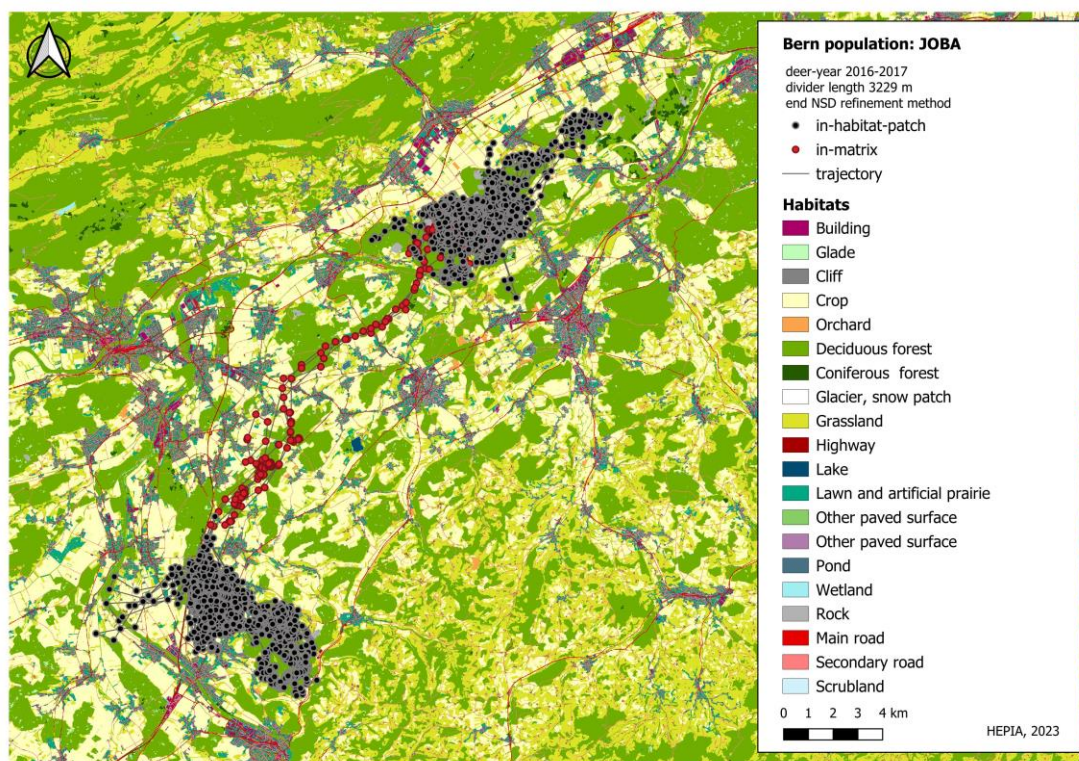


Abb. 37: Die Abbildung des gleichen Segmentverlaufs von Hirschkuh Joba auf der Habitatkarte.

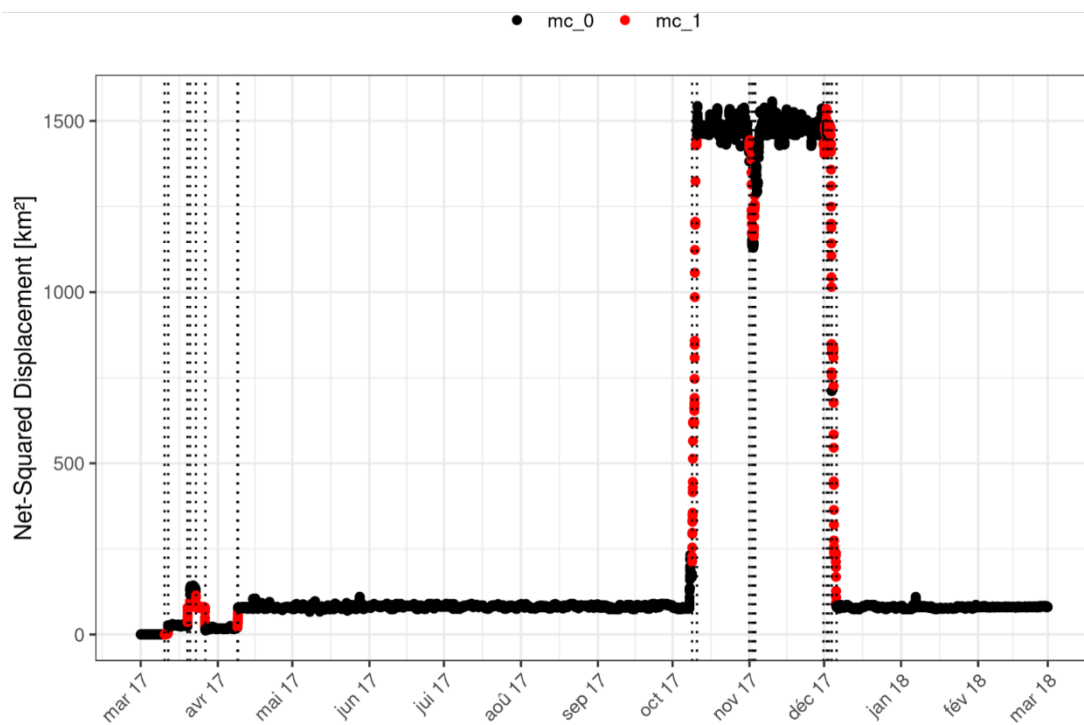


Abb. 38: Ein in zwei Bewegungsmuster segmentierter Jahresverlauf eines Individuums (Hirschkuh Kaja) aus dem Untersuchungsgebiet Zentrales Schweizer Mittelland. Die Segmentierung der NSD ist über ein Hirschjahr aufgetragen. Die roten Punkte entsprechen die GPS-Positionen, die als Bewegungen innerhalb der Matrix klassifiziert wurden, die schwarzen Punkte als Bewegungen innerhalb des Kerngebietes.

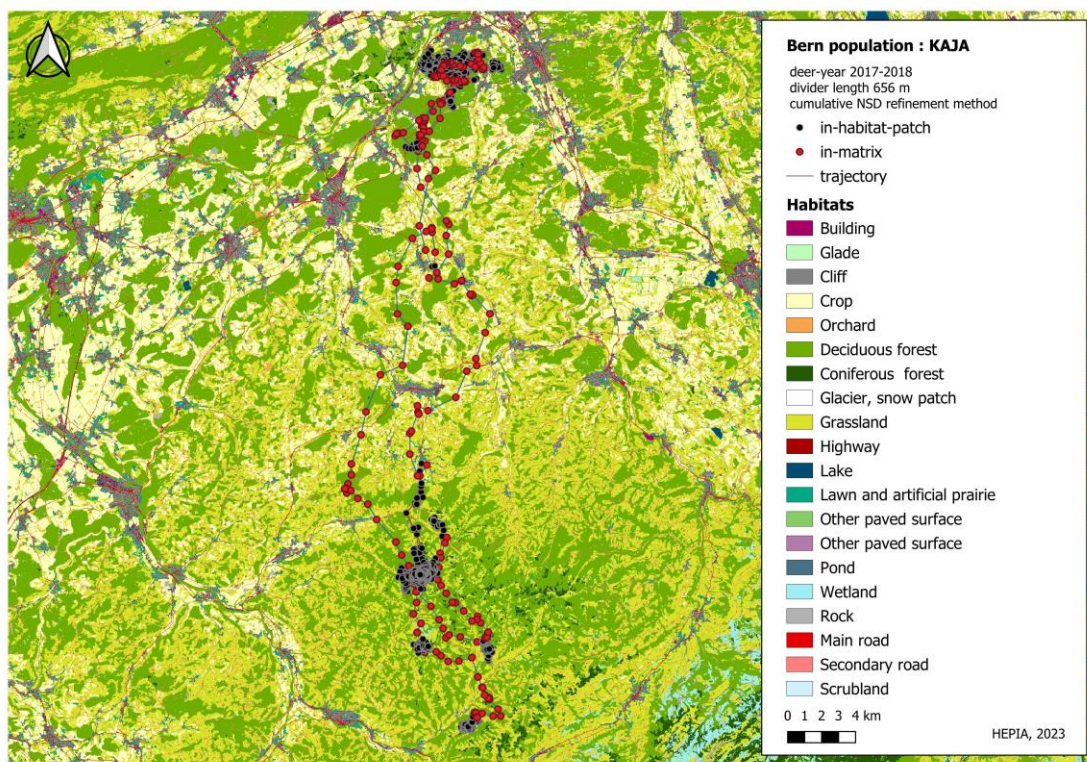


Abb. 39: Die Abbildung des gleichen Segmentverlaufs von Hirschkuh Kaja auf der Habitatkarte.

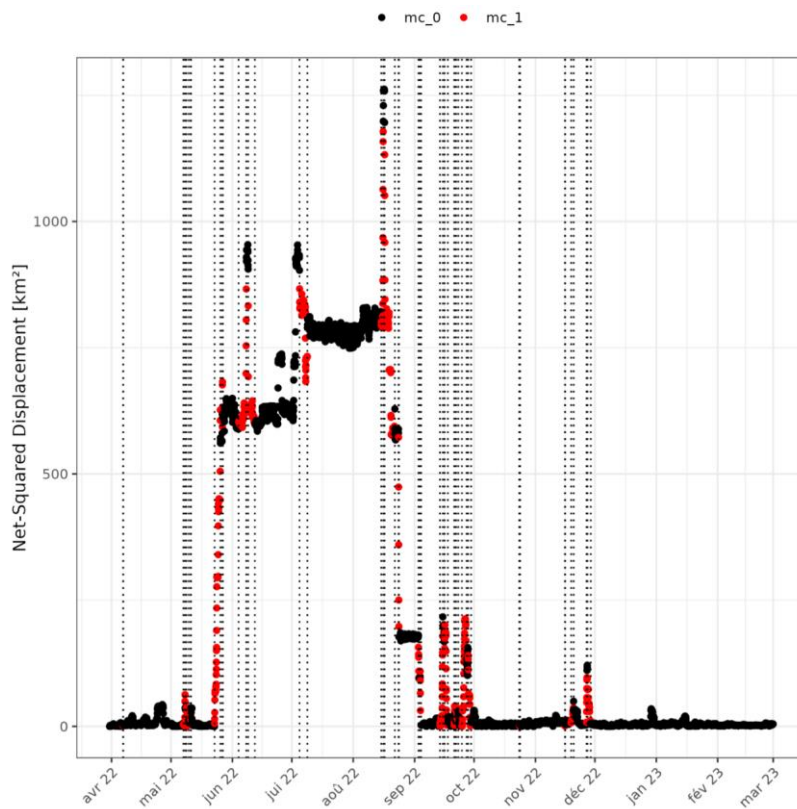


Abb. 40: Ein in zwei Bewegungsmuster segmentierter Jahresverlauf eines Individuums (Stier Dario) aus dem Untersuchungsgebiet Zürich-Aargau. Die Segmentierung der NSD ist über ein Hirschjahr aufgetragen. Die roten Punkte entsprechen die GPS-Positionen, die als Bewegungen innerhalb der Matrix (in-matrix) klassifiziert wurden, die schwarzen Punkte als Bewegungen innerhalb des Kerngebietes (in-habitat-patch).

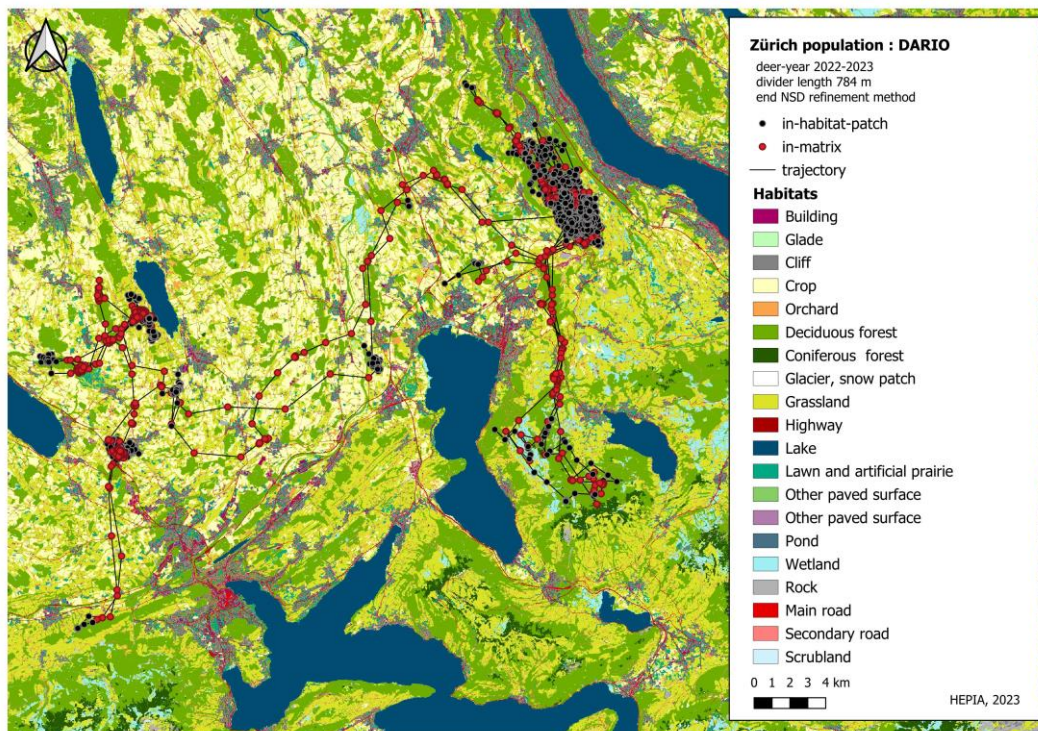


Abb. 41: Die Abbildung des gleichen Segmentverlaufs von Stier Dario auf der Habitatkarte

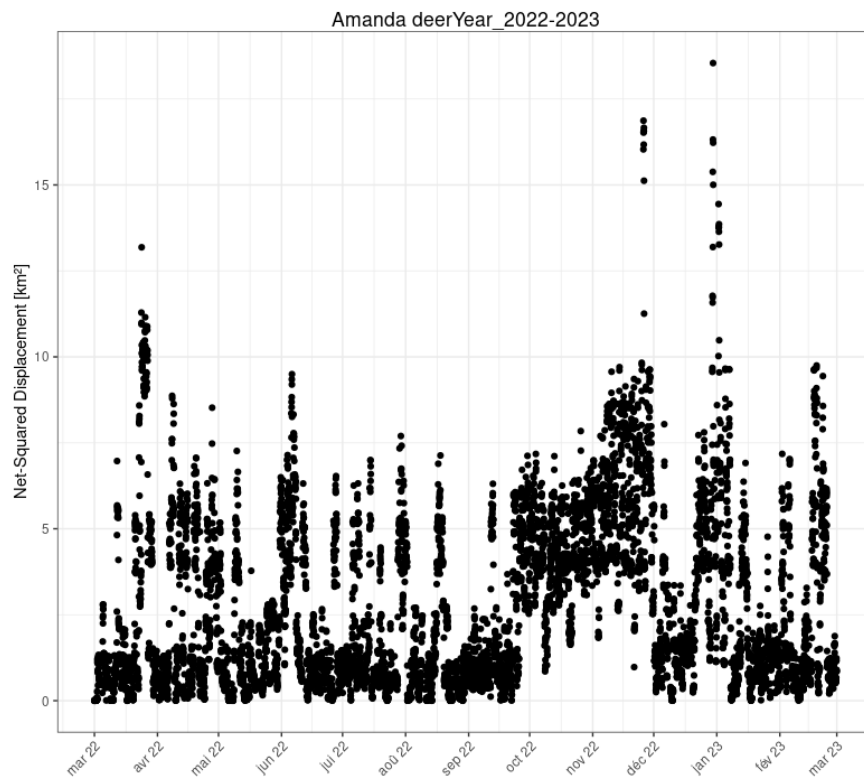


Abb. 42 Beispiel eines in ein einziges Bewegungsmuster segmentierter Jahresverlauf eines Individuums (Hirschkuh Amanda) aus dem Untersuchungsgebiet Zürich-Aargau. Die Segmentierung der NSD ist über ein Hirschjahr aufgetragen. Die schwarzen Punkte entsprechen die GPS-Positionen, die als Bewegungen innerhalb des Kerngebietes klassifiziert wurden. Es gibt keine Punkte, die als in der Matrix klassifiziert sind.

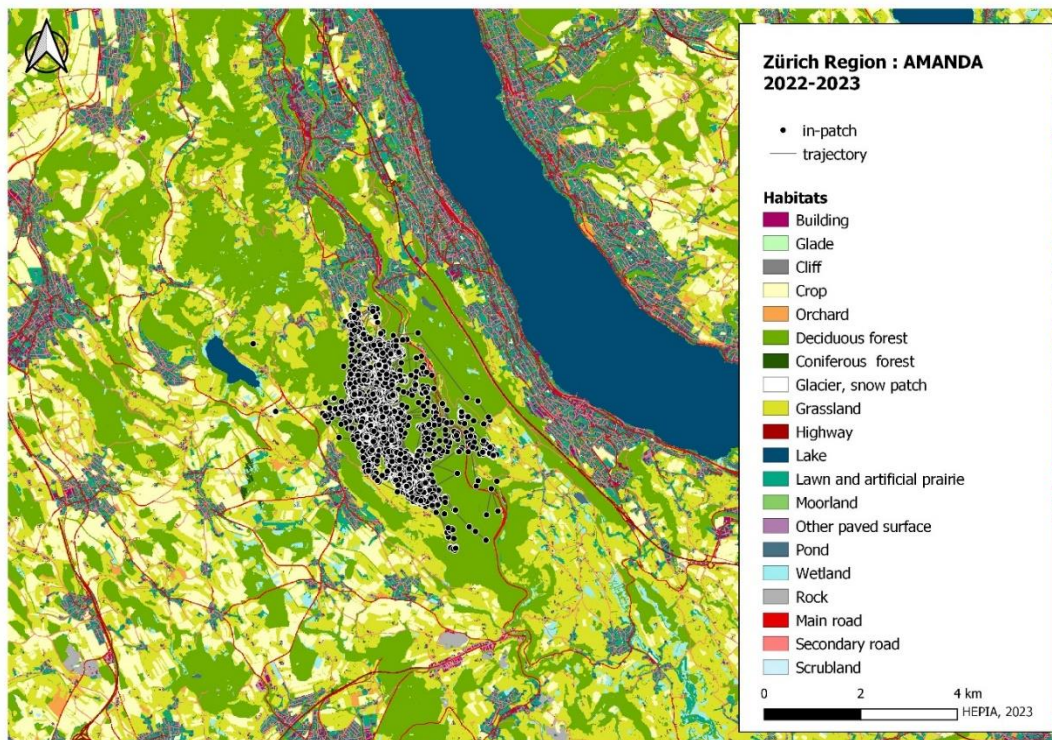


Abb. 43 Die Abbildung des gleichen Segmentverlaufs von Hirschkuh Amanda auf der Habitatkarte.

4.3.3 Ressourcenselektion der Rothirsche während Wanderbewegungen und Resistenz der Habitate

In der Stepselection-Analyse, in welche die Daten von 21 Rothirsch-Jahren eingeflossen sind (Tab. 7), wurden die Selektionskoeffizienten für verschiedene natürliche und anthropogene Variablen berechnet. Für die Bewegungstypen "in-matrix" und "in-patch" wurde jeweils ein separates Modell gerechnet. Die Selektionskoeffizienten für die einzelnen kategorischen Lebensraumklassen wurden unter Verwendung von "deciduous forest" als Referenzklasse abgeleitet. Positive Werte zeigen eine relative Präferenz für den jeweiligen Lebensraum im Vergleich zur Referenzklasse an, während negative Werte eine relative Meidung anzeigen. Bei kontinuierlichen Variablen geben die Koeffizienten die Richtung und Stärke des Einflusses der jeweiligen Kovariablen an (Tab. 8; Tab. 9). Die Grösse der Selektionskoeffizienten kann nur innerhalb des jeweiligen Modells verglichen werden, nicht über die Modelle hinweg.

Tab. 8 : Ressourcenauswahl für "In-Matrix"-Datenschritte.

Variablen	Schätzer (β)	Standardfehler (SE)	P-Wert
kategorisch			
Glade	1.1358	0.0616	<0.001
Crop	-0.6703	0.0362	<0.001
Other cultures	-0.8727	0.4654	0.061
Coniferous Forest	0.1125	0.1553	0.469
Grassland	-0.6618	0.0424	<0.001
Lawn	-1.5477	0.1440	<0.001
Wetland	-0.4493	0.1614	<0.01
Rocky terrain	-0.8377	0.1995	<0.001
Scrubland	-0.8178	0.3971	<0.05
Main roads	-2.1093	0.3376	<0.001
Secondary road	-1.8679	0.1728	<0.001
Paved surfaces	-15.2656	5935.6010	0.998
kontinuierlich			
building density	-0.3911	0.0332	<0.001
Main road density	-0.1778	0.0228	<0.001
Sec. road density	-0.0732	0.0128	<0.001
forest density	0.1892	0.0087	<0.001
distance to buildings	0.0097	0.0216	0.653
distance to main roads	-0.3214	0.0552	<0.001
distance to sec. roads	0.0169	0.0386	0.663
slope	0.0983	0.0227	<0.001
Step length	0.0380	0.0056	<0.001

Tab. 9 : Auswahl der Ressourcen für "In-Patch"-Datenschritte.

Variablen	Schätzer (β)	Standardfehler (SE)	P-Wert
kategorisch			
Glade	0.6364	0.0247	<0.001
Crop	-0.2524	0.0143	<0.001
Other cultures	-0.6356	0.1436	<0.001
Coniferous Forest	0.2602	0.0371	<0.001
Grassland	-0.3343	0.0152	<0.001
Lawn	-1.0051	0.0510	<0.001
Wetland	-0.2688	0.0640	<0.001
Rocky terrain	-0.8013	0.0470	<0.001
Scrubland	-0.3975	0.1340	<0.01
Main roads	-2.1762	0.1403	<0.001
Secondary road	-1.7687	0.0668	<0.001
Paved surfaces	-11.5392	271.2762	0.966
kontinuierlich			
building density	-0.2957	0.0111	<0.001
Main road density	-0.1348	0.0080	<0.001
Sec. road density	-0.0681	0.0045	<0.001
forest density	0.1017	0.0036	<0.001
distance to buildings	0.0552	0.0089	<0.001
distance to main roads	-0.3864	0.0321	<0.001
distance to sec. roads	0.0938	0.0177	<0.001
slope	-0.0053	0.0080	0.5107
Step length	0.0384	0.0042	<0.001

Lichtungen werden bei beiden Bewegungstypen deutlich gegenüber Laubwäldern bevorzugt, was nicht überrascht, da sie schließlich direkt mit Waldflächen vernetzt sind und sich oft im Zentrum von Kerngebieten und Trittsteinen befinden. Grasland, Feuchtgebiete und besonders Landwirtschaftliche Flächen, werden bei beiden Bewegungstypen gegenüber Laubwäldern gemieden, während Nadelwälder bevorzugt werden. Die Resultate deuten darauf hin, dass bei Langstreckenwanderungen hinsichtlich Lebensraumtypen die Wälder von zentraler Bedeutung sind und Offenland nach Möglichkeit eher gemieden wird. Dies zeigt sich auch darin, dass bei beiden Bewegungstypen Flächen mit einer hohen Walddichte bevorzugt werden.

Gebiete mit hoher Gebäudedichte werden bei beiden Bewegungstypen durch die Rothirsche gemieden, bei grösseren Gebietsverschiebungen ("in-matrix") wird die Nähe zu Gebäuden allerdings nicht speziell gemieden, bei "in-patch"-Bewegungen dagegen schon. Dies ist wohl auf die Nutzung der Offenflächen während zur Nahrungssuche in der Nacht oder auf Wanderungen zurückzuführen. Ebenfalls werden Gebiete mit einer hohen Dichte an Verkehrsinfrastrukturen (main und secondary road density) in beiden Bewegungstypen gemieden. Die Nähe zu Nebenstrassen wird bei grösseren Gebietsverschiebungen

("in-matrix") nicht gemieden, bei "in-patch"-Bewegungen allerdings schon. Zudem werden bei "in-matrix"-Bewegungen steilere Gebiete bevorzugt, bei "in-patch" nicht.

Die negative Selektion für Gebäudedichte in beiden Modellen gibt an, dass dicht besiedelte Gebiete grundsätzlich eher gemieden werden. Bei Kerneinstandsgebieten ("in-patch") selektieren die Rothirsche signifikant für Zonen, die weit weg von Gebäuden sind. Auf Wanderungen ("in-matrix") gibt es dahingehend keinen Einfluss, weil sie sich nicht in Zonen mit hoher Gebäudedichte, wohl aber in der Nähe von Einzelgebäuden bewegen.

4.4 Vernetzung & Wanderhindernisse

4.4.1 Konnektivitätsmodellierung

Wie in der Methodik erwähnt, erfolgt unser Vorgehen in mehreren Schritten. Die folgenden Abbildungen veranschaulichen die Ergebnisse der einzelnen Schritte, zunächst auf Mittelland-Ebene und dann unter Berücksichtigung eines lokalen Massstabs.

In einem ersten Schritt wurde ein Landschaftsdiagramm erstellt. Dieses stellt die Knoten und Verbindungen eines ökologischen Netzwerks dar. Die Knoten entsprechen den Kerngebieten, die mit Hilfe der In-Patch-Daten ermittelt wurden. Die Grösse der Kerngebiete beträgt 150 ha, und die Lebensräume umfassen alle bewaldeten Lebensräume. Bei den Verbindungen haben wir alle Paare von Kerngebieten berücksichtigt, die weniger als 30 km voneinander entfernt sind (Urbina et al. 2023). Abb. 44 stellt diesen Diagramm im Massstab der Schweiz (um Randeffekte zu vermeiden) dar, und den in dieser Studie betrachteten Perimeter, das Schweizer Mittelland ist in Abb. 45 dargestellt. Für die Berechnung der Modelle und ihre kartografische Darstellung wird das Mittelland als Referenz betrachtet. Die Rothirsche im Mittelland zeigen ein anderes räumliches Verhalten als die Alpenpopulationen, weshalb es nicht möglich ist, für diese unterschiedlichen biogeografischen Zonen die gleichen Grundlagen im Modell zu verwenden. Hier zeigt sich das Konzept der planaren Graphen, bei denen jedes Knotenpunktpaar nur durch einen einzigen Link verbunden ist.

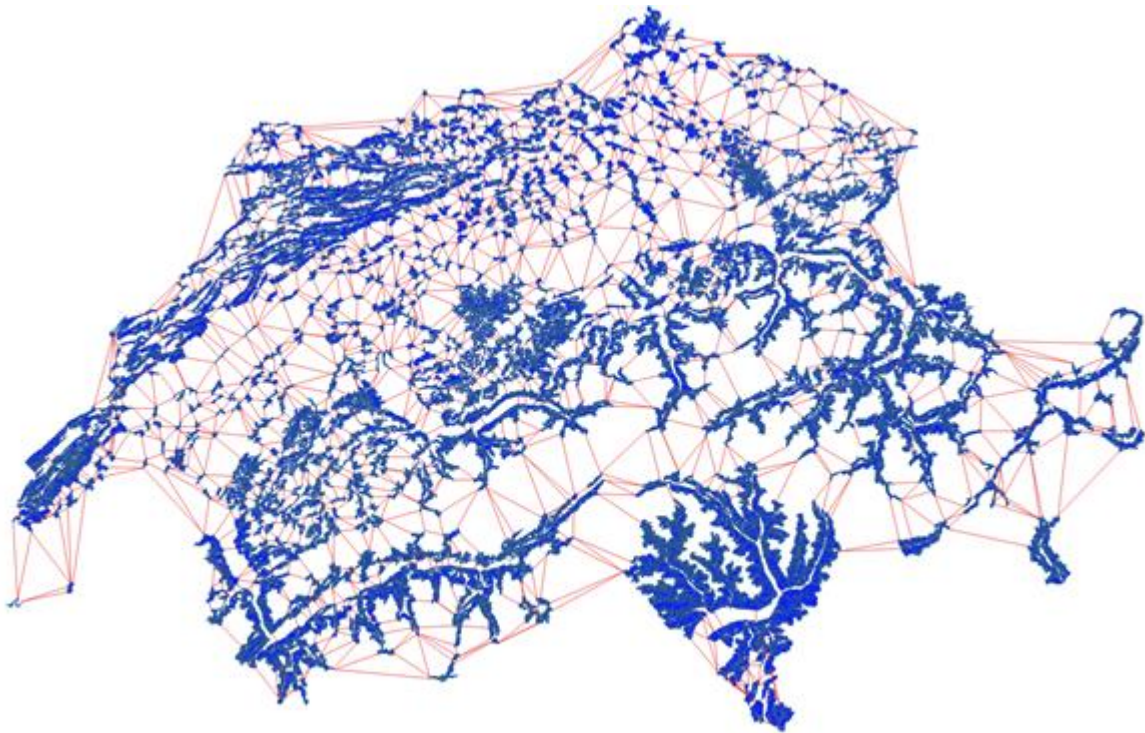


Abb. 44: Landschaftsdiagramm auf gesamtschweizerischer Ebene. Blaue Regionen: Kerngebiete, rote Linien: Vernetzungslinien.

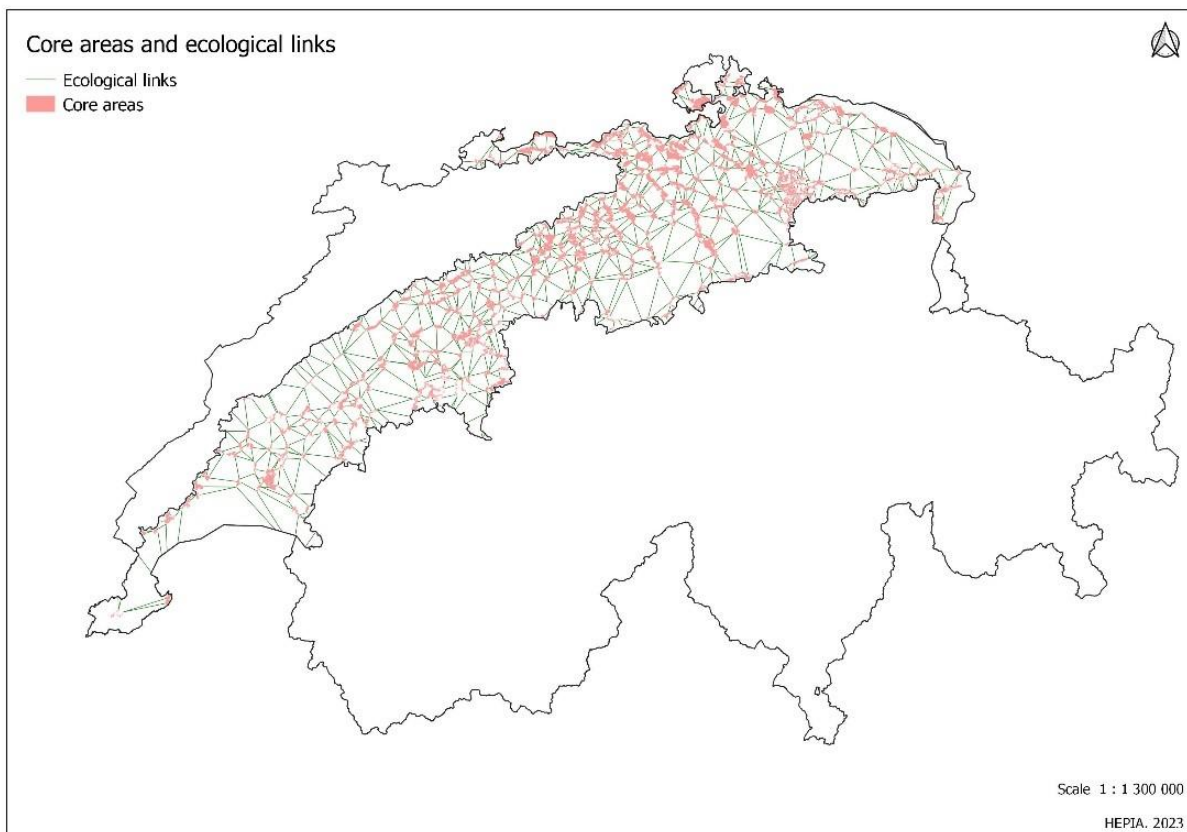


Abb. 45: Landschaftsdiagramm beschränkt auf den Bereich des Mittellands.

Aus Abb. 45 geht hervor, dass die Dichte und Grösse der Kerngebiete im Nordosten des Mittellandes am grössten ist. Auch am nördlichen Rand des Mittellandes ist sie grösser, wenn man die Osthälfte des Landes betrachtet. Diese Art von Gebieten werden derzeit von den Hirschen im Schweizer Mittelland am meisten genutzt.

In Kombination mit der Widerstandskarte wurde diese Kartengrundlage zur Erstellung unseres Least Cost Corridor Model - zur Angabe der Wahrscheinlichkeit der Nutzung durch Rothirsche – verwendet (Abb. 46). Mit diesem Modell werden die Sektoren identifiziert, die die höchste Wahrscheinlichkeit aufweisen, von Rothirschen genutzt zu werden. Je dunkler das Blau, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Rothirsch das Gebiet durchquert, und diese Wahrscheinlichkeit nimmt zum Gelb hin ab. Es ist erneut zu erkennen, dass die Wahrscheinlichkeit, dass der südliche Teil des östlichen Mittellandes durchquert wird, geringer ist als der nördliche. Für die Region Genf ergibt sich ein Artefakt, der auf einen Randeffekt des Modells zurückzuführen ist. Dies deshalb, weil die Habitatkarte und andere Widerstandsmetriken im benachbarten Frankreich nicht dieselben Genauigkeiten aufweisen wie in der Schweiz. Dieser Randeffekt muss in allen Grenzgebieten berücksichtigt werden.

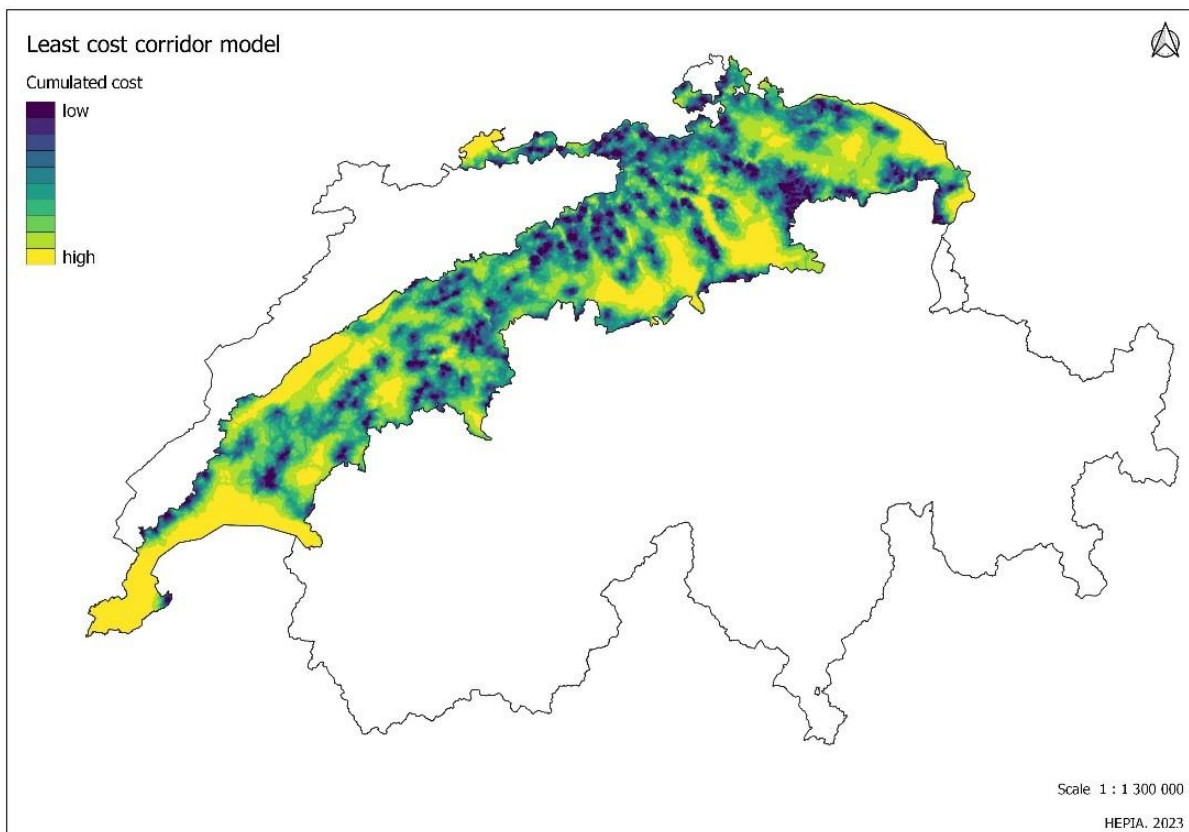


Abb. 46: Least Cost Corridor Model. Je dunkler das Blau, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Rothirsch das Gebiet durchquert; diese Wahrscheinlichkeit nimmt zum Gelb hin ab.

Parallel dazu wurde mithilfe der Widerstandskarte das auf der Schaltkreistheorie basierende Modell erstellt. Dieses Modell zeigt die Pinch-points der Konnektivität, d.h. die Bereiche, die entweder für einen Teil eines Korridors (Engpässe) oder für einen ganzen Korridor am anfälligsten sind (Abb. 47). Diese Anfälligkeit hängt zum Teil mit engen Bereichen zusammen, in denen der Bewegungsfluss stark ist, oder mit Korridoren, für die es keine oder nur wenige Alternativen gibt, um zwei benachbarte Kerngebiete zu verlinken. Wird dieser Korridor unterbrochen, wird die Wahrscheinlichkeit zwei miteinander verbundene Kerngebiete zu erreichen sehr klein und die Konnektivität zwischen diesen Bereichen ist somit gefährdet. Es ist zu beachten, dass der Stromfluss (=Bewegungsfluss) auch innerhalb der Kerngebiete verläuft.

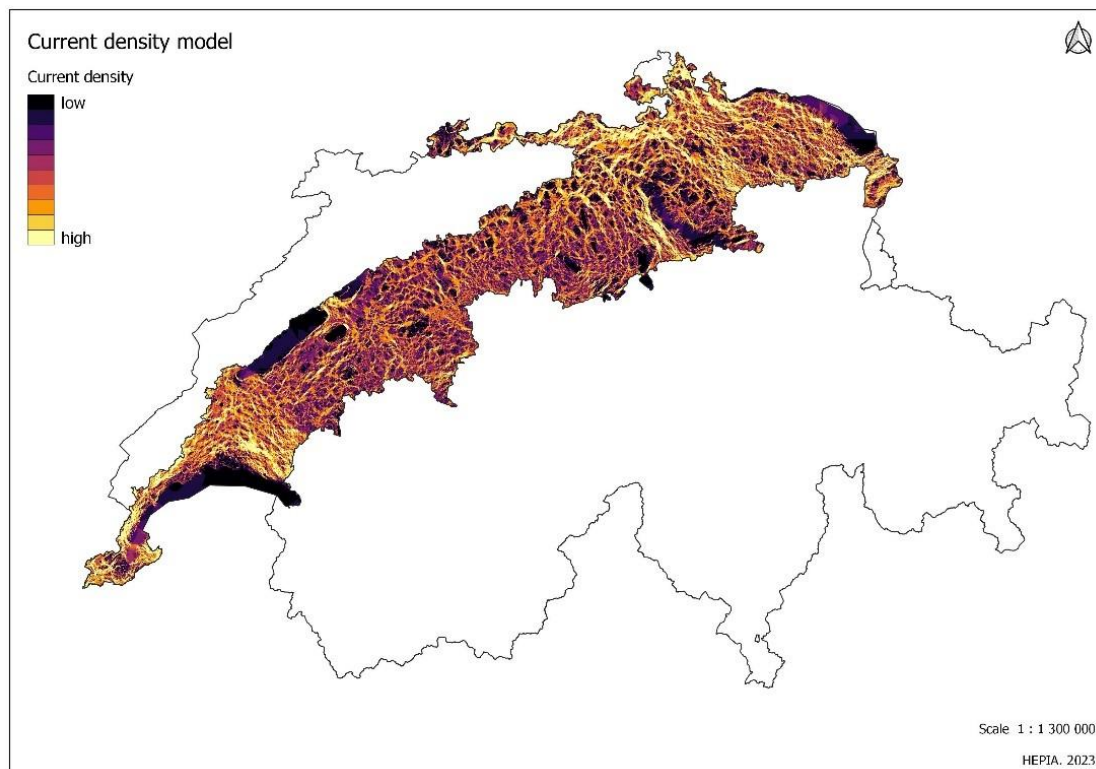


Abb. 47 : Modell der Stromdichte (=Bewegungsfluss) anhand der Schaltkreistheorie.

Schliesslich werden diese beiden Modelle zu einem Prioritätsmodell zusammengeführt, das es ermöglicht, die Korridore mit einem Prioritätsgradienten hinsichtlich deren Erhaltung darzustellen (Abb.48). Vorrangige Korridore sind solche, die mit hoher Wahrscheinlichkeit vom Rothirschen genutzt werden und die nur wenige alternative Routen aufweisen und daher anfällig sind.

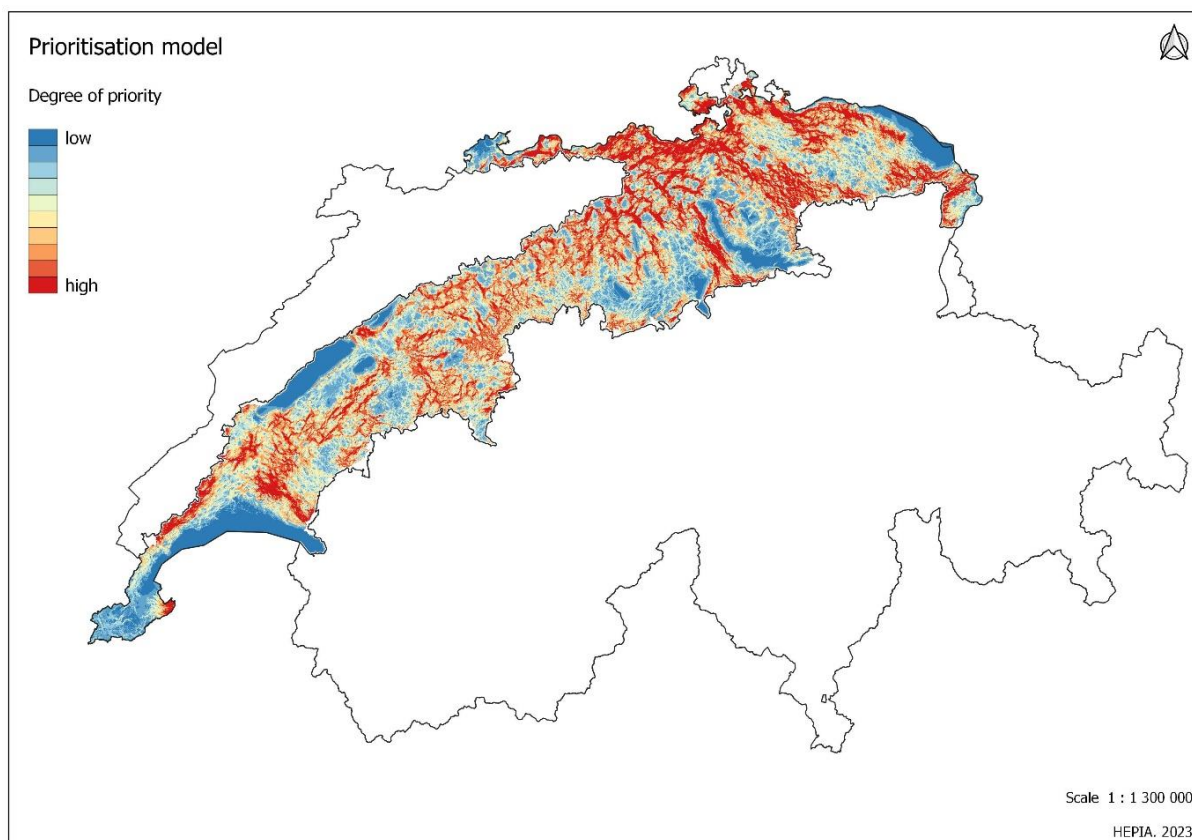


Abb. 48 : Karte des Prioritätenmodells.

Durch Hinzufügen der Kerngebiete zu dieser Karte werden die Korridore und ihre Prioritätsstufe hervorgehoben (Abb. 49), was das Verständnis des Modells erleichtert.

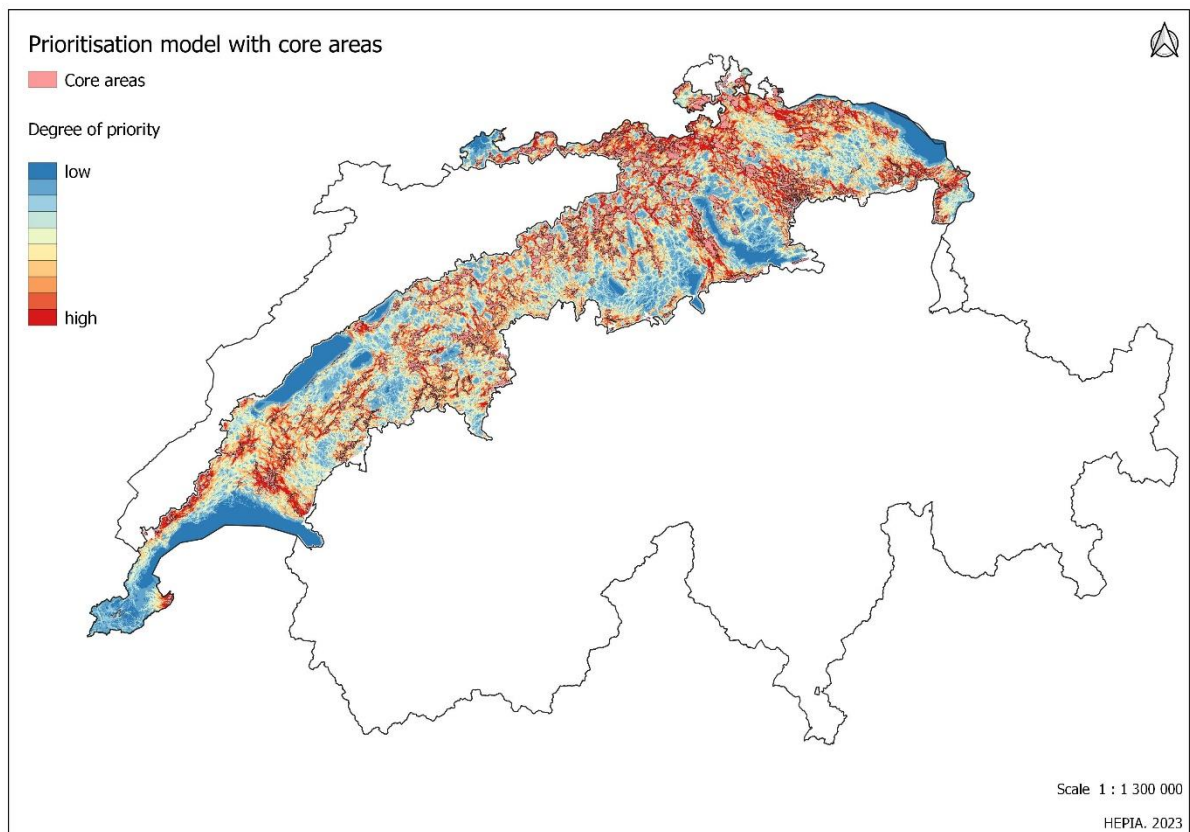
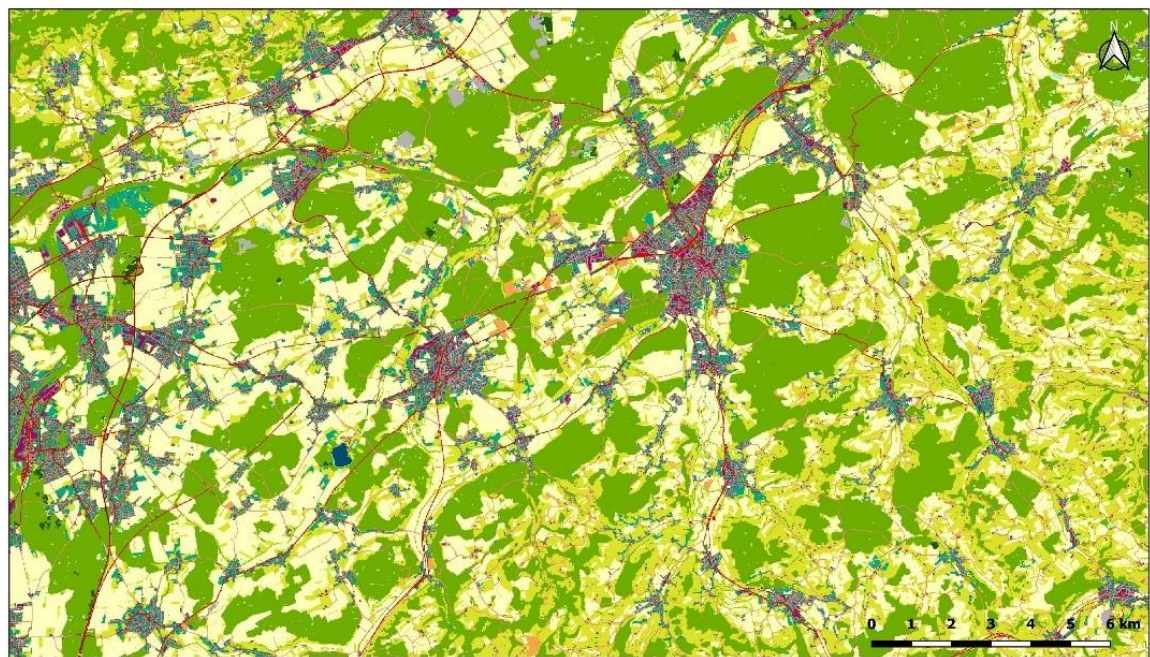


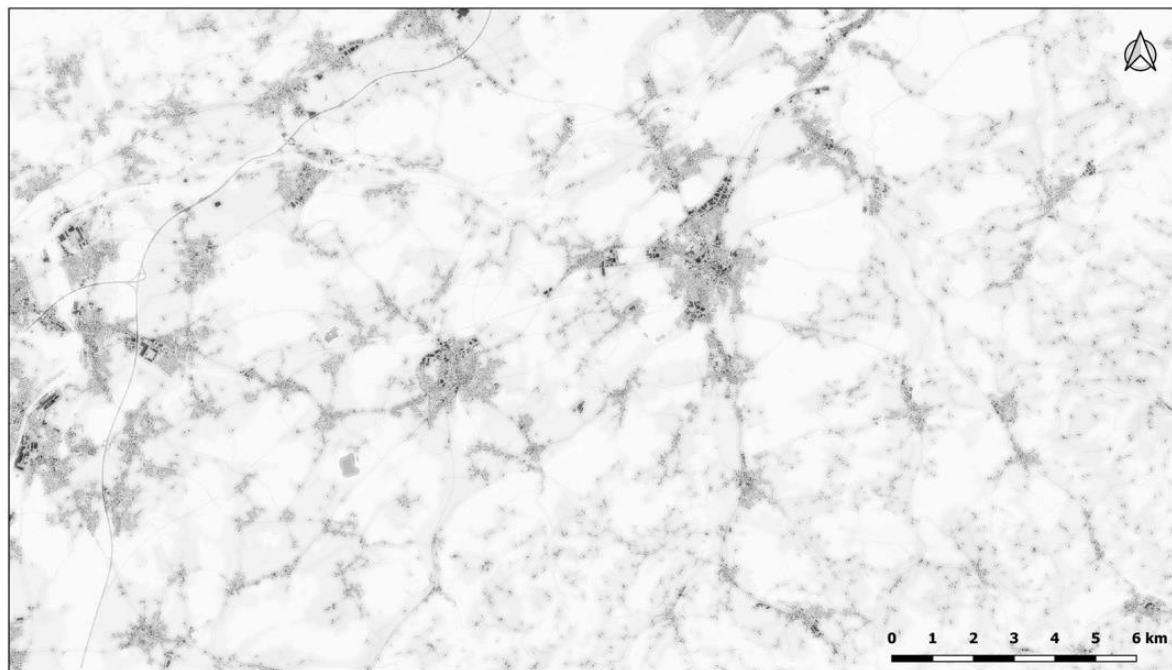
Abb. 49 : Priorisierungsmodell ergänzt mit Kerngebieten

Zum besseren Verständnis dieses Ansatzes und zur Erläuterung seiner Anwendung können wir eine kleinere räumliche Ausdehnung betrachten, indem wir auf eines der Gebiete zoomen, in denen Rothirsche besiedelt wurden (z.B. nördlich des zentralen Mittellands: Abb. 50 bis Abb. 60).



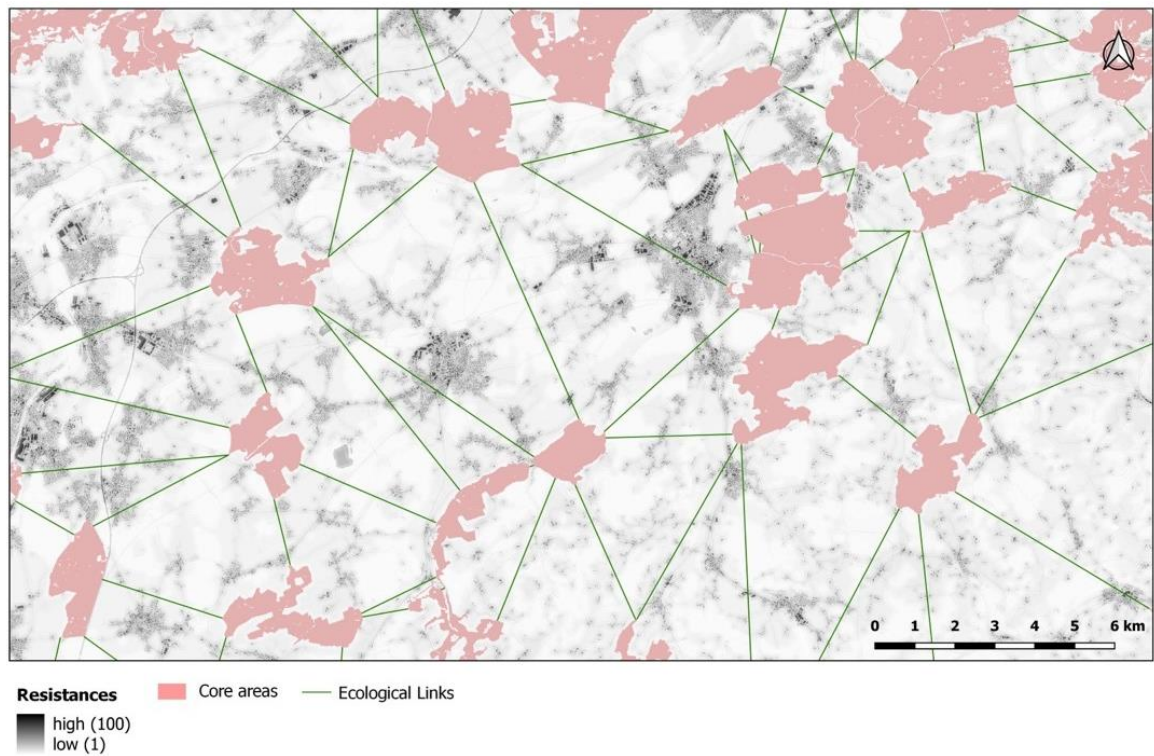
HEPIA, 2023

Abb. 50: Habitat-Karte.



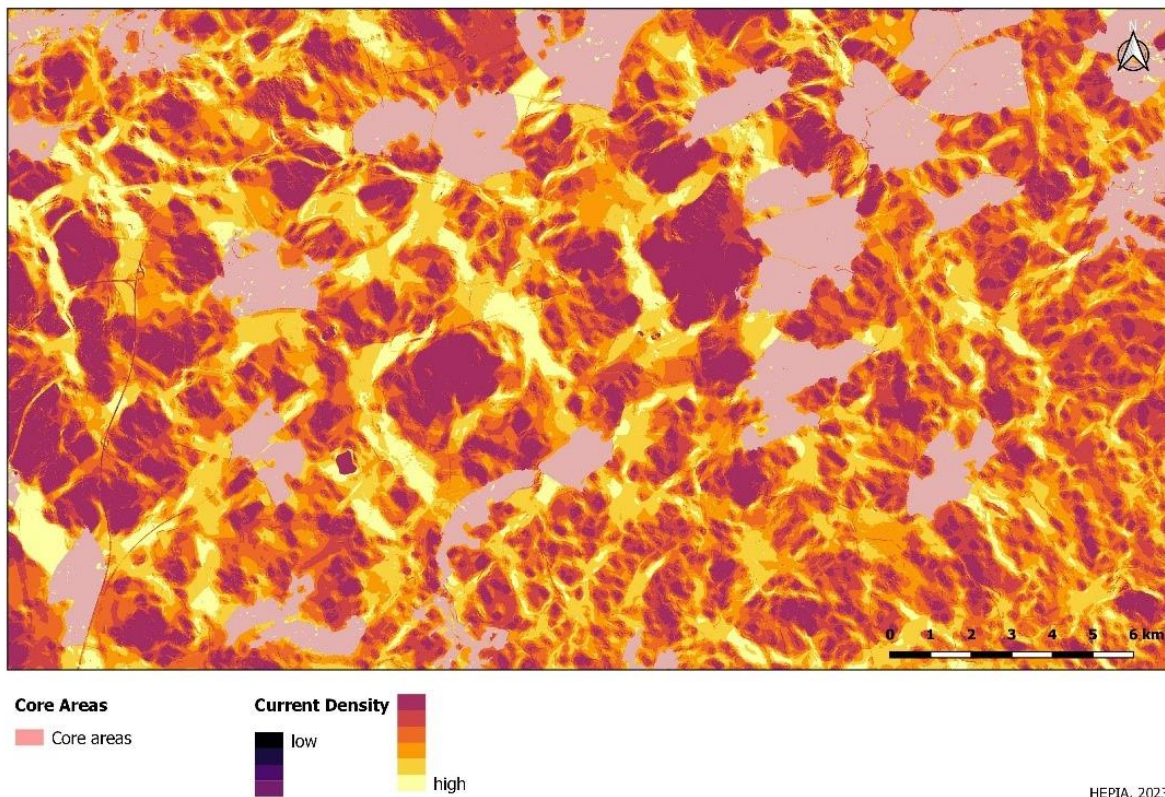
HEPIA, 2023

Abb. 51: Widerstandskarte.



HEPIA, 2023

Abb. 52: Widerstandskarte mit Planardiagramm (Kerngebiete in rosa, Verbindungen als grüne Linien).



HEPIA, 2023

Abb. 53: Stromdichtekarte mit Kerngebieten (rosa). Je heller gelb die Farbe, desto anfälliger ist der Korridor bzw. der Abschnitt eines Korridors. Die Anfälligkeit ist an Engpässe gebunden, oder an Korridore für die es wenig oder keine alternativen Routen gibt.

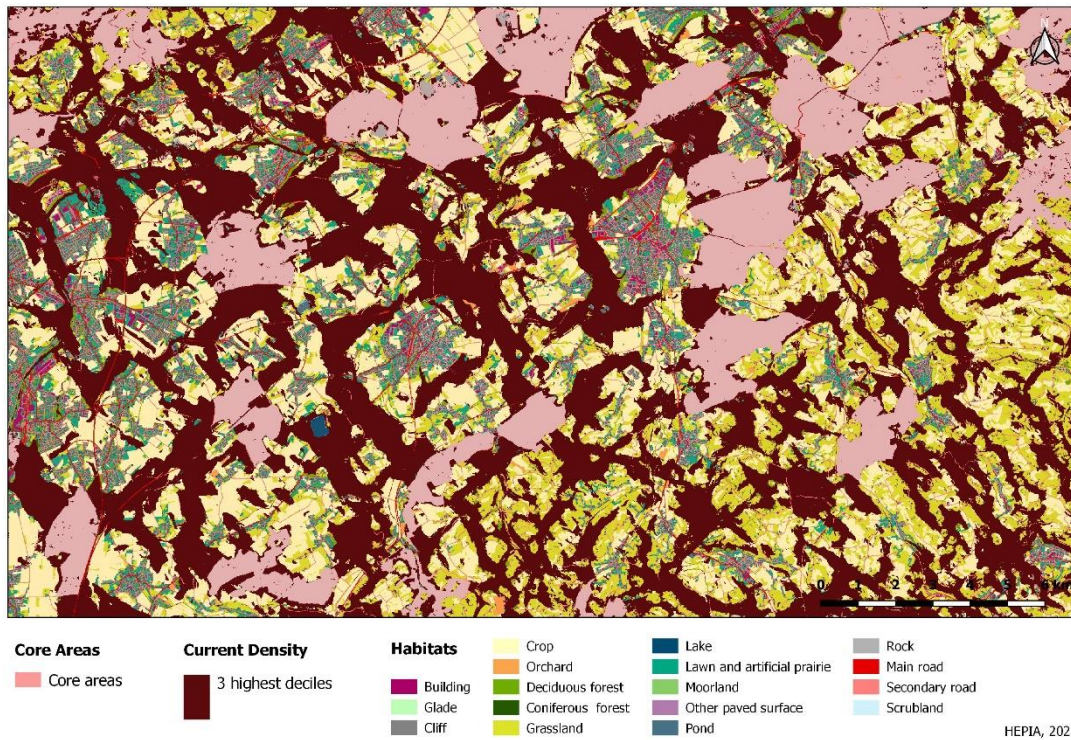


Abb. 54: Vereinfachte Stromdichtekarte mit Kerngebieten (rosa). Hier sind nur die drei höchsten Dezile der Stromdichte in Dunkelbraun dargestellt.

Die Darstellung ermöglicht es, die Hauptkorridore besser hervorzuheben, sie gibt aber nur Teilweise die Prioritätsstufen an.

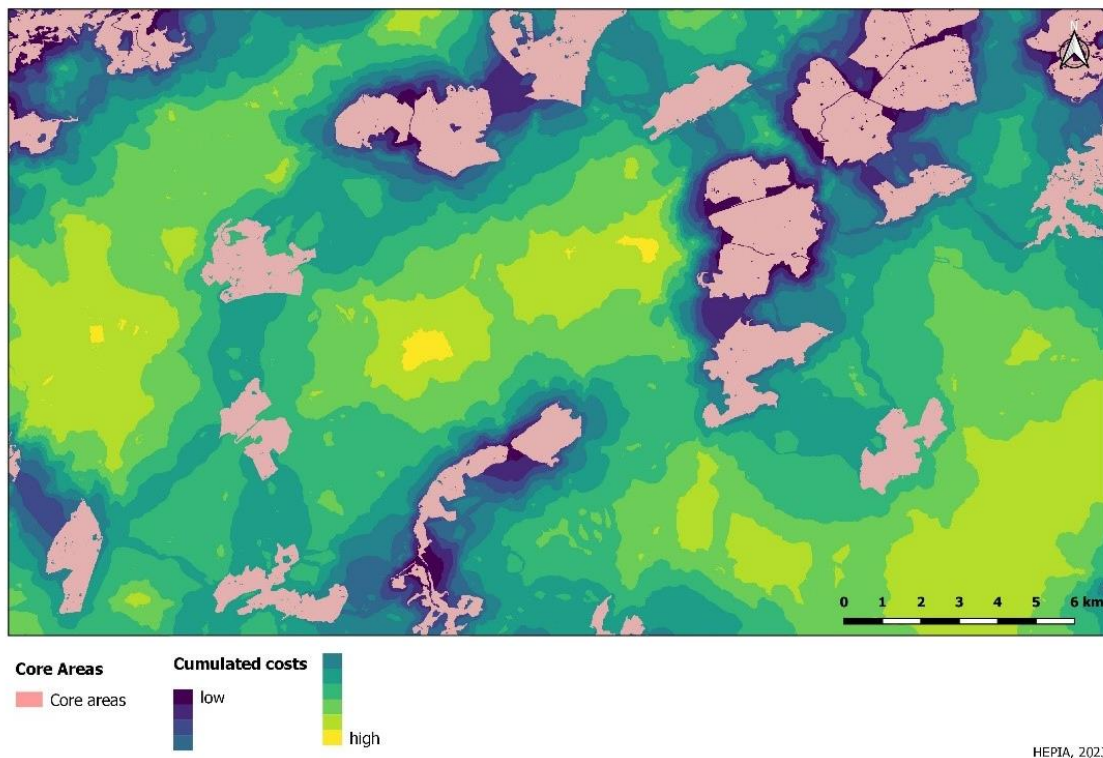


Abb. 55: Least Cost Corridors, mit Kerngebieten. Die Sektoren mit der höchsten Wahrscheinlichkeit eines Durchgangs sind dunkelblau, wobei die Wahrscheinlichkeit mit zunehmender Gelbfärbung abnimmt.

Zur besseren Übersichtlichkeit können nur die höchsten Dezile betrachtet werden (Abb. 56).

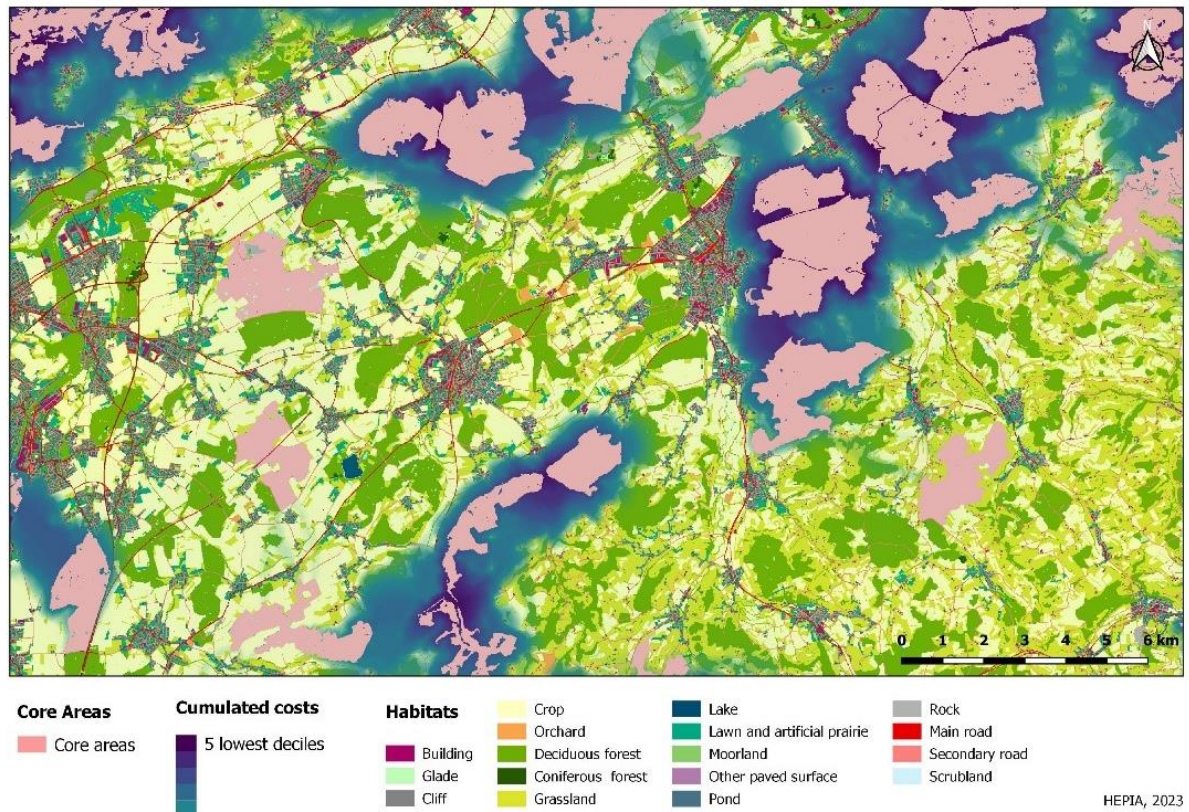
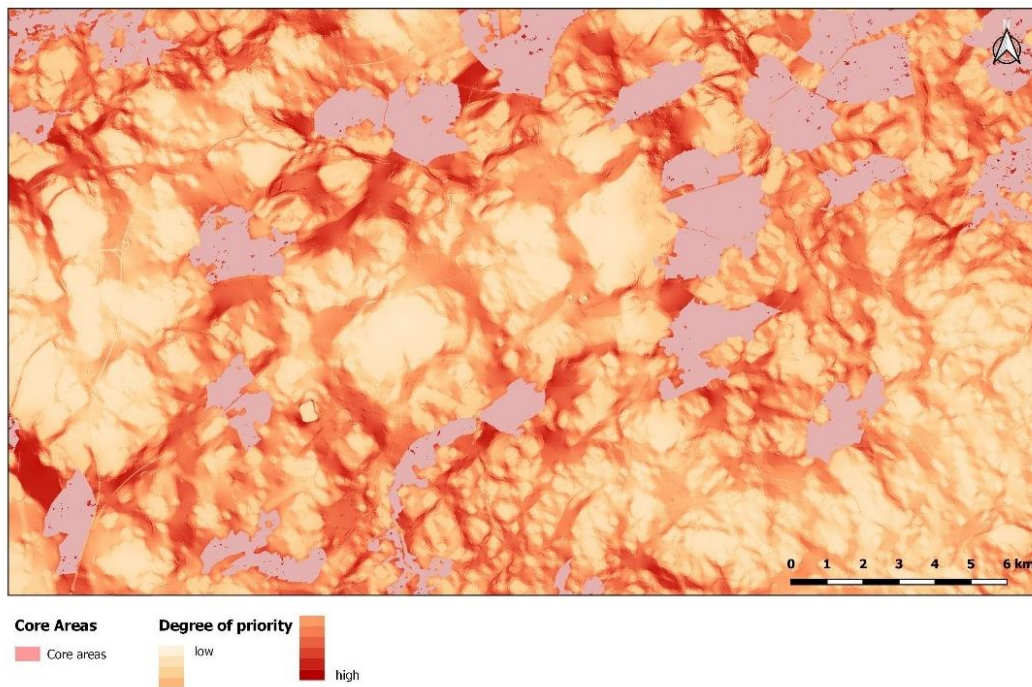


Abb. 56: Kerngebiete (rosa) und Korridore (aus dem Least Cost Modell) mit den niedrigsten Wanderungskosten. Dargestellt sind nur die fünf höchsten Dezile.

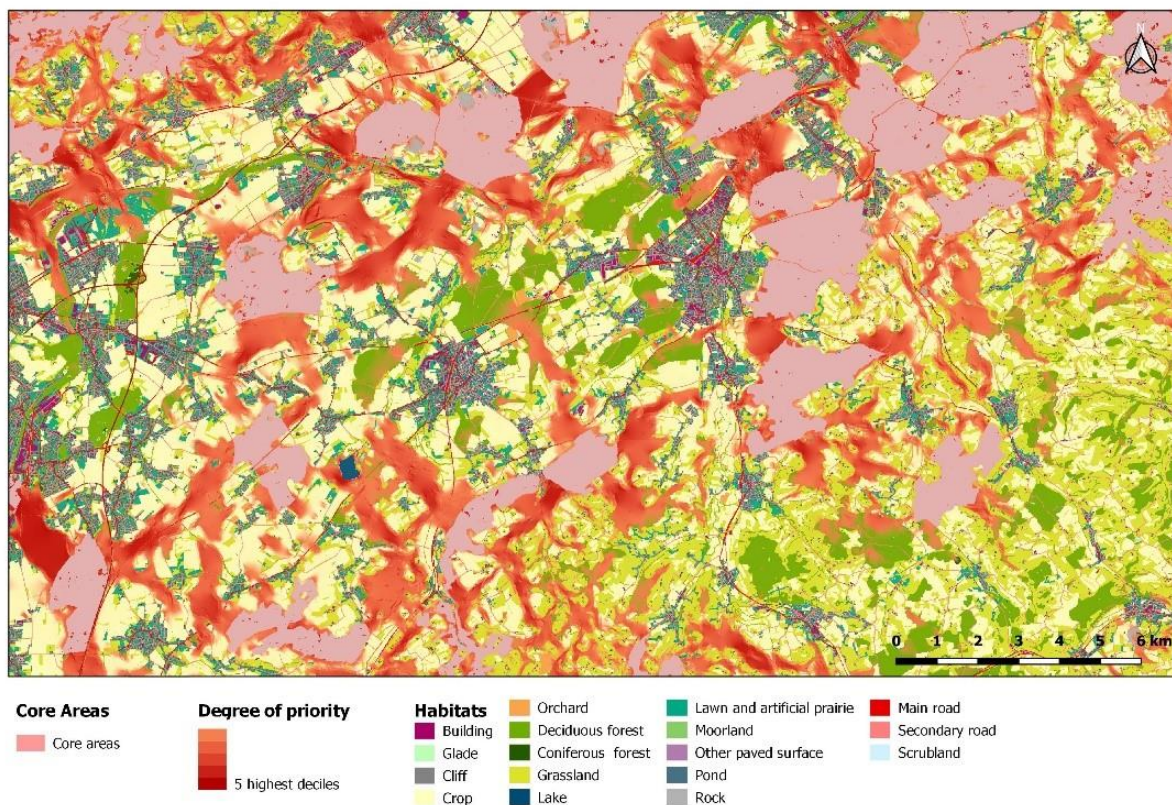
Als Endergebnis des Prozesses werden die beiden Modelle (Abb. 53 und Abb. 55) in einer Prioritätskarte kombiniert (Abb. 57), die die theoretisch wichtigsten Bereiche anzeigt, die geschützt oder saniert werden müssen.



HEPIA, 2023

Abb. 57: Karte der prioritären Korridore – eine Aggregation von Stromdichtekarte und Least Cost Corridor - mit Kerngebieten. Die prioritären Sektoren sind in roter Farbe dargestellt. Die Priorität nimmt mit zunehmendem Gelbton ab.

Zum besseren Verständnis wurden im Vergleich zur vorherigen Karte nur die fünf höchsten Dezile beibehalten (Abb. 58).



HEPIA, 2023

Abb. 58: Prioritätskarte mit den 5 besten Dezilen (orange bis rot) kombiniert mit den Kerngebieten (rosa).

Durch Überlagerung der GPS-Daten der besenderten Rothirsche können die tatsächlichen Wanderrouen, Konfliktzonen und Bereiche, in denen es Barrieren gibt, besser identifiziert werden (Abb. 59).

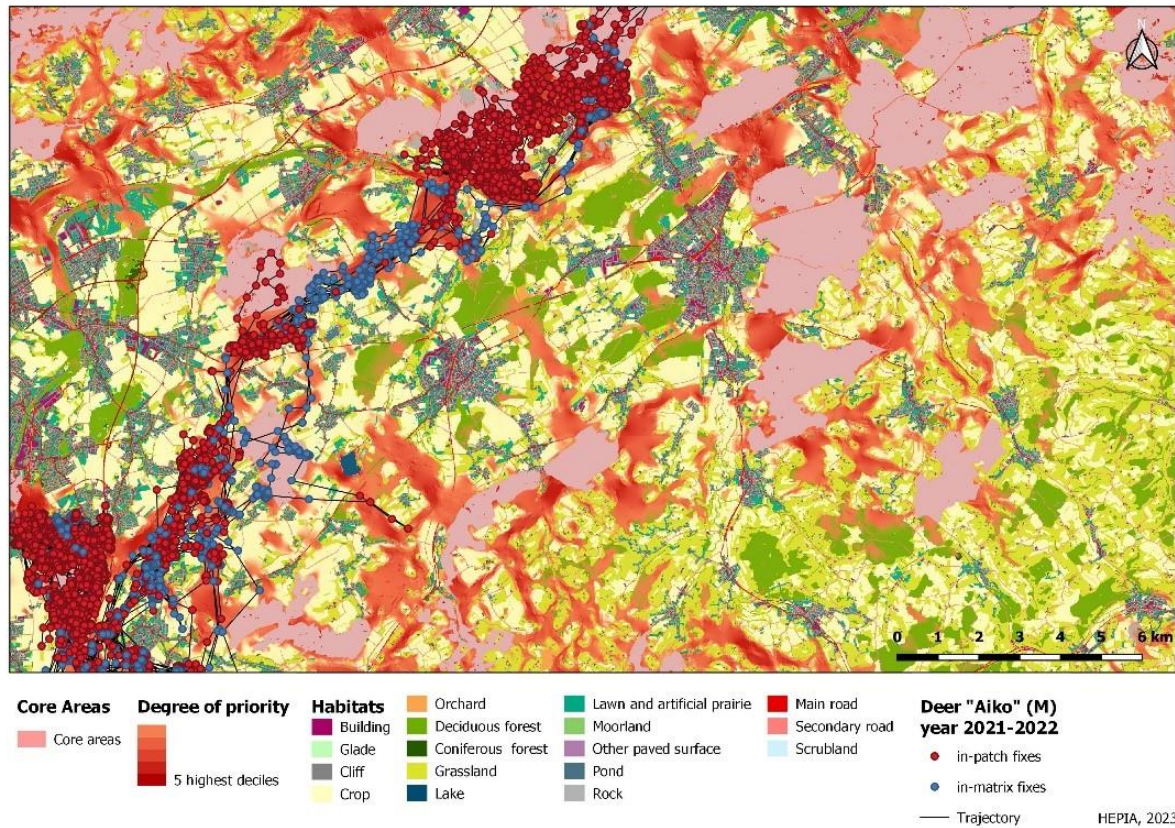


Abb. 59: Prioritätskarte mit Peilungen von Stier Aiko: rot = in-Patch Peilungen; blau = in-Matrix Peilungen.

Ausgehend von diesem Prioritätenmodell kann eine Vielzahl von Faktoren aufgezeigt werden, die die Bewegungen der Rothirsche beeinflussen können, wie z.B. das Vorhandensein von Zäunen (Abb. 60).

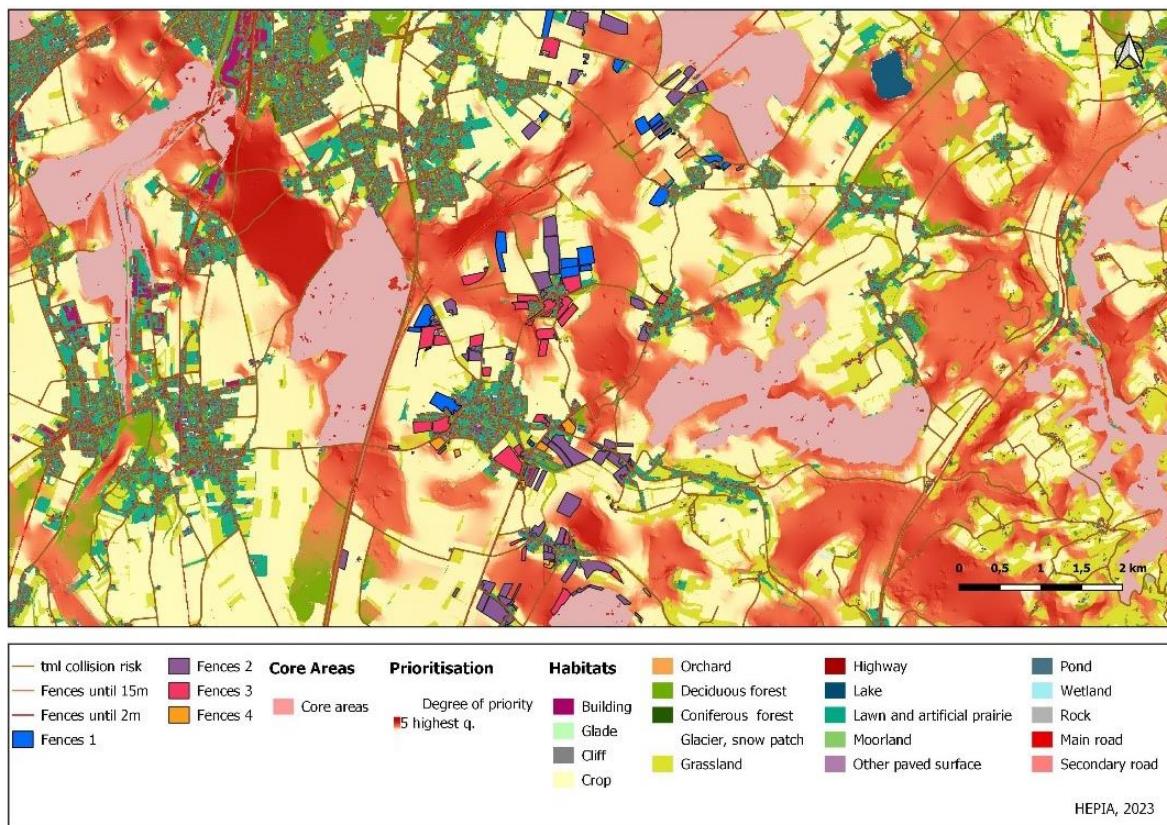


Abb.60: Zoom auf einen Bereich, in welchem die Zäune in der Grenzregion Bern-Solothurn inventarisiert worden sind.

4.4.2 Modell zum Kolonisationspotenzial

Zusätzlich zu den zuvor vorgestellten Modellen wurde ein Modell mit kumulierten Kosten erstellt, indem die Auswahl der Kerngebiete nur auf die tatsächlich nachgewiesenen residenten Rothirschbestände in und um das Mittelland beschränkt wurde (Abb. 61 & Abb. 62, Anhang B3); dies im Gegensatz zu allen potenziellen Kerngebieten der vorherigen Modelle. Diese residenten Rothirschbestände wurden als Quellpopulationen betrachtet, von denen aus die Kolonisation des Mittellandes stattfinden kann.

Bei diesem Ansatz geht es darum, einen Überblick über die Besiedlungsmuster und damit über das Ausbreitungspotenzial in die benachbarten potenziellen Kerngebiete sowie über die wichtigsten Besiedlungshindernisse zu erhalten, wie zum Beispiel die Autobahnen, die das untersuchte Gebiet fragmentieren.

Aus Sicht des Managements kann diese Visualisierung eine Priorisierung von Massnahmen zur Vorbereitung auf Konflikte und deren Lösung vor und bei der Besiedlung durch Rothirsche ermöglichen, wie die Erhaltung und Verbesserung von Korridoren und potenziellen Kerngebieten in geeigneten Bereichen (geringere Kosten), die Ausscheidung von neuen Wildtierbrücken oder die Sicherheitsplanung bei potenziellen Kollisionshotspots (siehe auch 4.6.1).

Die Grenzen dieses Modells liegen darin, dass bestehende Quellkerngebiete ausserhalb und in der Nähe der Schweizer Landesgrenze nicht berücksichtigt werden, was zu einem erheblichen Bias («Grenzeffekt») führt. Es ist auch nicht möglich, die zeitliche Dimension einer potenziellen Besiedlung durch den Rothirsch vorherzusagen, welche ihrerseits von einer Vielzahl von Variablen abhängt, wie z.B. der Populationsdynamik oder auch vom individuellen Verhalten.

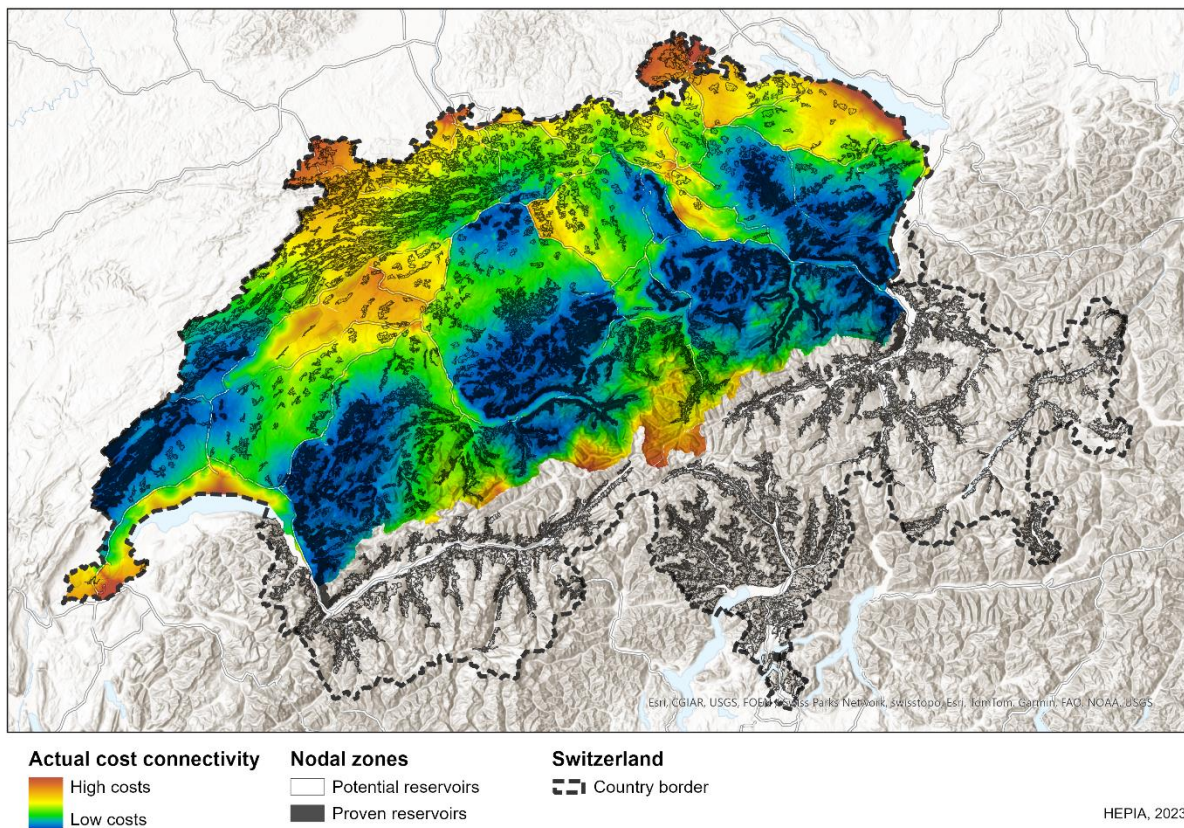


Abb.61: Modell der kumulierten Kosten im und um das Schweizer Mittelland ausgehend von den existierenden Quellkerngebieten in den nördlichen Voralpen/Alpen und im Jura (Ausgangslage im Anhang B3). Schwarz: Quellkerngebiete; Gradient dunkelblau, über gelb, zu rot: steigende Kosten zur Bewegung.

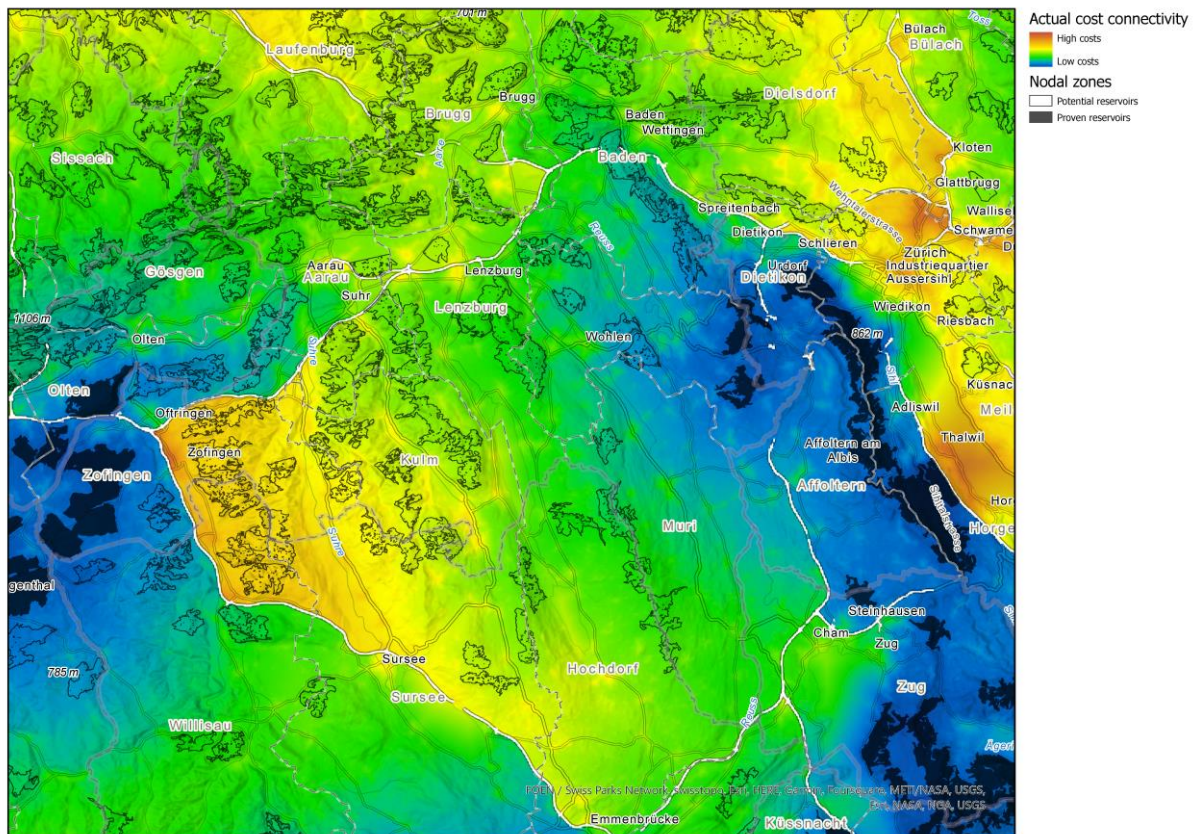


Abb. 62: Kollisionspotenzial basierend auf dem kumulierten Kosten-Modell im Schweizer Mittelland (Ausschnitt Aargau).

4.4.3 Validierung der Modelle im Untersuchungsgebiet Albiskette/Reusstal (ZHAW)

Eine Validierung der Modelle ist theoretisch möglich, indem Peilungen von besenderten Individuen herangezogen werden, welche bei der Erstellung der Modelle nicht berücksichtigt wurden. Für das Untersuchungsgebiet Zürich/Aargau standen diesbezüglich jedoch nur zwei Individuen zur Verfügung, welche ein ausgeprägt residentes Verhalten zeigten und nur wenige Wanderungen ausserhalb der Kerngebiete durchführten (Abb. 63). Dadurch wird ein Vergleich erschwert. Es ist jedoch bemerkenswert, dass die grosse Mehrheit ihrer GPS-Peilungen entweder in Kerngebieten oder in Korridoren mit hoher Priorität liegen.

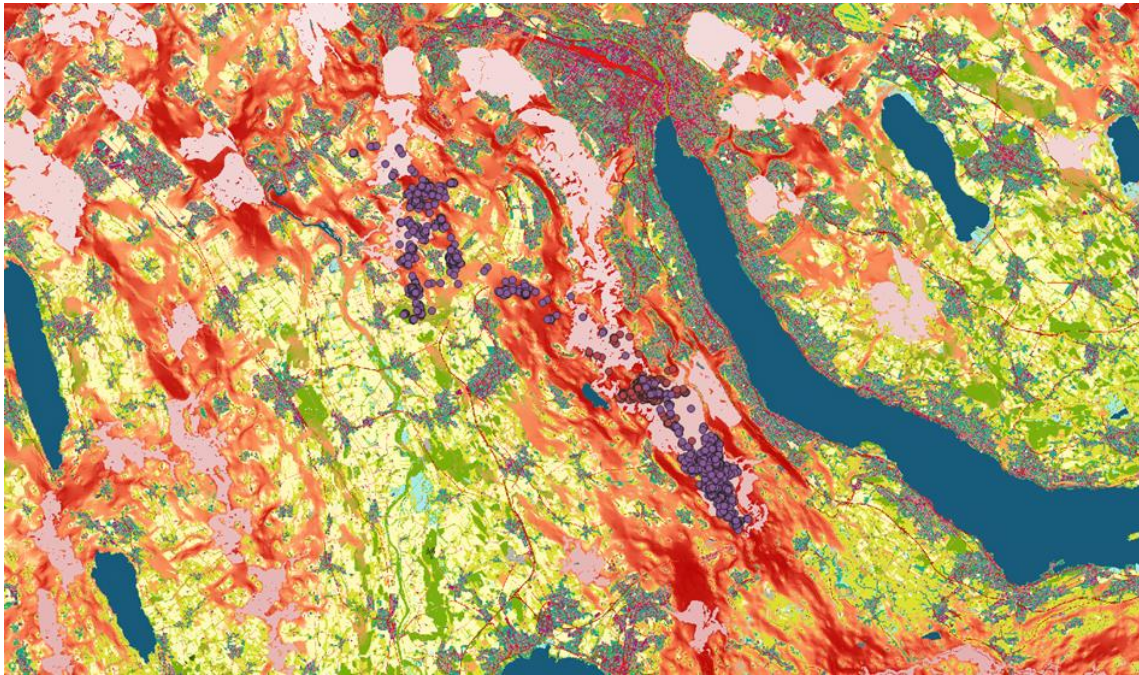


Abb.63: Überlagerung des Prioritätsmodells mit den GPS-Daten der Tiere, die nicht für die Erstellung der Modelle verwendet wurden.

Abb. 64 zeigt die Ergebnisse des Wildtierkameranonitorings im Vergleich zum Priorisierungsmodell und Kollisionsrisiko. Das Wildtierkameranonitoring gibt Hinweise auf isolierte Ereignisse von Rothirschanwesenheit, nicht aber auf deren Bewegungen. Daher ist es schwierig, diese Angaben für die Validierung des theoretischen Modells heranzuziehen.

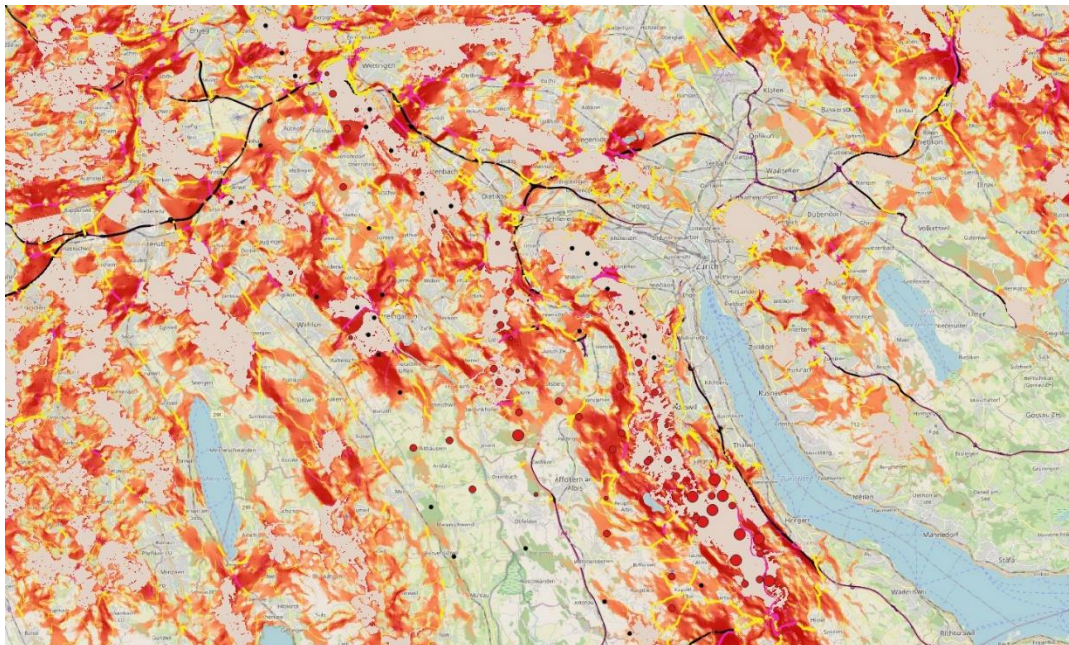


Abb.64: Überlappung der Wildtierkamera-Ereignisse mit dem Priorisierungsmodell und Kollisionsrisiko (siehe Kapitel 4.6.2). Rot: Standorte mit Rothirschnachweisen (Grösse der Punkte entsprechen den Ereignisfrequenzen), schwarz: Standorte ohne Rothirschnachweise.

4.4.4 Validierung der Modelle im Untersuchungsgebiet Westschweiz (HEPIA)

Im Untersuchungsgebiet Waadt/Freiburg bietet die geringe Ausdehnung der vorhandenen Population wenig Vergleichsmöglichkeiten; vor allem stehen nur Wildtierkamera-Ereignisse zur Verfügung. Die Konzentration der beobachteten Ereignisse stimmt jedoch gut mit dem Modell überein und die Karte macht verständlich, dass der Bestand sich nur langsam Richtung Osten ausdehnt (Abb. 65). Interessant ist auch, dass der Standort der Wildtierpassage auf diesem Abschnitt der A1 sehr günstig geplant zu sein scheint.

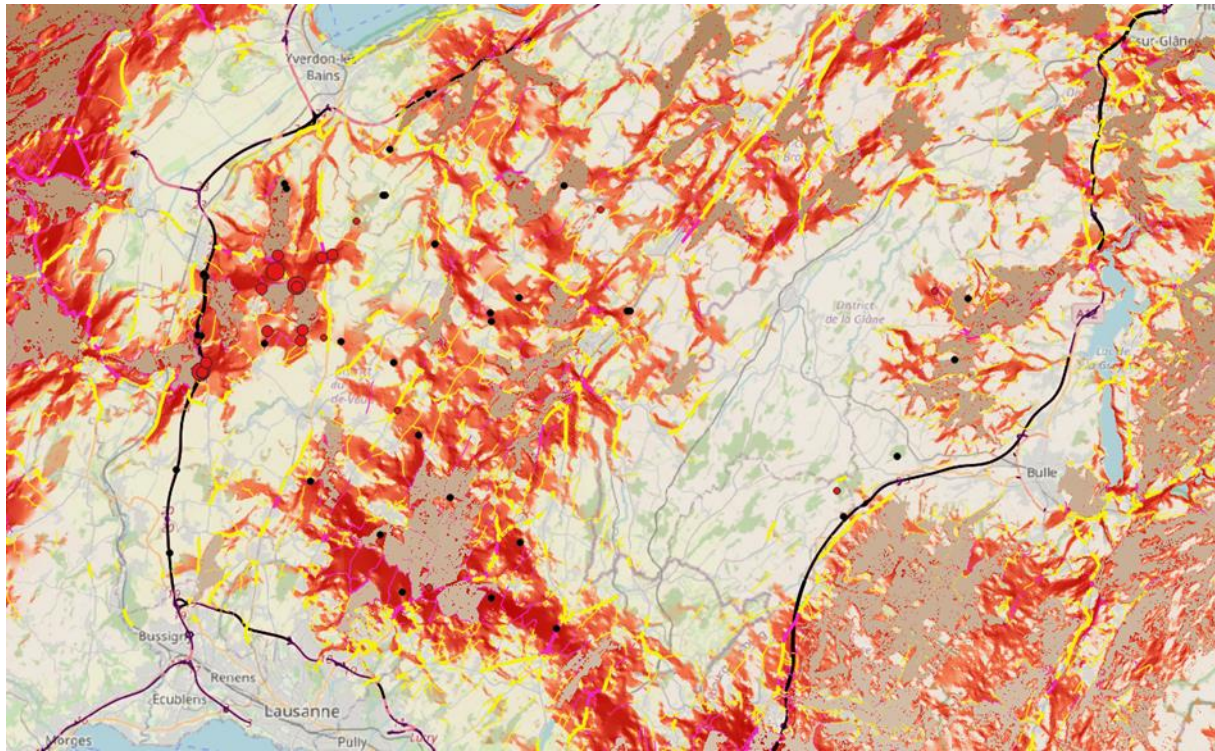


Abb.65: Überlappung der Wildtierkamera-Ereignisse mit dem Priorisierungsmodell und Kollisionsrisiko (siehe Kapitel 4.6.2). Rot: Standorte mit Rothirschnachweisen (Grösse der Punkte entsprechen den Ereignisfrequenzen), schwarz: Standorte ohne Rothirschnachweise.

4.4.5 Validierung der Modelle im Untersuchungsgebiet Zentrales Schweizer Mittelland (HAFL)

Im Untersuchungsgebiet Zentrales Schweizer Mittelland konnten 6 Individuen für den Vergleich in Betracht gezogen werden (Abb. 66). Es zeigt sich, dass bei 5 von ihnen die Übereinstimmung sehr gut ist. Eine Ausnahme bildet die Hirschkuh Sala, die zeitweise ausserhalb der vorhergesagten Korridore wanderte. Diese Art von Verhalten kann auf die Existenz potenzieller Barrieren hinweisen, die nicht erkannt wurden, oder auf versteckte Barrieren. Es ist ein typisches Beispiel, wo es sich lohnen würde, vor Ort zu untersuchen, was die Bewegung der Rothirsche beeinflussen könnte. Betrachtet man das Gebiet, das von der schwarzen Ellipse umgeben ist, wäre es interessant zu wissen, warum der prioritäre Korridor (dunkelrot) im Westen nicht genutzt wird. Dies würde es gegebenenfalls ermöglichen, gezielt Massnahmen zur Verbesserung dieses Korridors zu ergreifen.

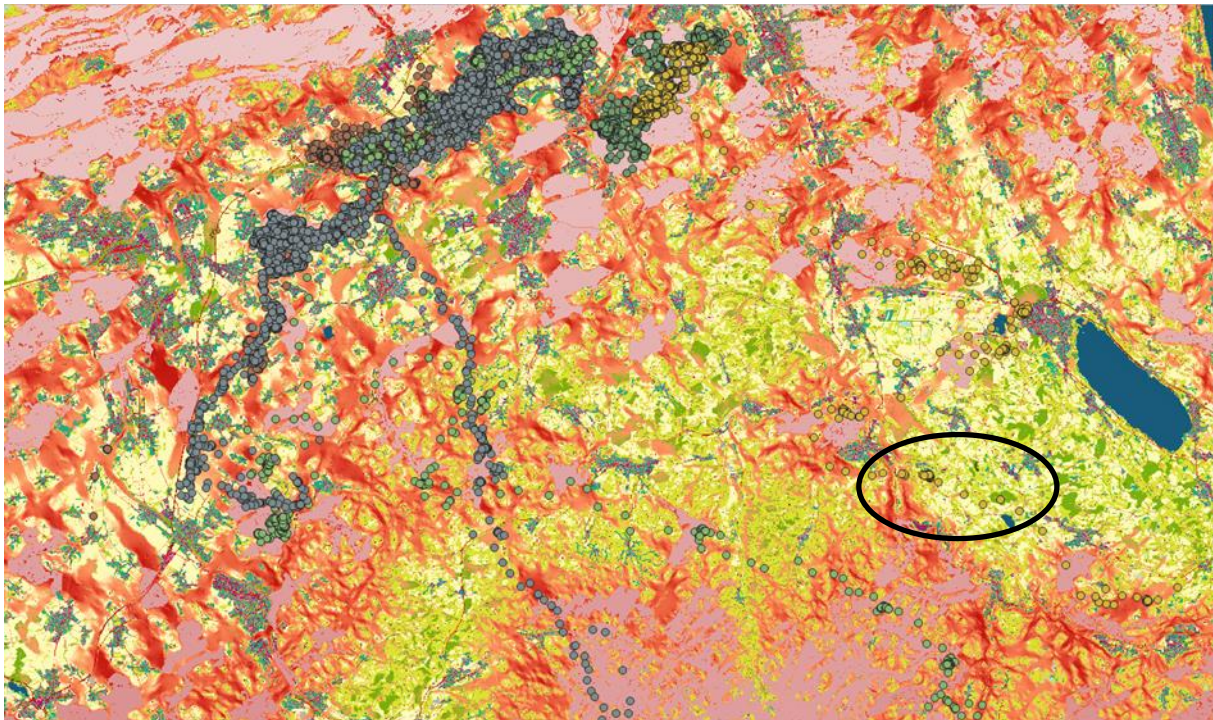


Abb.66: Überlagerung des Prioritätsmodells mit den GPS-Daten der Individuen (farbige Punkte), die nicht für die Erstellung der Modelle verwendet wurden. In der Ellipse in schwarz sieht man, dass eine Wanderung nicht auf der vorhergesagten Route stattfindet. Hier sollte die Funktionalität des Korridors bei einem Feldbesuch kontrolliert werden.

4.4.6 Diskussion Vernetzung & Wanderhindernisse

Die Repräsentativität eines Modells hängt von zwei Hauptparametern ab: der Qualität der Basisdaten und der Stabilität der Bewegungstypen der Zielart. Im ersten Fall ist die Auflösung der kartografischen Grundlagen in der Schweiz im Allgemeinen sehr gut. Es ist daher möglich, ein feines Bild der Faktoren zu generieren, die unsere Landschaften charakterisieren. Das Problem besteht darin, dass einige Daten veraltet sein können, was in einer so dynamischen Landschaft wie dem Schweizer Mittelland zu Fehlklassifizierungen bestimmter Habitatpatches führen kann. Dies ist zum Beispiel bei der Klassifizierung von Strassen der Fall. In dem in Abb. 67 dargestellten Beispiel sind die als Nebenstrassen bezeichneten Strassen in Wirklichkeit Waldwege. Diese Wege durchschneiden die abgebildete Waldfläche in mehrere Teile, die jeweils weniger als 150 ha gross sind, was die Mindestgrösse für die Berücksichtigung unserer Kerngebiete darstellt. Dieser Wald wird daher nicht als Kerngebiet betrachtet, obwohl er in Wirklichkeit fast 600 ha gross ist. In diesem Fall ist der Effekt auf die Modelle nicht gross, da Wälder ohnehin als Bereiche betrachtet werden, die den Bewegungen der Tiere keinen Widerstand bieten, aber er veranschaulicht eine Art von Verzerrung, die allenfalls berücksichtigt werden muss.

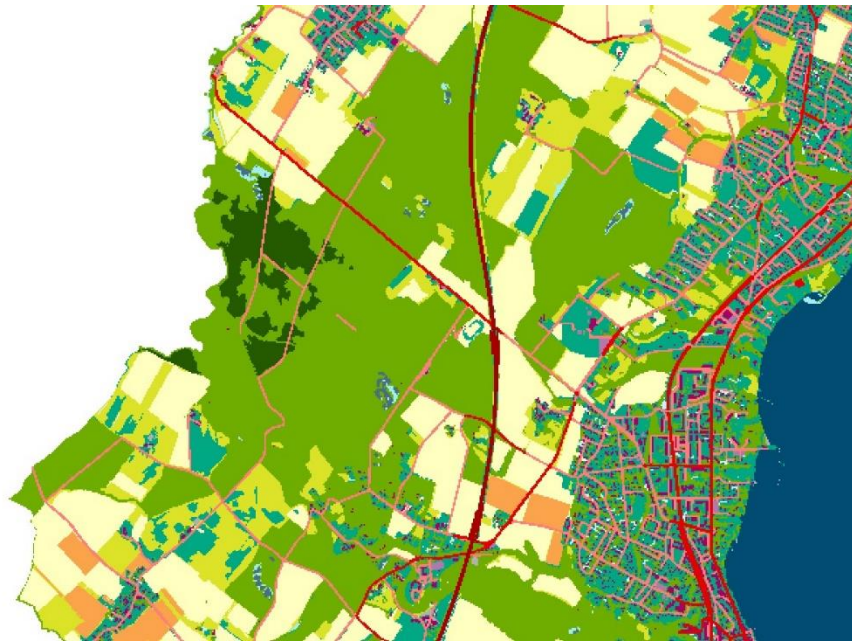


Abb. 67: Beispiel von einer falschen Klassifizierung von Strassen: Die rosa abgebildeten Strassen, welche die Waldfläche im Westen zerschneiden, sind als Nebenstrassen klassifiziert, in der Realität jedoch Waldstrassen ohne Verkehr.

In Bezug auf die zugrundeliegenden GPS-Daten muss ausserdem berücksichtigt werden, dass die Halsbänder so programmiert wurden, dass die Zeitabstände zwischen zwei Orten in der Regel eine Stunde, manchmal aber auch 30 Minuten betragen hatten. Bei einem grundsätzlich kürzeren Zeitintervall wäre die Analyse der Habitatwahl genauer. Zudem ist von verschiedenen Randeffekten auszugehen, unter anderem dann, wenn in angrenzenden Gebieten die Quellen der kartografischen Informationen nicht dieselbe Auflösung oder Charakterisierung haben.

Was die Stabilität des räumlichen Verhaltens der Zielart betrifft, so wird der Rothirsch in der Literatur als eine Art mit einem sehr plastischen Verhalten betrachtet. Die gleiche Feststellung konnten wir in unseren verschiedene Untersuchungsgebieten machen. Dies erschwert die Modellierung, da es immer Individuen geben wird, die sich besonders verhalten, oder einmalige Ereignisse, die unerwartete Bewegungstypen hervorrufen. Dies gilt umso mehr, wenn man mit Populationen und in Gebieten arbeitet, die sich noch in der Besiedlungsphase befinden. Die Unterschiede zwischen den Populationen in der Westschweiz, dem Zentralen Schweizer Mittelland und der Region Zürich könnten davon betroffen sein, wobei die Westschweizer Population stabilere Verhaltensmuster aufweist als die beiden anderen.

Der verwendete Ansatz berücksichtigt diese Ungenauigkeiten und Variabilitäten so weit wie möglich. Wir haben zum Beispiel zwei Arten von Bewegungen berücksichtigt, um die Raumnutzung bei grossen Ortsverschiebungen oder innerhalb von Kerngebieten gut aufzeigen zu können, indem wir den Effekt der individuellen Variabilität so weit wie möglich reduzieren. Diese Vorgehensweise ermöglicht es einerseits, ein Bild der Vernetzungsachsen in grossem Massstab zu erhalten. Andererseits erlaubt sie aber auch eine kleinräumig detaillierte Betrachtung, um Eingriffe zur Verbesserung der Funktionalität dieses Netzwerks möglichst gezielt vornehmen zu können. Darüber hinaus ist es damit möglich, jedem Korridor und den verschiedenen Abschnitten eines bestimmten Korridors eine Prioritätsstufe zuzuweisen. Durch die Überschneidung dieses Priorisierungsmodells ist es auch möglich, die Bereiche hervorzuheben, in denen Konflikte am wahrscheinlichsten sind bzw. sein werden, in unserem Fall vor allem im Hinblick auf das Kollisionsrisiko auf Strassen oder mit Eisenbahnlinien. Schliesslich kann dieses Modell auch als Vorhersageinstrument verwendet werden, indem die Auswirkungen zukünftiger Veränderungen in der Landschaft simuliert werden, z.B. infolge des Baus einer neuen Strasse oder einer neuen Wildtierpassage.

4.5 "Versteckte" Wanderhindernisse

4.5.1 Zäune

Erfahrungen im Zentralen Schweizer Mittelland

Eine studentische Arbeit in der Grenzregion des Kantons Solothurn und Bern konnte zeigen, dass temporär und dauerhaft platzierte Weidezäune bis zu einer Höhe von 1 m keine unüberwindbaren Hindernisse für Rothirsche darstellen (Lichtenberg 2021).

In der Abb. 68 ist entsprechend ersichtlich, dass mehrere Rothirsche wiederholt einen Korridor zwischen Horriwil und Hüniken (SO) nutzten, um sich zwischen weit entfernten Einständen auf der Nord-Süd-Achse zu verschieben. Die Offenlandfläche zwischen den genannten Siedlungen war in diesem Bereich durchgängig von ein- bzw. mehrbändigen/-litzigen Weidezäunen durchzogen, die allesamt weniger als 1 m hoch waren. Diese Zäune wurden mehrfach und wiederholt auch von denselben Individuen überquert. Zudem war innerhalb des Korridors ebenfalls ein Teilstück der Bahngleise eingezäunt. Dieses konnte jedoch auf der westlichen Seite umlaufen werden.

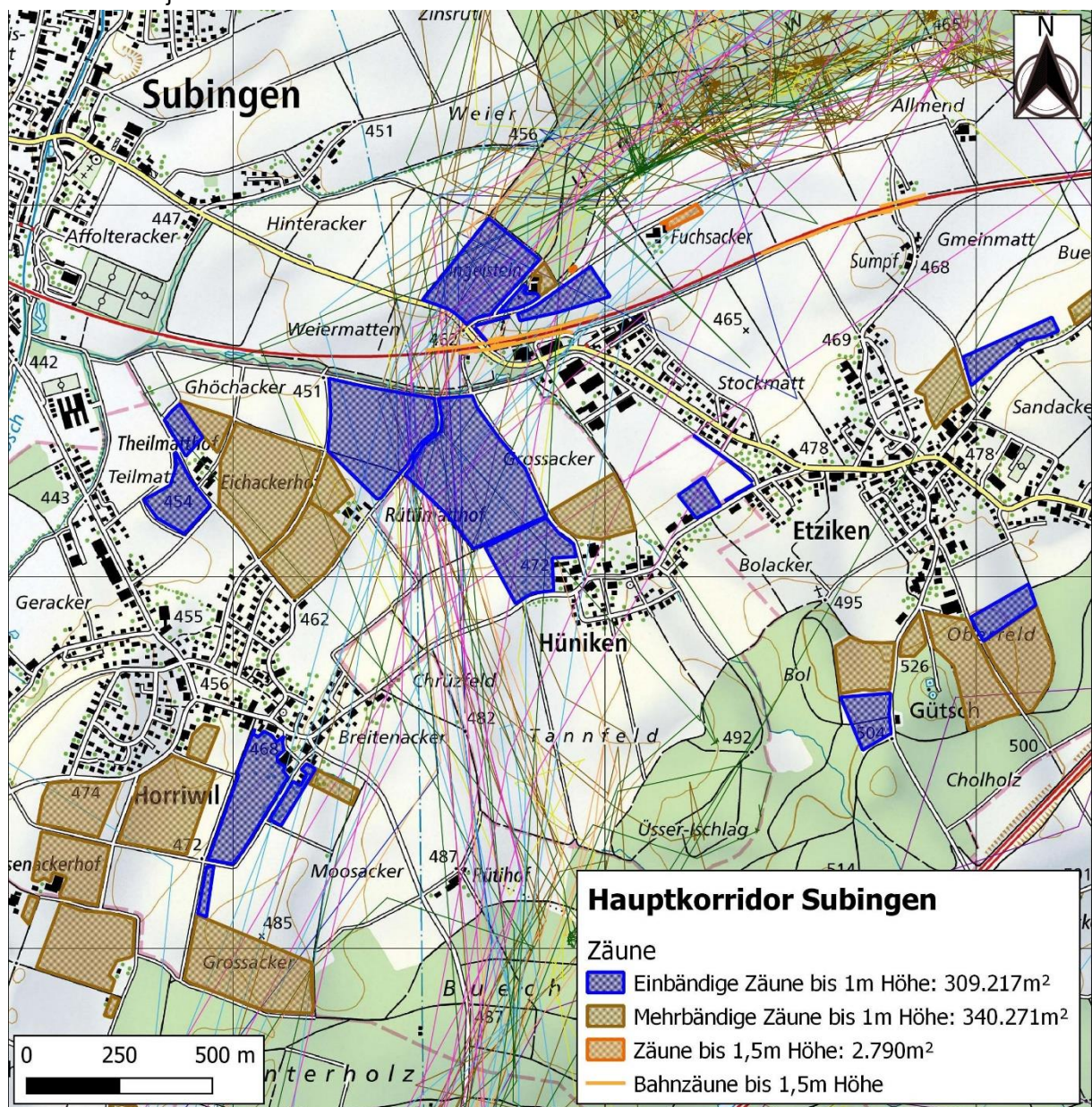


Abb.68: Kartierte Zäune auf einem Korridor im Bereich der Siedlungen Horriwil, Hüniken und Subingen (SO), der von besenderten Rothirschen (farbige Linien) wiederholt zur Verschiebung in Nordsüdrichtung genutzt wurde.

Weiter südlich auf der Höhe der Gemeinden Koppigen und Willadingen konnten ebenfalls diverse Weidezäune innerhalb des Korridors festgestellt werden (Abb. 69), welchen die besenderten Rothirsche zur Verschiebungen zwischen den entfernt liegenden Einständen verwendeten. Hier waren die Weiden aber nicht auf der gesamten Breite des Korridors vorzufinden, so dass sich Rothirsche prinzipiell auch über nicht eingezäuntes Offenland verschieben konnten. Nichtsdestotrotz gibt es aber ebenfalls hier offensichtlich eingezäunte Weiden, welche von den besenderten Rothirschen passiert wurden. Interessant ist in diesem Bereich zudem die Feststellung, wonach dieser Korridor zumindest abschnittsweise entlang der SBB-Neubaustrecke verläuft, die hier durch einen etwa 1.5 m hohen Zaun gesichert ist.

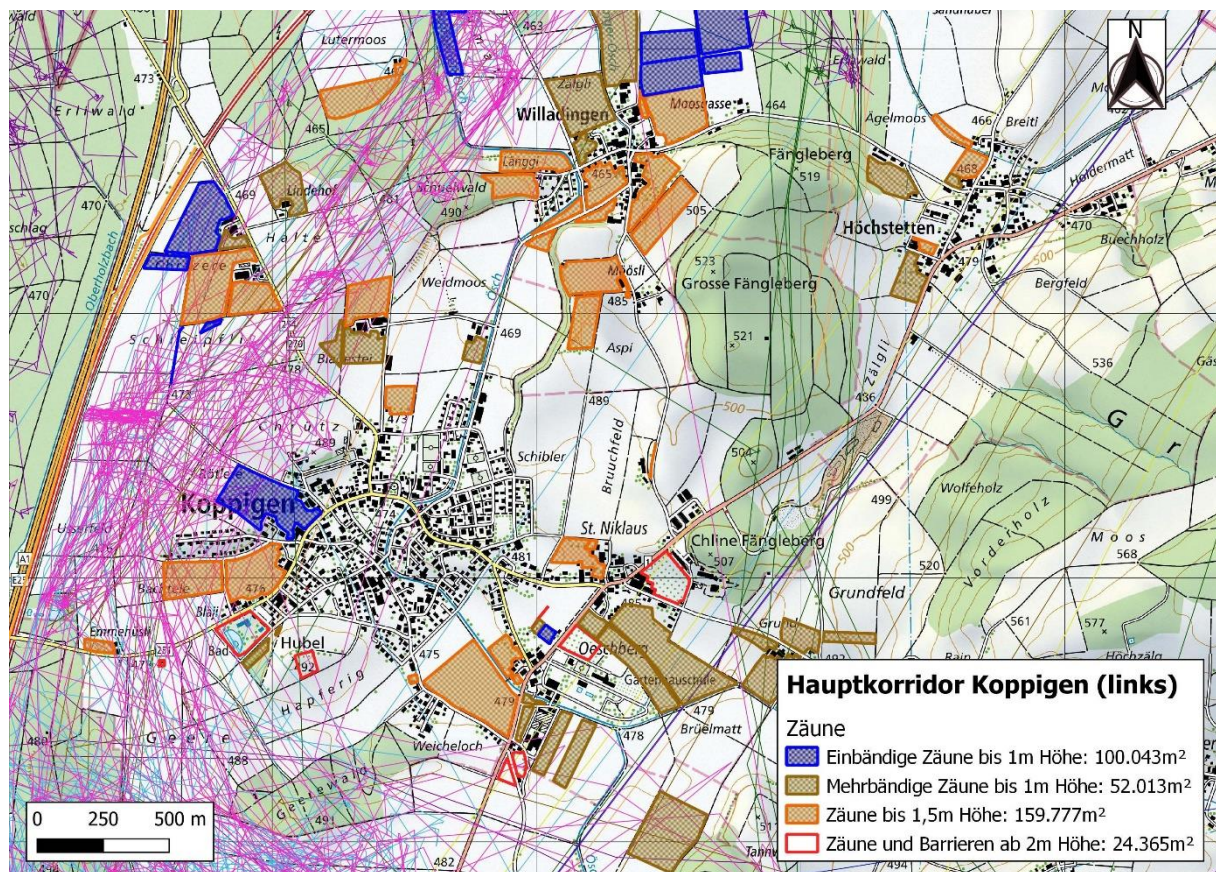


Abb. 69: Kartierte Zäune auf einem Korridor im Bereich der Siedlungen Koppigen und Willadingen (BE), der von besenderten Rothirschen (farbige Linien) wiederholt zur Verschiebung in Nord-Süd-Richtung genutzt wurde. Man beachte im westlichen Bereich die SBB-Neubaustrecke und die Autobahn A1, welche in diesem Bereich eingezäunt sind.

Erfahrungen im westlichen Mittelland

Während der Überwachung der Genfer Rothirsche zwischen 2009 und 2016 stellte sich heraus, dass einige der theoretischen Korridore, die durch Expertenmeinungen und Feldbewertungen anerkannt wurden, von den 18 besenderten Individuen nicht genutzt wurden (Abb. 70 und Abb. 71).

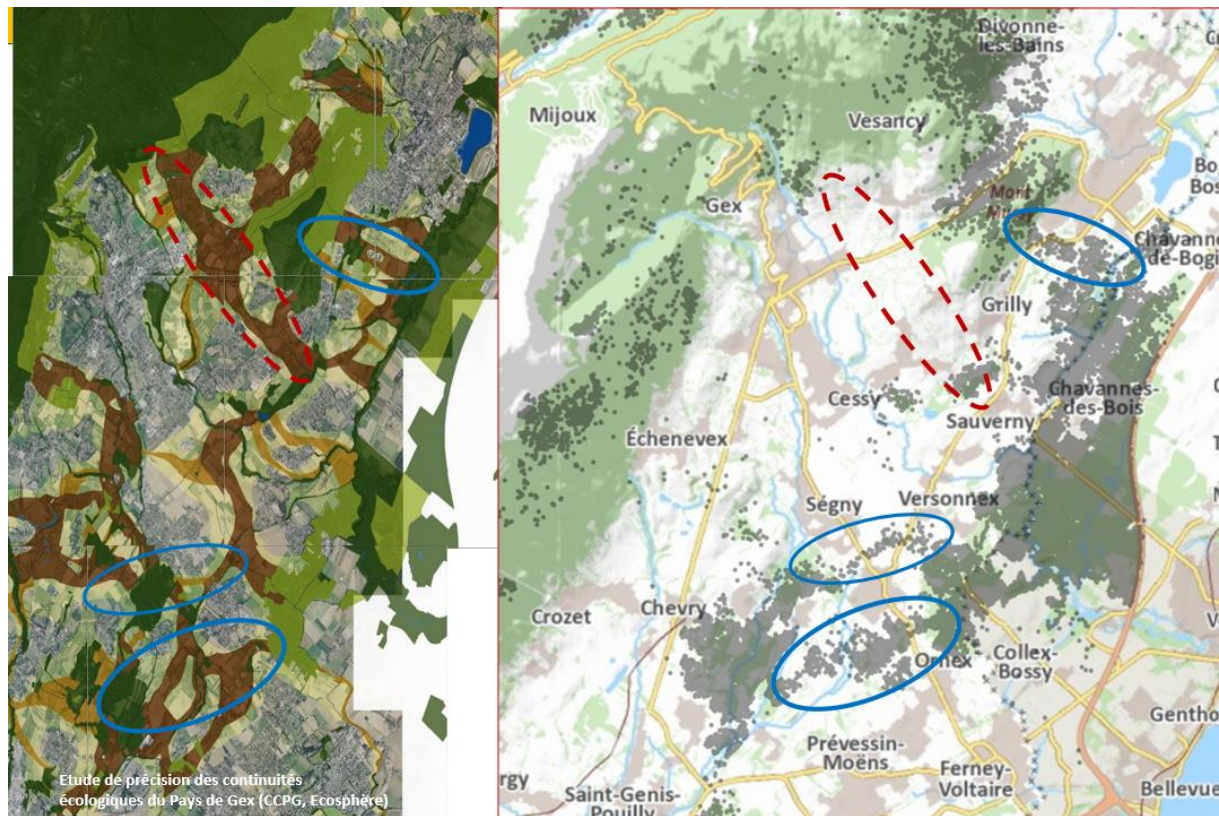


Abb. 70: Links: Korridorkarte, mit hohem Potenzial in dunkelbraun und mit mässigem Potenzial in hellbraun. Rechts: Peilungen von besonderten Rothirschen im selben Gebiet. Die blauen Ellipsen zeigen die effektiv benutzten Korridore, die Ellipse in Rot einen Korridor mit theoretisch hohem Potenzial, welcher jedoch nicht genutzt wurde. (Auszug aus dem Urbeco-Projekt, HEPIA 2018).

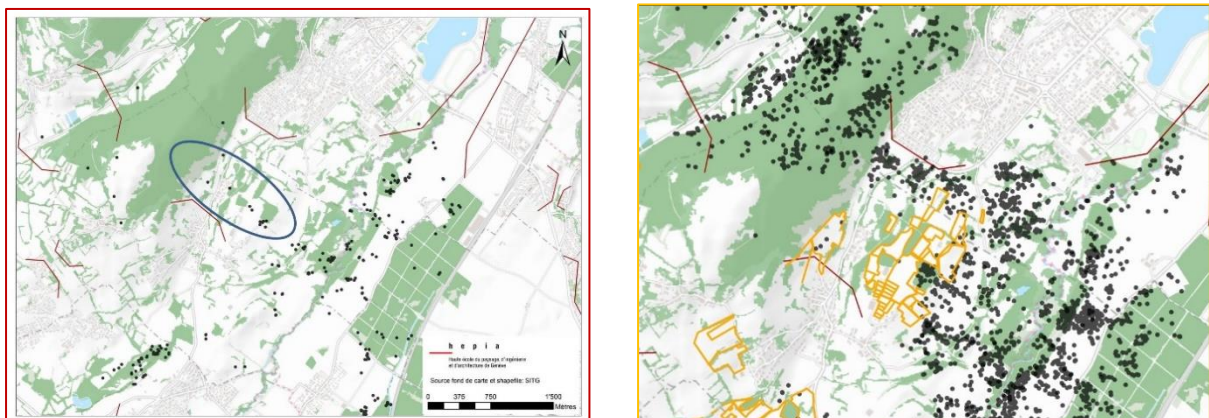


Abb. 71: Links: Rothirschwanderung durch einen wichtigen Korridor (rote Klammern) im Jahr 2001. Rechts: Rothirschwanderungen durch denselben Korridor zwischen 2009 und 2015. Zwischen 2001 und 2009 ist eine Pferdehaltung gegründet worden, mit zahlreichen Zäunen, die in Orange abgebildet sind. (Auszug aus dem Urbeco-Projekt, HEPIA 2018).

Diese Erkenntnis führte zu einer Kartierung der Zäune im gesamten nördlichen Teil des Genfer Beckens. Für diese Kartierung wurden die Zäune in vier Kategorien eingeteilt, je nach dem Grad des Widerstands, den sie für die Bewegung von Rothirschen bieten (E. Orban 2019, A. Federicci 2020). In einer ersten Phase wurden diese verschiedenen Niveaus von Experten bewertet. In einer zweiten Phase wurden diese Kategorien durch zwei studentische Arbeiten validiert oder modifiziert, indem das Verhalten der Tiere mit einer Wärmebildkamera direkt beobachtet wurde (M. Détraz & Fischer 2022,

P. Kiesecoms & 2023) (Abb. 72). Das anschliessende Monitoring zeigte, in welchem Ausmass diese Zäune die Bewegungen der Rothirsche beeinflussen (Abb. 73).

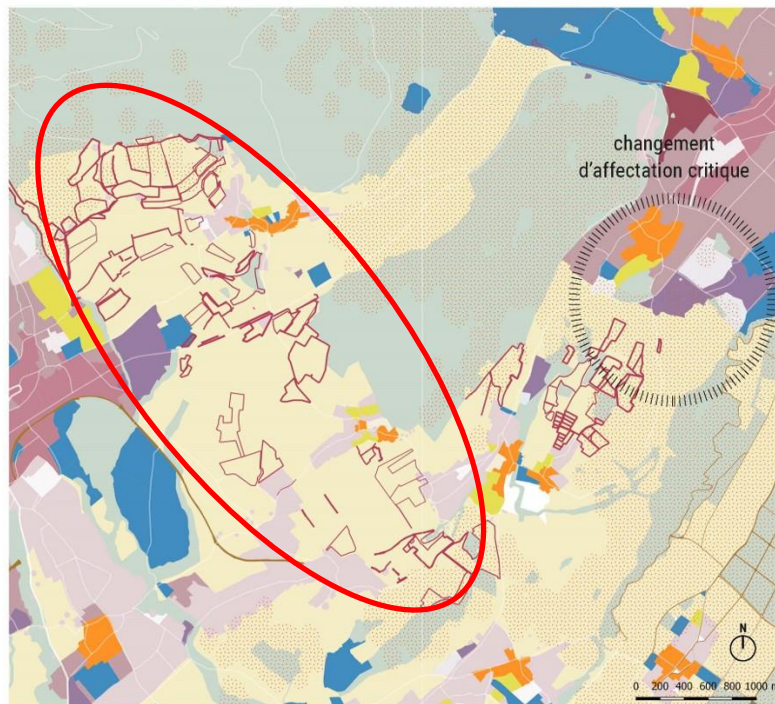


Abb. 72: Zauninventar im Gebiet, dass in Abbildung 70 erscheint. Die rote Ellipse entspricht derjenigen letzterer Abbildung. (Auszug aus dem Urbeco-Projekt, HEPIA 2018).

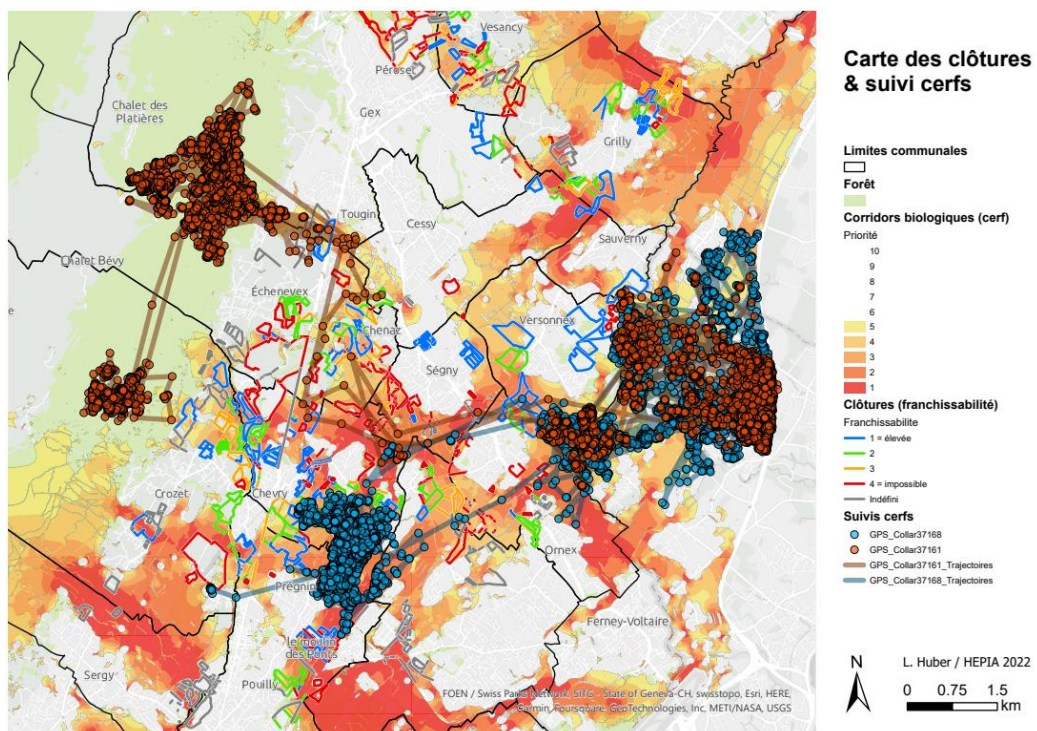


Abb. 73: Bewegungen von 2 Rothirschen in einem Gebiet mit Zauninventar und Pirorisierungmodell.

Eine solche Erhebung von Zäunen kann nur durchgeführt werden, indem man sich direkt ins Gelände begibt. Es gibt derzeit keine Datenbanken, in denen die Position der Zäune, geschweige denn ihre Struktur, verzeichnet ist. Daher ist es nicht möglich, diesen Faktor in den Modellen zur Vernetzung zu berücksichtigen. Unser Ansatz, der in Kapitel 3.3 beschrieben wird, zielt darauf ab, die theoretisch vorhandenen Korridore mit den grössten Herausforderungen zu visualisieren, um ihre Funktionalität im Feld anhand der Priorisierungskarte zu überprüfen.

4.5.2 Lichtverschmutzung

Die Beobachtungen der Verteilung der ursprünglichen Daten, die in Genf erhoben wurden, liessen uns auch die Lichtverschmutzung als eine mögliche versteckte Barriere betrachten (Abb. 74). Das betrachtete Gebiet wurde von den besenderten Rothirschen nur sehr selten genutzt, doch die wenigen vorhandenen Barrieren schienen diese Abwesenheit nicht erklären zu können. Daher überlagerten wir die Daten mit dem Modell des "Dunklen Kontinuums" des Kantons Genf (Ranzoni 2018). Es zeigt sich, dass das von den besenderten Rothirschen nicht genutzte Gebiet stark von der Lichtverschmutzung betroffen ist (Abb. 75).

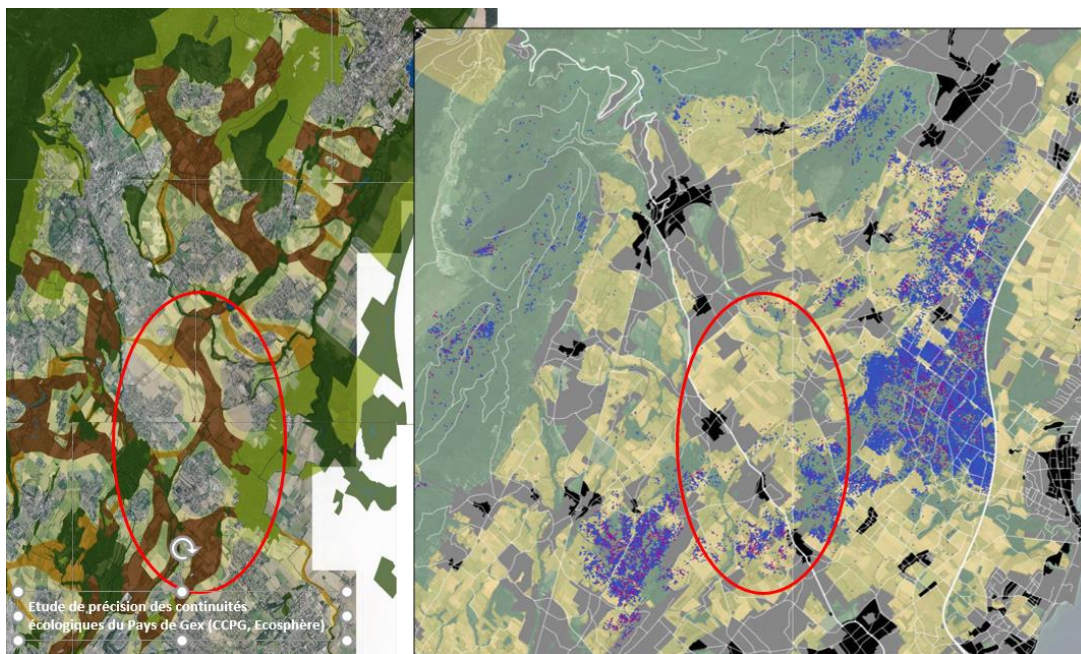


Abb. 74: Links: Korridorkarte, mit hohem Potenzial in dunkelbraun und mit mässigem Potenzial in hellbraun. Rechts: Peilungen von besenderten Rothirschen im selben Gebiet (blaue Punkte). Die rote Ellipse zeigt einen Korridor mit theoretisch hohem Potenzial, der jedoch nicht benutzt wurde. (Auszug aus dem Urbeco-Projekt, HEPIA 2018).

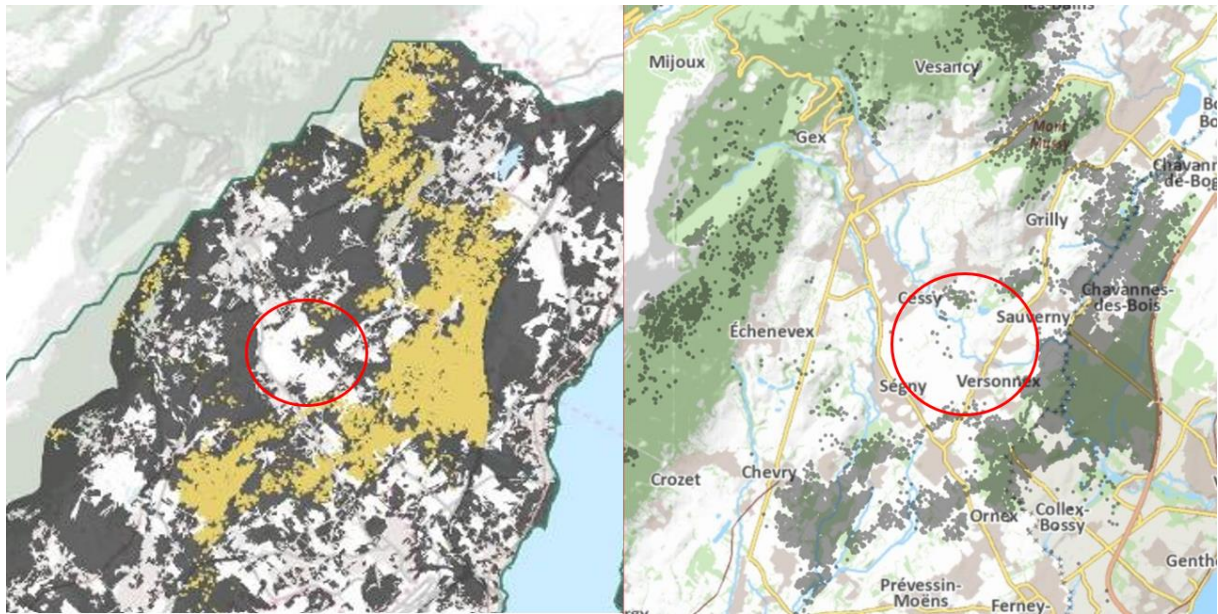


Abb. 75: Links: Karte des Dunklen Kontinuums. Unbeleuchtete Zonen sind schwarz, diejenigen mit Lichtverschmutzung weiss und die Peilungen der besenderten Rothirsche gelb dargestellt. Rechts: Landschaftskarte mit Peilungen (grau). Der rote Kreis zeigt eine Zone mit sehr wenig Peilungen, obwohl sie in einem Korridor mit theoretisch hohem Potenzial liegt (siehe Abbildung 70).

Aufgrund dieser Beobachtungen analysierten wir die Verteilung der GPS-Peilungen, die nachts aufgenommen wurden, um festzustellen, ob sie sich eher im Schatten oder in beleuchteten Bereichen befanden. Dabei berücksichtigten wir nur Peilungen, die sich in offenem Gelände befanden, um die Ergebnisse nicht durch Punkte in Wäldern zu verzerren. Das Ergebnis zeigte eine positive Selektion von schattigen Lebensräumen: bei den Hirschkühen lagen 91% der Peilungen im Schatten, bei den Stieren 89%.

Diese Art von Analyse konnte nicht auf der Ebene des gesamten Schweizer Mittellands durchgeführt werden, da es derzeit für die meisten Kantone keinen Geodatensatz des Dunklen Kontinuums gibt. Eine solcher Datensatz wird derzeit unter einem Mandat des BAFU erstellt und könnte in eine aktualisierte Version der Modelle integriert werden.

4.6 Kollisionshotspots & Wirksamkeit Wildwarnsysteme

4.6.1 Erkenntnisse aus bisherigen Untersuchungen

Faktoren für das Auftreten von Wildtierunfällen

Im Hinblick auf das Unfallrisiko identifizierten Suter et al. (2021a,b) eine Reihe unterschiedlicher Faktoren, die meist kombiniert vorkommen und untereinander interagieren. Grob lassen sich diese in die drei Kategorien Wildtier, Verkehr und Umwelt zusammenfassen. Häufig geschehen Wildtierunfälle in Situationen, in denen Verkehrsinfrastrukturen günstige Wildtierlebensräume durchqueren. Besonders kritisch sind Strecken mit hohem Verkehrsaufkommen, hohen Fahrzeuggeschwindigkeiten und schlechten Sichtbedingungen. Die Faktoren, welche das Unfallrisiko erklären, können sich zwischen den Tierarten jedoch stark unterscheiden, was ein tierartenspezifisches Vorgehen bei der Implementierung von Präventionsmassnahmen nahelegt. Auch die jahreszeitliche Verteilung der Unfälle unterscheidet sich teilweise stark zwischen den verschiedenen Tierarten. Beim Rothirsch kommt es in den Wintermonaten häufiger zu Kollisionen mit Fahrzeugen, weil sich die Tiere dann in tieferen Lagen aufhalten und häufiger stark befahrene Strassen queren. Grundsätzlich ereignen sich die meisten Wildtierunfälle in der Dämmerung und in der Nacht, wenn viele unserer Wildtiere am aktivsten sind. In gewissen Jahreszeiten kumulieren die Dämmerungszeiträume und das hohe Aufkommen des Pendlerverkehrs, was zu besonders kritischen Konstellationen führen kann.

Modellierung von Kollisionshotspots

Bei der Modellierung der räumlichen Verteilung von Wildtierunfällen konnten Suter et al. (2021a,b) die "Kurvigkeit" eines Strassenabschnitts, die Äsungsflächen in unmittelbarer Nähe von Verkehrsinfrastrukturen, die Fahrgeschwindigkeit und das Verkehrsaufkommen als entscheidende Parameter identifizieren. Die resultierenden gesamtschweizerischen Modelle erlauben es, Kollisionshotspots und damit Orte mit besonders hohem Unfallrisiko mit einer Genauigkeit von 80 – 90 % vorherzusagen. Allerdings zeigte sich, dass die Modelle Hotspots entlang von Wäldern und innerhalb von Wäldern zuverlässiger identifizieren als Hotspots im offenen Feld. Ebenso weisen die Modelle unterschiedliche gebietsspezifische Eignungen auf, wobei für das Mittelland das Modell "KER" am besten zu sein scheint (mündl. Mitteilung Stefan Suter). Die interaktiven Webkarten der Modelle stehen unter folgenden Links öffentlich zur Verfügung (Quelle: Suter et al. 2021b):

<https://www.zhaw.ch/iunr/wildtierunfaelle>



Massnahmen zur Prävention von Wildtierunfällen

Suter et al. (2021b) fassen die verschiedenen Methoden zur Prävention von Wildtierunfällen auf Verkehrsinfrastrukturen gemäss Literaturrecherche in folgenden Massnahmen-Kategorien zusammen: i) Trennung des Lebensraums der Wildtiere von der Verkehrsinfrastruktur, ii) Warnung der Wildtiere vor Fahrzeugen, iii) Warnung der Verkehrsteilnehmer vor Wildtieren in Strassennähe und iv) technische Lösungen in Fahrzeugen. Dabei bemerken sie, dass die Wahl der Methode auf die Begebenheiten vor Ort angepasst sein muss und sich für Bahnstrecken nur Methoden aus den Kategorien i) und ii) eignen. Insgesamt hat sich gezeigt, dass Zäune sehr effektiv sind, um Kollisionen zu reduzieren. Sie sollten jedoch nur in Kombination mit Wildtierpassagen verwendet werden, damit die Vernetzung der Wildtierhabitate weiterhin gewährleistet bleibt (Suter et al. 2021a). Auch Wildwarnsysteme, welche die Verkehrsteilnehmer warnen, haben sich als wirksam erwiesen, um Kollisionen nachhaltig zu reduzieren. Die aktuell verfügbaren Systeme sind allerdings teuer und eignen sich nur für kurze Strassenabschnitte. Visuelle, akustische und olfaktorische Abschreckungssysteme, welche Wildtiere vor Gefahren auf der Verkehrsinfrastruktur warnen, können zwar kurzfristig die Fallwildzahlen senken, aber bisher hat keine Langzeitstudie ihre anhaltende Wirksamkeit belegen können. Antikollisionssysteme in Fahrzeugen

werden laufend weiterentwickelt und in Zukunft auch dazu beitragen, die Anzahl Wildunfälle zu reduzieren.

In Bezug auf Unfallpräventionsmassnahmen decken sich die Erkenntnisse aus der Literaturrecherche von B+S AG Righetti & Eicher (2021) weitestgehend mit denjenigen von Suter et al. (2021a,b). So ermessen auch sie den Massnahmen, welche Menschen warnen eine besondere Bedeutung zu. Zudem weisen sie im Zusammenhang mit einer funktionierenden Ökologischen Infrastruktur auf die Bedeutung von Leitstrukturen und den Schutz vor menschlicher Störung hin. Schliesslich betonen sie die Wichtigkeit von adäquaten Zustandsanalysen und Wirkungskontrollen.

4.6.2 Kollisionsrisiko auf Strassen und Barriereneffekt im Zusammenhang mit dem Priorisierungsmodell

Das Kollisionsrisiko-Modell, welches im vorigen Kapitel vorgestellt ist, betrachtet nicht nur den Rothirsch, sondern Unfälle mit alle Huftierarten. Die angegebenen Risikostellen sind somit nicht unbedingt für den Rothirsch ausgerichtet. Wir können hier dank unserem Priorisierungsmodell ein artspezifischeres Bild von den Risikostellen darstellen.

Auf der Grundlage des Modells der funktionalen Konnektivität (Priorisierungsmodell) ist es möglich, Strassenabschnitte nach dem Grad des Kollisionsrisikos zu klassifizieren (Abb. 76). Dieses Kollisionsrisiko ergibt zwei mögliche Widergabe auf Strassensegmentebene: das Risiko einer Strassenüberquerung durch Rothirsche und die Barrierewirkung, die es für die räumliche Bewegung von Rothirschen darstellt.

Für jedes offizielle Strassensegment (swissTLM3D) haben wir den maximalen berechneten Wert der Konnektivitätspriorität (1-10) zugewiesen. Anschliessend wird dieser Wert in einen "Kollisionsrisiko"-Index umgewandelt, der in drei Klassen unterteilt ist: geringes Risiko [1–5], mittleres Risiko [5–8] und hohes Risiko [8–10]. Mit anderen Worten: Die Klasse mit hohem Kollisionsrisiko repräsentiert Strassenabschnitte, die die 20 % besten Gebiete für die Konnektivität schneiden, und die Klasse mit niedrigem Kollisionsrisiko repräsentiert Strassenabschnitte, die die 50 % am wenigsten wichtigen Gebiete für die Konnektivität schneiden.

Da das Verkehrsaufkommen ein weiteres Schlüsselement ist, das es zu berücksichtigen gilt, haben wir die Strassenabschnitte in vier vereinfachte Klassen eingeteilt: Autobahnen, Hauptverkehrsstrassen, Nebenstrassen und sonstige (nicht berücksichtigte) Strassen. Eine Klassifizierung mit zwei Variablen, die sowohl auf dem Kollisionsrisiko als auch auf der Strassenklasse basiert, ermöglicht eine Visualisierung der Kollisionswahrscheinlichkeit. Autobahnen stellen einen Sonderfall dar, da ihnen ein Kollisionsrisiko zugewiesen wurde, obwohl sie eingezäunt sind. Das Modell kann aber auch dahingehend interpretiert werden, dass das Kollisionsrisiko und die Kollisionswahrscheinlichkeit die Barrierewirkung für Wildpopulationen widerspiegeln. Autobahnabschnitte mit hohem Kollisionsrisiko könnten z.B. potenziell gute Standorte für den Bau von Wildbrücken sein. Wir können aber auch die Autobahnen so darstellen, dass sie undurchdringliche Barrieren darstellen würden (Abb. 77). Andere Beispiele sind in den Abbildungen 64 und 65 ersichtlich.

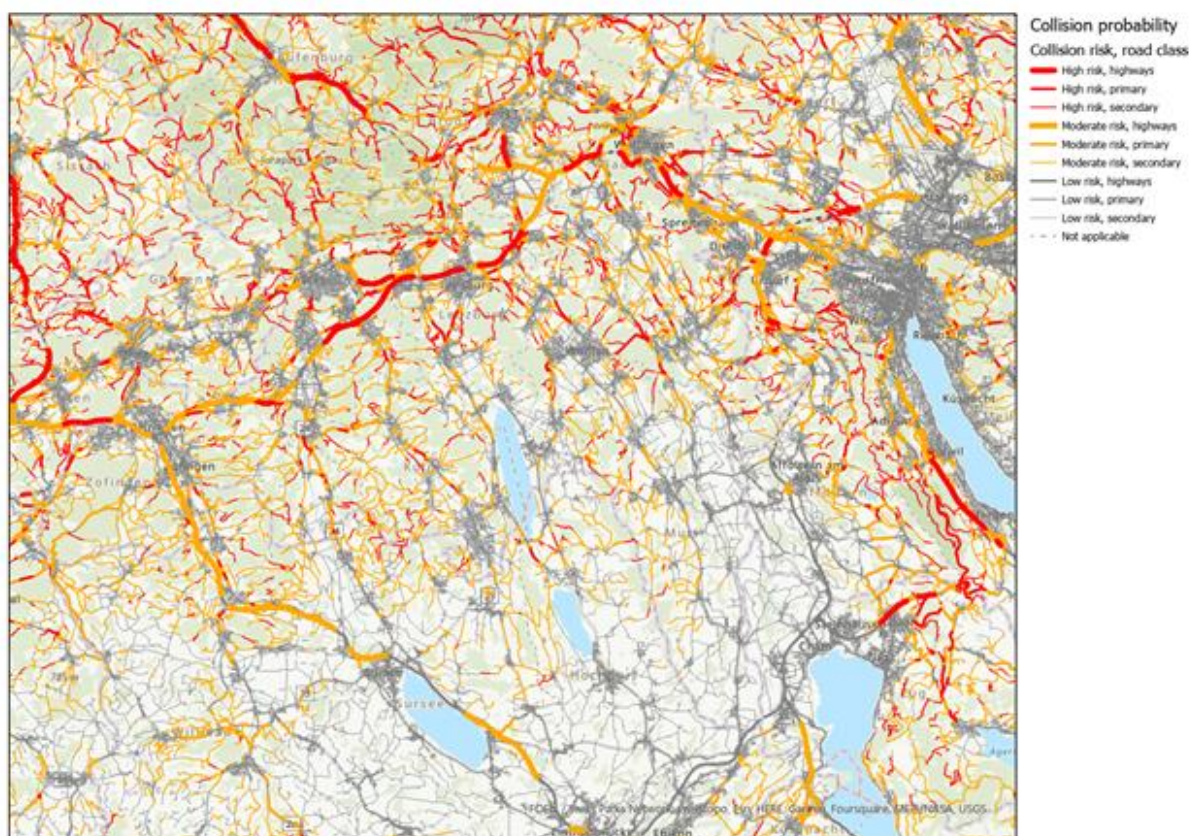


Abb. 76: Kollisionswahrscheinlichkeit auf Strassen gemäss Priorisierungsmodell (Ausschnitt Aargau).



Abb. 77: Kollisionswahrscheinlichkeit auf Strassen in Kombination mit der Priorisierungskarte (5 höchste Decile).

4.6.3 Wirksamkeit von Wildwarnsystemen

Verhaltensbeobachtungen

Es wurde eine Bachelorarbeit initiiert, um die Durchführbarkeit von Verhaltensbeobachtungen in diesem Kontext methodisch zu bewerten (Valentinelli & Fischer 2022). Dieser Ansatz erwies sich komplizierter als erwartet. Zu den Hauptschwierigkeiten bei der Umsetzung gehörte die Tatsache, dass Rothirsche normalerweise Strassen im Übergangsbereich von einem Waldgebiet in ein anderes überqueren und hier demnach Lebensräume nutzen, die nur wenige Beobachtungsmöglichkeiten bieten. Darüber hinaus muss man genau dann vor Ort sein, wenn ein Rothirsch seine Querung vollzieht. Dies vorherzusagen ist trotz der Verfügbarkeit von GPS-Daten schwierig. So konnten bei 23 Feldbesuchen lediglich 3 Rothirsche beim Überqueren einer Strasse beobachtet werden. Diese Methode wurde daher aufgegeben, da sie zu zeitaufwendig war.

Akustische Wildwarngeräte an Bahnlinien

Auf der alten Gotthardbahnstrecke wurden bei Schützen auf dem Gebiet der Gemeinde Silenen (UR) akustische Wildwarner an den Leitungsmasten installiert, welche die Tiere beim Herannahen eines Zugs mit einem Pfeifton warnen und vertreiben sollen. In den Jahren 2019 – 2022 wurde der Streckenabschnitt mit Wärmebildkameras überwacht, um die Reaktion der Wildtiere auf die Pfeiftöne zu dokumentieren (Stephani & Suter 2022). Der gewünschte Nutzen der installierten akustischen Wildwarner konnte nicht nachgewiesen werden. In mehreren Fällen wurden Rothirsche und Rehe dabei aufgenommen, wie sie trotz pfeifenden Wildwarnern scheinbar unbeeinflusst die Gleise querten. Die Tiere schienen das Signal nicht als Hinweis auf eine drohende Gefahr zu verstehen. Weiter erscheint die verbleibende Reaktionszeit zwischen Beginn des Pfeifsignals und Durchfahrt des Zugs zu kurz, als dass sich die Tiere sicher aus dem Gefahrenbereich entfernen können. Bessere Resultate liefern bioakustische Wildwarnanlagen, bei denen Wildtiere frühzeitig und mit Warnlauten in "ihrer Sprache" vor einem herannahenden Zug gewarnt werden (Holenstein 2023).

Erkenntnisse aus dem Expertenworkshop

Am Expertenworkshop vom 21. August 2023 haben sich rund 35 Fachleute in einem Erfahrungsaustausch zu drei Themen vertieft ausgetauscht.

Thema 1: Erfahrungen mit verschiedenen Warnsystemen für Wildtiere und Menschen

- Revision JSG, per 01.09.2023
- Bund unterstützt Massnahmen, insbesondere in überregionalen Wildtierkorridoren
- Verordnungs-Vernehmlassung 01.02.2025
- Damit könnten zukünftig evtl. auch Bundesmittel für die Finanzierung von Massnahmen beantragt werden. Möglichkeiten sollen im Rahmen der Vernehmlassung identifiziert werden.
- VSS-Norm 40 693 Wildzäune und 40 694 Schutzmassnahmen werden überarbeitet. Der Abschluss wird für Anfang 2024 erwartet.
- Forschungsprojekt "Erfolg von Wildtiermassnahmen entlang von Verkehrsträgern" ist abgeschlossen (siehe [Forschungsprojekt VSS 2017-228 Erfolg von Wildtiermassnahmen entlang von Verkehrsträgern](#)).
- Ziele: Wildunfälle reduzieren (Sichtbarkeit verbessern, Geschwindigkeit reduzieren, auch temporäre Massnahmen möglich) und Konnektivität sicherstellen.
- HotSpot-Definition in DE: 6 Unfälle/Jahr innerhalb von 200 m
- Wildwarnreflektoren
- Wirkung wurde nie bestätigt
- Wirkungskontrolle: min. 8 Jahre vor- und nachher
- Druck bei Jägerschaft ist gross. Gefahr für Resignation besteht.
- Es muss ein Zeichen gesetzt werden, auch wenn die bestehenden Lösungen noch nicht das "Gelbe vom Ei" sind.

Thema 2: Gefahren mit der Rückkehr des Rothirschs ins Mittelland und geeignete Lösungsansätze

An einem Beispiel aus dem Raum Sargans (SG) wurde eindrücklich geschildert, mit welchen Massnahmen die teilweise sehr kritischen Situationen im Strassenverkehr entschärft werden konnten. Besonders häufig kamen dort Wildunfälle in harten, schneereichen Wintern vor, wenn die Rothirsche am Abend bei Einbruch der Dunkelheit aus ihren Tageseinständen zur Nahrungssuche in die Tallagen austraten, wo gleichzeitig ein grosses Verkehrsaufkommen herrschte. Entschärft werden konnte die Situation durch i) Warntafeln und Blinklichter mit Hinweis zur Geschwindigkeitsreduktion von 80 auf 60 km/h, welche ganz gezielt nur während effektiver Rothirschpräsenz zum Einsatz kamen, ii) Geschwindigkeitskontrollen und Ahndung von Geschwindigkeitsübertretungen durch die Polizei, iii) intensive Informationsarbeit zur Aufklärung der Bevölkerung, iv) punktuelle Massnahmen an Hecken und Windschutzstreifen zur besseren Übersicht neben der Fahrbahn und v) temporäre kleine Ablenkfütterung auf Ackerflächen im Bereich der Austrittsstelle vom Wald ins Offenland, damit sich die Rothirsche dort in der Dämmerung etwas länger aufhalten und die besonders kritischen Strassenbereiche erst später bei geringerem Verkehrsaufkommen aufsuchen. Nicht bewährt haben sich hingegen akustische Warnsignale, u.a. weil diese von der Bevölkerung im Siedlungsraum als störend empfunden und deshalb "unschädlich" gemacht wurden.

An einem Beispiel aus dem Fürstentum Liechtenstein, wo es im Winter an 2 bis 3 Zwangswechseln über Strassen zu sehr kritischen Situationen kommt, bewachen die Jäger die kurzen Strassenabschnitte in den kritischen Zeiträumen von einer Kanzel aus und warnen die Verkehrsteilnehmer im Bedarfsfall aktiv vor den Wildtieren. Dieser Ansatz ist sicherlich sehr effizient, birgt wohl aber auch rechtliche Risiken im Hinblick auf Selbstunfälle.

Im Gegensatz zu den Berggebieten scheinen Verkehrsunfälle mit Rothirschen im Mittelland weniger an spezifische Standorte gebunden zu sein, sondern eher grossräumig an verschiedenen "klassischen Hotspots" vorzukommen, dort wo auch immer wieder Unfälle mit Rehen, Wildschweinen und anderen Wildtieren stattfinden (Bsp. ZH). Zudem sind Verkehrsunfälle weniger stark an bestimmte Jahreszeiten gebunden. Allerdings bergen Bereiche um bestimmte landwirtschaftliche Kulturen wie Mais ein erhöhtes Risiko, insbesondere während der Erntezeit. Da diese Kulturen in den verschiedenen Jahren an unterschiedlichen Standorten angebaut werden, ist es auch schwieriger, Massnahmen gebunden an spezifische Strassenabschnitte umzusetzen.

Im Kanton Luzern kommt es bislang nur ganz vereinzelt zu Verkehrsunfällen mit Rothirschen. Wenn, dann befinden sich diese innerhalb von offiziellen Wildtierkorridoren und auf den Hauptbewegungsachsen der Wildtiere. Dies zeigt, dass die räumlichen Bewegungen der Rothirsche im Mittelland stark an bestimmte Lebensraumbereiche gebunden sind.

Erfahrungen aus dem Kanton Genf deuten darauf hin, dass residente Rothirsche nicht zuletzt auch im Hinblick auf Strassen über sehr gute Ortskenntnisse verfügen und "wissen", wann, wo und wie diese zu queren sind. So kommen im Genfer Becken praktisch keine Verkehrsunfälle mit residenten Rothirschen vor, wohingegen sich Verkehrsunfälle während der Brunftzeit, wenn auch mehr transiente Rothirsche unterwegs sind, häufen.

Insgesamt hat sich herauskristallisiert, dass die räumliche Lenkung der Rothirsche und eine effektive Geschwindigkeitsreduktion der Fahrzeuge die Schlüsselfaktoren sind zur Vermeidung von Verkehrsunfällen. Dabei stellt sich die Frage, ob es sinnvoll ist, Präventionsmassnahmen wie bis anhin primär reaktiv (wenn bereits Probleme bestehen) umzusetzen, oder ob eine proaktive Umsetzung nicht zielführender und verantwortungsvoller wäre. Dies scheint im Hinblick auf den Rothirsch mit seinem "gewichtigen" Unfall-Schadenpotenzial besonders relevant. In diesem Sinne dürfte der Rothirsch denn auch als Chance für eine vorausschauende Wildunfallprävention fungieren, zumal Unfälle mit kleineren Wildtieren oftmals als zu wenig relevant eingestuft werden.

Die Umsetzung von Präventionsmassnahmen sollte möglichst standortspezifisch erfolgen und setzt teilweise sehr gute Kenntnisse über die lokal vorkommenden Rothirsche voraus. Dabei dürfte sich die Ausgangslage in den Alpen und Voralpen deutlich von derjenigen im Mittelland unterscheiden, so dass sich die bisherigen Erkenntnisse zur Unfallprävention aus den Berggebieten nicht in jedem Fall auf das Mittelland übertragen lassen. Umso wichtiger ist bei der Umsetzung von Unfallpräventionsmassnahmen ein zielführendes Monitoring, welches neben der Ausgangslage auch längerfristige Entwicklungen abzubilden vermag.

Thema 3: Bedeutung einer Wildunfallsstatistik und Möglichkeiten eines schweizweiten systematischen Unfallprotokolls

1. Warum braucht es Wildunfallsstatistik?
 - Hotspots mit besonders vielen Unfällen können bestimmt werden
 - Präventionsmassnahmen können evaluiert werden
 - Finanzielle Investitionen können gerechtfertigt werden
2. Welche Wildunfalldaten hätten wir gerne?
 - Datum, Uhrzeit, Koordinaten, Tierart, Geschlecht, Alter, Gewicht, Hinterlauflänge, Unterkieferlänge, Unfallhergang, Wetterkonditionen, Situation der Vegetation am Strassenrand
 - Dunkelziffer wahrscheinlich hoch! Auch Kollisionen, wo kein Tier gefunden wird, sollten dokumentiert werden
3. Welche Parameter sind absolutes Minimum?
 - Datum, Uhrzeit, Koordinaten, Tierart
 - Bei Uhrzeit beachten, dass Unfallzeitpunkt und Auffindezeitpunkt nicht immer gleich sind
4. Wer soll die Wildunfalldaten erheben?
 - Wildhut, Polizei, Jagdgesellschaft (Jagdaufseher)
 - Eventuell "Strassenunterhalt" (Tiefbau)
 - Citizen Science basiert (Österreich, Taiwan, Kanada) → Foto (automatisch Infos zu Ort Datum und Zeit), Qualität der Daten muss gewährleistet werden
5. In welcher Form werden Wildunfalldaten erhoben?
 - App, Tabellen, Datenbanken
 - Zwei Systeme in der CH: EFJ und Sesam; Systeme sind aktuell wenig flexibel
6. Wo werden Wildunfalldaten gespeichert?
 - Jagdverwaltungen, Polizei, Versicherungen
7. Wie könnten kantonale Wildunfalldaten vereinheitlicht werden?
 - In der Eidgenössischen Jagdstatistik → müsste die Jagd- und Fischereiverwalter-Konferenz der Schweiz und des Fürstentums Liechtenstein (JFK) und BAFU diskutieren und entscheiden

Zusammenfassend wurde vor allem festgestellt, dass es Lücken bei der Erfassung und Übertragung von Kollisionsdaten gibt, dass weitere Studien notwendig sind und dass die Ziele des Managements, die Rollen der verschiedenen kantonalen Instanzen sowie die zu berücksichtigenden Zielarten (um sich nicht nur auf Huftiere zu beschränken) besser definiert werden müssen. Der nächste Schritt ist die Durchführung eines Fragebogens unter den Teilnehmern und Referenten, um diese Lücken und mögliche Wege, sie zu schliessen, besser zu identifizieren.

5 Synthese & Schlussfolgerungen

5.1 Wanderkorridore

Unser Ansatz bestand darin, die individuelle Variabilität des Rothirschs, die sowohl in der Literatur erwähnt als auch mit unseren Daten beobachtet wurde, sowie die Heterogenität der Landschaft, die im Schweizer Mittelland besonders ausgeprägt ist, zu berücksichtigen. Die Kombination von Fraktalen und NSD (Net Square Displacement) ermöglichte es, zwei Bewegungsmuster für jedes untersuchte Individuum zu klassifizieren und so die Lebensräume zu definieren und zu charakterisieren, die am häufigsten bei langen Wanderungen genutzt werden. Zweitens wurden durch die Kombination der Anwendung der Graphentheorie, der Least-Cost-Corridors und der Schaltkreistheorie Priorisierungskarten erstellt, die die wahrscheinlichste Position der Korridore aufzeigen und ihnen eine Priorität für ihre Erhaltung zuweisen. Diese Priorität spiegelt zum einen die Wahrscheinlichkeit der Nutzung durch Rothirsche und zum anderen die Anfälligkeit eines bestimmten Korridors wider, d.h. wenn er sehr schmal ist oder wenn es keine alternativen Verbindungen gibt. Die gerechneten Modelle decken das gesamte Spektrum von niedriger bis hoher Priorität ab, aber es ist auch möglich, eine Auswahl einer benutzerdefinierten Anzahl von Klassen zu extrahieren, was die kartographische Darstellung verbessert und die räumliche Interpretation erleichtert. Der grosse Vorteil der verschiedenen Modelle liegt darin, dass sie den Korridoren eine tatsächliche Breite geben. Somit ist es möglich, jeder Landparzelle einen Wert in Bezug auf seine Position in einem ökologischen Netzwerk zuzuweisen.

Die endgültige Karte, das Priorisierungsmodell, kann dann auf verschiedene Weise verwendet werden. Zunächst zeigen die Korridore der ersten Prioritätsstufe Orte an, an denen es besonders wichtig ist, Anstrengungen zur Erhaltung günstiger Lebensräume zu unternehmen. Auf dieser Ebene ist es ratsam, vor Ort zu überprüfen, ob die betreffenden Bereiche nicht durch Hindernisse beeinträchtigt werden, die nicht auf den Karten erscheinen (versteckte Hindernisse) und somit bei der Modellierung nicht berücksichtigt werden konnten. Allfällig festgestellte Hindernisse sollten daher reduziert (Abb. 78) oder beseitigt werden, um die Funktionalität eines Korridors zu gewährleisten. Wenn eine Strasse oder eine andere Art von Verkehrsweg einen Korridor oder ein Kerngebiet kreuzt, weist dies auf Bereiche hin, in denen ein Kollisionsrisiko besteht. Das Risiko ist umso höher, je höher die Prioritätsstufe und je höher die Verkehrsgeschwindigkeit sind. Bei Autobahnen, die eingezäunt sind, zeigt das Modell die Stellen an, welche die Bewegungen der Rothirsche behindern, und an denen es sinnvoll sein könnte, eine Wildtierpassage zu bauen. Es zeigt auch Autobahnstrecken an, für die die Zaunhöhe mindestens 2m hoch sein sollten, gemäss VSS-Norm 40 693.

Die GPS-Daten eines Teils der besenderten Rothirsche ermöglichte die Erstellung eines für das Mittelland passenden Modells. Für die Validierung wurden schliesslich die GPS-Daten der übrigen Rothirsch-Individuen berücksichtigt. Deren Daten zeigten denn auch Korridore auf, die sehr regelmässig von mehreren Individuen genutzt werden, und andere, die überraschend wenig oder gar nicht genutzt werden (Abbildungen 68 bzw. 66). Dies weist darauf hin, wie wichtig es ist, die Funktionalität der theoretischen Korridore im Feld zu validieren, insbesondere die als Hauptkorridore eingestuft Korridore (2 oder 3 höchste Dezile des Gradienten). Dies wurde im Kanton Genf und in den benachbarten französischen Gebieten durchgeführt. Es ermöglichte, die wahrscheinliche Rolle von versteckten Hindernissen zweierlei Art - Zäune und Lichtverschmutzung - als Elemente, die die Bewegungen behindern, zu identifizieren. Zäune können derzeit noch nicht in den Modellen berücksichtigt werden, da sie nicht kartiert sind: Eine Karte des Dunklen Kontinuums wird demgegenüber voraussichtlich ab Frühjahr 2024 verfügbar sein. Natürlich können auch andere Landschaftselemente Auswirkungen haben. Um diese zu identifizieren, sind weitere Studien erforderlich..

Im Hinblick auf das Risiko von Konflikten mit dem Wald können drei Parameter berücksichtigt werden: 1. Die Nähe zu einem wichtigen Populationskern, 2. die Verbindung zu diesem Kern durch Korridore mit hoher Priorität, wenn keine grösseren Barrieren wie Strassen vorhanden sind und 3. die Fläche des betrachteten Waldes, die umso attraktiver für eine dauerhafte Besiedlung ist, je grösser sie ist. Die in Abschnitt 3.3.2 vorgestellten Modelle ermöglichen es, die Wahrscheinlichkeit und das Bestehen eines solchen Konflikts zu bewerten. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass wir regelmässig Bewegungen über grosse Entfernungen beobachtet haben, die in nur wenigen Tagen zurückgelegt wurden und manchmal ausserhalb der theoretischen Hauptkorridore liegen. Dies ist zum Beispiel der

Fall zwischen dem Kerngebiet der Berner Voralpen und dem vom Rothirsch bereits gut besiedelten Gebiet südlich der A1 im Raum Bern- Solothurn-Aargau. Hier sieht man, dass Korridore mittleren Niveaus benutzt wurden, um relativ grosse Waldstücke zu erreichen, wenn man die durchschnittliche Bewaldung im Mittelland betrachtet. Potenzielle Schäden werden auch mit der Struktur und den Beständen der Wälder zusammenhängen, Parameter, die in unseren Modellen nicht berücksichtigt wurden, da sie die Wanderbewegungen kaum beeinflussen.

Es bleiben Konflikte mit der Landwirtschaft, die aufgrund der Variabilität der Lage der Kulturen und ihrer Phänologie sehr schwer vorherzusagen sind. Es ist jedoch absehbar, dass empfindliche Kulturen (wie Raps oder Erbsen), die sich in der Nähe eines Kerngebiets oder innerhalb eines Korridors befinden, am anfälligsten sein werden.

5.2 Massnahmenkatalog "versteckte Wanderhindernisse"

Versteckte Hindernisse werden als Bewegungshindernisse definiert, für die es keine kartografischen Grundlagen gibt. Sie können daher ausschliesslich durch Feldbegehungen sichtbar gemacht werden. Das Priorisierungsmodell ermöglicht es, die Bereiche zu bestimmen, die am ehesten aufgesucht und kartiert werden sollten. Durch Überlagerung mit dem Strassen- und Schienennetz können auch die Abschnitte mit dem höchsten Kollisionsrisiko hervorgehoben werden.

Anthropogene Wanderhindernisse, die mit ihren Charakteristika nicht unmittelbar und offensichtlich auf Landschaftskarten ersichtlich sind, sind vor allem Weide-, Autobahn und Eisenbahnzäune. Die verwendeten Zäune können sich in Bauweise und Höhe stark unterscheiden. Verkehrsinfrastrukturen wie Bahnlinien und Autobahnen, oder auch Kiesgruben, sind in der Regel durch massive und permanente Einrichtungen mit mittel- bis grossmaschigem Metalldrahtgittern eingezäunt (Höhen von >1.2 m für Rehe und >2 m für Rothirsche). In der Landwirtschaft werden demgegenüber oft Zaunsysteme verwendet, welche weniger massiv sind, saisonal auf- und abgebaut oder zuweilen auch umplatziert werden (siehe Merkblatt Weidezäune des BLV, 2019). Häufig sind dies ein- oder mehrbändige/-litzige Zaunsysteme. Die verwendeten Bänder/Litzen sind in der Regel elektrifiziert, zumindest wenn Haustiere auf den Weiden sind. Insbesondere bei der Weideführung von Schafen kommen auch sogenannte Flexinetze zum Einsatz. In der Pferdehaltung werden schliesslich deutlich massivere Zaunsysteme eingesetzt, welche immer über mehrere Bänder verfügen, elektrifiziert sind und eine minimale Höhe von mehr als 1.5 m aufweisen.

Die verschiedenen studentischen Arbeiten, welche diese "versteckten" Wanderhindernisse erfassten, zeigen auf, dass Offenlandflächen im Schweizer Mittelland in vielen Regionen von Zäunen durchzogen sind (Lichtenberg 2021; Federici & Fischer 2020; Détraz & Fischer 2022; Valentinelli & Fischer 2022; Kieseccoms & Gosselin 2023). Eine verstärkte Barrierewirkung ging in den Untersuchungsgebieten vor allem von den permanenten Einzäunungen von Bahnlinien und Autobahnen aus. Diese wurden von besondern Rothirschen im Rahmen ihrer (saisonalen) Migration nie gequert. Allerdings gibt es Nachweise, die belegen, dass Rothirsche auch solche Zäune grundsätzlich überspringen können. Ein Beispiel ist der besonderte Stier Ardy, der in den Jura umgesiedelt und danach wieder ins Mittelland zurückgekehrt ist. Von ihm ist bekannt, dass er für seine Rückkehr im Bereich der Verzweigung "Luterbach" erfolgreich die Autobahnen A1 und A5 querte und dabei auch die Zäune übersprang. An den Stellen, die der Rothirsch zur Querung nutzte, lag die Zaunhöhe in einem Bereich von 1.35–1.50 m (Willisch et al. 2011), was der Norm für die Anwesenheit von Rehen entspricht, nicht aber für Rothirsche (VSS Norm 40693). Jedoch werden auch immer wieder Rothirsche innerhalb der eingezäunten Autobahnbereiche festgestellt, die es nicht schaffen die Autobahnen oder Bahnlinien vollständig zu queren. Diese Individuen werden dann meist überfahren oder von den zuständigen Jagdbehörden aus Sicherheitsgründen erlegt.

Keine grösseren Hindernisse scheinen indes Zäune darzustellen, die eine Höhe von <1.5 m aufweisen, unabhängig davon, ob es sich um ein- oder mehrbändige/-litzige Elektrozaune handelt, um nicht elektrifizierte Zäune bestehend aus einem Draht oder um einen Maschendrahtzaun. Typische Weidezäune, wie sie in der Rinder- und Kleinviehhaltung (Schafe, Ziegen) zum Einsatz kommen, können von Rothirschen daher in der Regel problemlos übersprungen werden. Entsprechende Belege existieren u.a. aus dem zentralen und westlichen Mittelland (Lichtenberg 2021). Im westlichen Mittelland erwiesen sich solche Zäune teilweise aber auch als Barriere, besonders wenn in einem Korridor

mehrere solcher Hindernisse installiert sind (Federici & Fischer 2020; Détraz & Fischer 2022; Valentinelli & Fischer 2022; Kieseccoms & Gosselin 2023). Eine grössere Einschränkung dürfte allerdings von höheren Zäunen ausgehen, wie sie bei der Pferdehaltung zum Einsatz kommen. Daten aus der Westschweiz legen nahe, dass Pferdeezäune im Einzelfall zwar übersprungen werden können, dass aber mit zunehmender Zahl solcher Zäune entlang eines Korridors die Wahrscheinlichkeit für dessen Nutzung rapide abnimmt (Boschung & Fischer 2020).

Ungeklärt ist allerdings, ob nicht auch tieferliegende Weidezäune für die Haltung von Rindern und Schafen oder Ziegen, eine negative Auswirkung auf die Nutzung eines Korridors haben können, wenn sie in grösserer Zahl entlang einer Wanderroute auftreten. So könnte die Passierbarkeit von ansonsten eigentlich "offenen" Korridoren reduziert sein, wenn sie durch viele hintereinanderliegende Zäune durchzogen werden – auch wenn ein einziger Zaun kein unüberwindbares Hindernis darstellt. Um festzustellen, inwiefern Weidezäune für Rinder- und Kleinvieh die Ortsverschiebungen von Rothirschen tatsächlich beeinflussen, sind weiterführende Untersuchungen erforderlich. Eine entsprechende Masterarbeit, die genau diesen Sachverhalt überprüfen soll, ist an der HAFL für das Jahr 2024 vorgesehen, und zwei Bachelorarbeiten an der HEPIA haben im 2022 und 2023 darüber stattgefunden (Détraz & Fischer 2022, Kieseccoms & Gosselin 2023).

Abgesehen von der räumlichen Beeinträchtigung bilden Zäune auch reelle Gefahren für Rothirsche und andere Wildtiere, indem sie sich darin verfangen und infolgedessen qualvoll eingehen können. Ein eindrückliches Beispiel hierfür war der Stier ID04 Dario, welcher sich im Bereich um die Wildtierbrücke über die A2 bei Neuenkirch tödlich in einem Pferdezaun verfangen (siehe Kapitel 4.2.1).

Bei der Ausscheidung und v.a. auch bei der Beurteilung von potenziellen Wildtierkorridoren und ihrer Funktionalität sollten Weidezäune (oder vergleichbare Zaunsysteme) daher grundsätzlich immer auch erfasst und berücksichtigt werden.

Im Untersuchungsgebiet Genf zeigte sich, dass Hirsche dazu neigen, Bereiche zu meiden, die der Lichtverschmutzung ausgesetzt sind. Die Wahrnehmung von künstlichem Licht kann somit auch als versteckte Barriere betrachtet werden. Es sollten Anstrengungen unternommen werden, um diese Quellen von Bewegungshindernissen zu reduzieren oder zu beseitigen. In naher Zukunft sollte eine landesweite Karte der Gebiete, die von Lichtverschmutzung betroffen sind, zur Verfügung stehen. Die Lichtverschmutzung wird dann nicht mehr als unauffällige Barriere betrachtet, sondern kann in zukünftige Verbindungsmodelle einbezogen werden.

Um die Durchlässigkeit der Korridore zu verbessern, werden folgende Massnahmen empfohlen:

- Möglichst viele Zäune entfernen;
- Weidezäune für Rinder und Kleinvieh erst kurz vor Einsatz aufstellen und danach möglichst rasch abbauen. (siehe Merkblatt: https://www.blv.admin.ch/dam/blv/de/dokumente/tiere/nutztierhaltung/merkblatt-weidezaeune.pdf.download.pdf/Merkblatt_Weidez%C3%A4une_Januar_2019_DE.pdf)
- Bei Zäunen, die stehen bleiben sollen, sollten die Zäune mit dem geringsten Grad an Behinderung empfohlen werden (Abb. 78);
- Bei Zäunen, die stehen bleiben sollen, die Grösse der eingezäunten Parzellen so weit wie möglich reduzieren, um Durchgänge um die Zäune herum zu ermöglichen;
- Nach Möglichkeit Entfernen aller Lichtquellen, die vom Korridor aus sichtbar sind;
- Wenn die Lichtquellen nicht entfernt werden können: Höhe der Beleuchtungspfähle reduzieren und Orientierung des Lichtkegels weg vom Korridor lenken;
- Wenn die Lichtquellen nicht beseitigt werden können: Heckenpflanzungen vornehmen, um Schattenbereiche zu generieren.



Abb. 78: Barriereneffekt verschiedener Zauntypen auf Rothirschwanderungen.

Um das Kollisionsrisiko auf den Fahrbahnen zu reduzieren, kann auf die Erkenntnisse aus dem im August 2023 durchgeführten Workshop zurückgegriffen werden:

- Die beste Lösung liegt in der Trennung von Fahrbahn und Korridoren: Bau von Wildtierpassagen und Umzäunung der Strasse in deren Umgebung, mit Zäunen die eine minimale Höhe von 2m für den Rothirsch aufweisen (vgl. VSS-Norm 40 693);
- Einsatz von automatischen Tiererkennungssystemen mit Warnung der Autofahrer;
- Geschwindigkeitsreduzierung auf unfallträchtigen Streckenabschnitten während der Brunftzeit;
- -Einsatz von visuellen und akustischen Reflektoren, um die Wachsamkeit der Tiere zu erhöhen. Achtung: Die Wirksamkeit dieser Art von Systemen ist umstritten.
- Weitere Punkte, die aus dem Workshop hervorgingen: i) Geschwindigkeitskontrollen und Ahndung von Geschwindigkeitsübertretungen durch die Polizei, ii) intensive Informationsarbeit zur Aufklärung der Bevölkerung, iii) punktuelle Massnahmen an Hecken und Windschutzstreifen zur besseren Übersicht neben der Fahrbahn und iv) Lenkung der Rothirsche (z.B. temporäre kleine Ablenkfütterung auf Ackerflächen im Bereich der Austrittsstelle vom Wald ins Offenland, damit sich die Rothirsche dort in der Dämmerung etwas länger aufhalten und die besonders kritischen Strassenbereiche erst später bei geringerem Verkehrsaufkommen aufsuchen).

5.3 Habitatverbesserung & Schutzgebiete

Der Rothirsch hat sich ursprünglich in offenen oder halboffenen Landschaften entwickelt (Signer & Willisch 2021). Als ausdauernder Läufer weicht er Gefahren und Störungen weiträumig aus. In Bezug auf Menschen vermeidet er räumliche Kontakte weitestgehend und versucht sich v.a. der Bejagung grossräumig zu entziehen. Durch seine Lern- und Anpassungsfähigkeit weist der Rothirsch jedoch eine hohe Verhaltensplastizität auf. So verlagern Rothirsche ihre Aktivitätsphasen in von Menschen beeinflussten Gebieten stärker in die Nacht und sind in kaum beeinflussten Gebieten weitgehend tagaktiv.

Demnach sind die Rothirsch-Vorkommen in Gebieten mit hohem menschlichem Nutzungsdruck vielfach an grössere, zusammenhängende Wälder gebunden, welche als wichtige Rückzugsorte dienen. Entsprechend bevorzugen Rothirsche bei uns meist Tageeseinstände im Waldesinnern und meiden das Offenland zumindest am Tag. Wie aus unseren Untersuchungen hervorgeht, können sich Rothirsche im Mittelland aber auch stark fragmentierte und intensiv genutzte Lebensräume erschliessen. Anders als im Gebirge nutzen sie dort vermehrt kleinräumige Strukturen wie Dickichte und Aufforstungen in unmittelbarer Nähe zu Wegen, Strassen und Siedlungen. Während dem Sommer können sich Rothirsche im Mittelland auch über längere Zeit in hochwüchsigen landwirtschaftlichen Kulturen wie Raps, Mais und Sonnenblumen aufhalten, oder auch in deckungsreichen Naturschutzflächen mit geeigneten Schilf- oder Heckenstrukturen.

Trotzdem bleibt der Rothirsch grundsätzlich eine störungsempfindliche Tierart. Aufgrund seiner raumgreifenden Biologie, der hohen Lernfähigkeit und mitunter auch durch seine soziale Lebensweise lässt er sich mit geeigneten Massnahmen räumlich jedoch gut lenken. Dies sowohl durch jagdliche Massnahmen (z.B. Gebiete mit Schwerpunktbejagung) als auch durch lebensraum-beruhigende Massnahmen (z.B. Wildruhezonen und Jagdbanngebiete). In diesem Sinne sollten Schutzgebiete nicht als Hindernis oder gar Problem für ein effektives Management des Rothirschs betrachtet werden. Vielmehr bilden Schutzgebiete die fundamentalen Pfeiler eines ökologisch orientierten, integralen Lebensraummanagements dieser faszinierenden Wildtierart!

Bedeutung von Wildruhezonen

Freizeitaktivitäten in der Natur haben in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen (z.B. Lamprecht et al. 2020). Sie betreffen siedlungsnah, aber auch entlegene Gebiete und dehnten sich vielerorts in die Randstunden und die Nacht aus. Scheue, ruhebedürftige Wildtiere geraten dadurch unter Druck. Besonders gravierend und deutlich sichtbar ist diese Thematik in Gebieten mit harten Winterbedingungen sowie wenn gefährdete Arten betroffen sind (z.B. Ingold 2005, Arlettaz et al. 2007, Thiel et al. 2008, Graf 2018).

Untersuchungen mit besenderten Rothirschen im Wallis zeigten, dass sich die Aktivitätsmuster von Individuen innerhalb und ausserhalb von Schutzgebieten (Wildruhezonen und Jagdbanngebiete)

teilweise deutlich unterschieden (Signer et al. 2022). So wiesen die Rothirsche in Schutzgebieten insbesondere im Winter eine deutlich tiefere Bewegungsaktivität auf als ihre Artgenossen ausserhalb der Schutzgebiete. Dies belegt die Bedeutung solcher Schutzgebiete: Dort wo Rothirsche Schutz vor Störung finden, können sie ihre natürlichen Energiesparmechanismen vollumfänglich ausleben und damit ruhiger durch den Winter kommen. Diese Mechanismen scheinen insbesondere während der Nacht zum Tragen zu kommen. Dann lag die Bewegungsaktivität der Rothirsche innerhalb von Schutzgebieten nämlich deutlich tiefer als diejenige der Rothirsche ausserhalb. Am Tag dagegen war die Sachlage gerade umgekehrt, was darauf hindeutet, dass Rothirsche in Schutzgebieten vermehrt tagaktiv leben können, was auch eher ihrem natürlichen Aktivitätsrhythmus entspricht.

Mittlerweile belegen wissenschaftliche Untersuchungen auch aus Gebieten ohne strenge Winter die negativen Auswirkungen der menschlichen Präsenz auf Wildtiere. Im Sihlwald und Umgebung mieden Rehe die Zonen im Bereich des Wegnetzes tagsüber und – wenngleich in geringerem Masse – auch in der Nacht (Graf et al. 2018). Dies bedeutet für das Reh eine Reduktion des nutzbaren Lebensraums. Zudem zeigten die Rehe in den von Menschen stark beeinflussten Bereichen des Untersuchungsgebiets grundsätzlich geringere Bewegungsaktivitäten als die Rehe in den weniger beeinflussten Bereichen, was auf eine Einschränkung ihrer natürlichen Aktivität hindeutet. Auch Vögel nehmen den Menschen meist als Gefahr wahr und reagieren mit Stress, einer Unterbrechung der Nahrungssuche oder Flucht. Passend dazu hat die menschliche Präsenz auf Waldwegen einen negativen Einfluss auf die Etablierung von Revieren der Brutvögel (z.B. Bötsch et al. 2017, Bötsch et al. 2018).

Für die Rothirsche im Mittelland fehlen diesbezügliche umfassende Analysen aktuell zwar noch. Dennoch deuten erste vorläufige Untersuchungen im zentralen Mittelland darauf hin, dass Rothirsche tatsächlich jene Waldabschnitte oder Lebensräume vermehrt zu nutzen scheinen, welche geringere menschliche Störungen aufweisen (Willisch et al. 2023). Würde diese Vermutung bestätigt, so würde das im Umkehrschluss bedeuten, dass die grossräumige Einstandswahl der Rothirsche beeinflusst werden kann, indem man die menschlichen Störungen räumlich kontrolliert – zum Beispiel in dem man Waldabschnitte gezielt beruhigt. Wildruhezonen und Gebiete mit vergleichbarer Schutzfunktion wurden in der Schweiz bislang vorwiegend in den gebirgigen Lebensräumen der Alpen, Voralpen und teilweise im Jurabogen ausgeschieden. Im Mittelland dagegen gibt es kaum Flächen mit einer entsprechenden Schutzfunktion. Eine Ausnahme bildet hier die Kernzone des Wildnispark Zürich, welche einen Teil des Sihlwalds, u.a. durch ein striktes Wegegebot, weitgehend vor menschlicher Störung schützt. Dieses Schutzgebiet diene auch den besenderten Rothirschen in dieser Region, zumindest saisonal, als bedeutsames Rückzugsgebiet. Ob hierfür primär die dortigen Lebensraumbedingungen oder der effektive Schutz vor Störung verantwortlich ist, muss noch genauer untersucht werden. Erkenntnisse aus anderen Untersuchungsgebieten der Schweiz deuten jedenfalls darauf hin, dass Rothirsche bei der Wahl ihrer Tageseinstände das Bedürfnis nach Schutz und Ruhe höher gewichten als die vorhandenen Nahrungsressourcen (siehe z.B. Thiel et al. 2018, Signer et al. 2022).

Bedeutung von Jagdbanngebieten

Insbesondere in den Gebirgsregionen der Schweiz wurden ab 1876 mit dem ersten Jagdgesetz zahlreiche Eidgenössische Jagdbanngebiete (heute "Eidg. Wildtierschutzgebiete") ausgeschieden. Einige der damals ausgewiesenen Schutzgebiete umfassen Bereiche, in denen die Jagd schon deutlich früher, teilweise bereits seit dem Mittelalter, "gebannt" wurde. Die grossflächigen Eidgenössischen Wildtierschutzgebiete werden in einigen Kantonen, insbesondere in Gebirgskantonen mit Patentjagd, durch ein Netzwerk von kleineren kantonalen Jagdbanngebieten (auch Wildschutzgebiete oder Wildasyle genannt) komplettiert.

Weil sich Rothirsche durch die oben erwähnten Eigenschaften dem Jagddruck geschickt entziehen können, bergen Grossschutzgebiete für die Regulation dieser anpassungsfähigen Wildtierart oftmals besondere Herausforderungen. Unter anderem am Beispiel des Schweizerischen Nationalparks konnte aber gezeigt werden, dass mit einer zeitlichen Staffelung der Jagd und einem feinmaschigen Netz aus ergänzenden kleineren Wildschutzgebieten eine abschliessende Regulation der regionalen Rothirschbestände grundsätzlich auch im Einflussbereich eines Grossschutzgebiets möglich ist (Haller, Eisenhut & Haller 2013). Dies auch ohne, dass die Tiere im Grossschutzgebiet selbst bejagt werden.

Die aktive Gestaltung einer "landscape of fear" mit einerseits Schutzgebieten und geeigneten Deckungsräumen und andererseits Gebieten mit relativ hohem Jagddruck ermöglicht demnach eine gute räumliche Verteilung der Rothirsche, so dass diese letztlich auch effektiver reguliert werden können (JFK 2022, Jenny 2023). Auf diese Weise wird ein Grossteil der Rothirsche in Graubünden während der Hochjagd im September im Einflussbereich von Wildschutzgebieten erlegt. Gleichzeitig können mit der Ausscheidung geeigneter Wildschutzgebiete Brunftplatztraditionen aufgebaut und bewahrt werden, was den Rothirschen auch während der Jagdzeit eine weitgehend ungestörte und artgerechte Fortpflanzung gewährt. So ermöglichen Schutzgebiete erwiesenermassen eine natürlichere Habitatwahl und ein natürlicheres Raumnutzungsverhalten, insbesondere am Tag und in der störungsintensiven Jagdsaison (Rempfler et al., submitted).

Allerdings muss in diesem Zusammenhang auch darauf hingewiesen werden, dass der Jagddruck während der vergleichsweise kurzen Jagdsaison in Kantonen mit Patentjagdsystem deutlich höher ist als in dem in Teile des Mittellands verbreiteten Revierjagdsystem. Nichtsdestotrotz lassen sich aus den bisherigen Erfahrungen für das Schutzgebietsmanagement in Bezug auf den Rothirsch im Schweizer Mittelland einige vielsprechende Ansätze ableiten.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen für Schutzgebiete im Mittelland

- Bislang sind für den Rothirsch und andere Wildtierarten im Mittelland kaum **Wildruhezonen zum Schutz vor Störung** und kaum **Wildschutzgebiete zum Schutz vor Bejagung** ausgeschieden.
- Aufgrund der existierenden fachlichen Grundlagen wäre eine **vermehrte Ausscheidung von Wildruhezonen zum Schutz der Wildtiere vor Störung** gerade auch im Mittelland angezeigt und zielführend. Im Hinblick auf den Rothirsch könnten damit wichtige Rückzugsgebiete geschaffen werden, idealerweise an Standorten mit niedrigem Wald-Wild-Konfliktpotenzial.
- In Bezug auf eine besondere jagdliche Lenkung und Nutzung werden im Mittelland bislang praktisch ausschliesslich Gebiete mit erhöhtem Jagddruck ausgewiesen (Lebensraum-Beunruhigung durch Schwerpunktbejagungskonzepte o.ä.). Als ergänzender Ansatz sollten zukünftig **vermehrt lebensraum-beruhigende Massnahmen wie die Ausscheidung von Wildschutzgebieten ohne jagdliche Eingriffe** angestrebt werden.
- Weil der Jagddruck in den Revierkantonen des Mittellands vergleichsweise gering, aber zeitlich ausgedehnt ist, dürfte eine räumliche Lenkung des Rothirschs durch **Schutzgebiete, welche ganzjährig Schutz vor genereller Störung wie auch vor der Bejagung bieten** am effektivsten zu bewerkstelligen sein.
- Mit einem geschickt ausgeschiedenen **Netz von Schutzgebieten und Schwerpunktbejagungsgebieten** können der Jagderfolg gewährleistet und gleichzeitig besonders sensible Rothirsch-Lebensräume geschützt werden. Um einen nachhaltigen Erfolg zu erzielen, sollte dieses System nicht zu starr aber auch nicht zu dynamisch umgesetzt werden. Bisherige Erfahrungen zeigen v.a. bei einer moderaten Anpassung alle paar Jahre den besten Erfolg.
- Mit einem umfassenden Schutz von besonders gut geeigneten Rothirsch-Lebensräumen könnten **zukünftige Brunftplatztraditionen gezielt aufgebaut** und an Standorte mit möglichst wenig Konfliktpotenzial gelenkt werden.
- Besondere jagdliche Massnahmen in Schwerpunktbejagungsgebieten und insbesondere die Umsetzung jagdlicher Massnahmen in Wildschutzgebieten müssen zwingend durch ein **zielführendes Monitoring** begleitet werden. Nur so lässt sich eine objektive Erfolgskontrolle bewerkstelligen und die Nachhaltigkeit von Eingriffen auch längerfristig belegen.

6 Dank

Wir bedanken uns herzlich bei unserem Hauptauftraggeber, dem Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Biodiversität und Landschaft, für den Forschungsauftrag und die sehr angenehme und konstruktive Begleitung.

Andere Partnerinstitutionen haben das Forschungsprogramm in den verschiedenen Projektregionen ebenfalls massgeblich unterstützt und ermöglicht, es zu vervollständigen und unsere Kenntnisse zu erweitern:

ZHAW: Wir bedanken uns herzlich bei unseren Auftraggebern Fischerei- und Jagdverwaltung Zürich, Abteilung Wald Zürich, Abteilung Wald Aargau und Wildnispark Zürich für die grosszügige Projektunterstützung. Danken möchten wir auch dem Tierspital Zürich für die Unterstützung im veterinärmedizinischen Bereich. Den lokalen JägerInnen und Jagdgesellschaften danken wir für die wertvolle Unterstützung bei der Aufgleisung des Wildtierkameranonitorings und bei den Rothirsch-Besenderungen.

HAFL: Wir bedanken uns an dieser Stelle herzlich bei den Verantwortlichen vom Jagdinspektorat des Kantons Bern, dem Amt für Wald, Jagd und Fischerei des Kantons Solothurn sowie der Abteilung Wald, Sektion Jagd und Fischerei des Kantons Aargau für die zusätzliche finanzielle und ideelle Unterstützung des Projekts. Besonders danken möchten wir den zahlreichen Personen, die uns im Feld und v.a. bei den Fängen und Besenderungen der Rothirsche tatkräftig unterstützt haben, darunter insbesondere den Wildhütern und freiwilligen Jagdaufsehern des Kantons Bern, sowie den Mitarbeitenden und involvierten Jägern der Kantone Solothurn und Aargau. Für die veterinärmedizinische Unterstützung danken wir den Mitarbeitenden des Instituts für Fisch- und Wildtiergesundheit FIWI der Universität Bern. Ebenso wollen wir uns bei unseren ehemaligen Arbeitskollegen/innen bedanken, welche uns im Rahmen früherer Rothirsch-Besenderungen in der Region unterstützten.

HEPIA: nous tenons à remercier vivement la Direction générale de l'environnement du canton de Vaud, ainsi que le Service des forêts et de la nature du canton de Fribourg pour leur soutien lors de notre projet et la mise à disposition d'une partie des pièges-photographiques utilisés. Notre gratitude va également au canton de Genève qui a accepté de mettre à disposition les données GPS issues des suivis de cerfs réalisés dans le canton.

Verschiedene Studierende und Praktikanten/innen haben einen Teil der Feldarbeiten, der Bildauswertung von den Wildtierkameras und der Analysen getätigt. Wir möchten sie hiermit herzlich verdanken:

ZHAW: Valerie Arnaldi, Oliver Bär, Ramon Keller, Gilgia Nauser, Melina Oldorf, Gioele Pinana.

HAFL: Luca Berera, Lina Bonafiglia, Nico Hofmann, Michael Lindegger, Giovanni Mengotti, Joel Murpf.

HEPIA: Adelin Collette, Marilou Détraz, Tristan de Harlé, Alexandre Federici, Jacinthe Grima, Amélie Juckler, Pierre Kiescoms, Emma Orban, Emilie Valentinelli.

7 Literaturverzeichnis

- Anantharaman R., Hall K., Shah V.S. & Edelman A. (2020). Circuitscape in Julia: High Performance Connectivity Modelling to Support Conservation Decisions. The Nature Conservancy. P. JuliaCon Proceedings 1(1): 58.
- Arlettaz R., Patthey P., Baltic M., Leu T., Schaub M., Palme R. & Jenni-Eiermann S. (2007). Spreading free-riding snow sports represent a novel serious threat for wildlife. Proceedings of the Royal Society B – Biological Sciences 274: 1219–1224.
- B+S AG Righetti A. & Eicher C. (2021). Erfolg von Wildtiermassnahmen entlang von Verkehrsträgern. Forschungsprojekt VSS 2017/228, Bundesamt für Strassen ASTRA.
- Benhamou S. (2011). Dynamic approach to space and habitat use based on biased random bridges. PLoS ONE.
- Berera L. (2021). Caractérisation des habitats diurnes du cerf dans le Plateau central. Travail de semestre. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, Berner Fachhochschule, Zollikofen.
- Bötsch Y., Tablado Z. & Jenni L. (2017). Experimental evidence of human recreational disturbance effects on bird-territory establishment. Proceedings of the Royal Society B – Biological Sciences 284: 20170846.
- Bötsch Y., Tablado Z., Scherl D., Kéry M., Graf R.F. & Jenni L. (2018). Effect of recreational trails on forest birds: human presence matters. Frontiers in Ecology and Evolution 6: 175.
- Boschung O. & Fischer C. (2020). Gestion des écoponts du bassin genevois. HEPIA
- Calenge C. (2015). Home range estimation in R: the adehabitatHR package.
- Détraz M. & Fischer C. (2022). Impacts des clôtures et autres barrières sur les déplacements du cerf élaphe. HEPIA
- Federici A. & Fischer C. (2020). Evaluation de la connectivité fonctionnelle et de la probabilité de colonisation du Plateau par l'espèce cerf (*Cervus elaphus*). HEPIA
- Fischer C. & Ranzoni J. (2017). Evaluation de la fonctionnalité des corridors de déplacement du cerf dans le bassin genevois. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 168(6): 299–304.
- Fischer C., Urbina L. & Huber L. (2018). Utilisation de la trame noire par le cerf (*Cervus elaphus*) dans le contexte du bassin genevois. Rapport interne HEPIA.
- Fischerei- und Jagdverwaltung Zürich (2013). Merkblatt Fotofallen. https://www.zh.ch/content/dam/zhweb/bilder-dokumente/themen/umwelt-tiere/tiere/fischerei-und-jagd/jagd/fachinformationen_fuer_jagdberechtigte/informationen_fuer_jagdberechtigte/merkblatt_fotofallen.pdf
- Foltête J.C., Vuidel G., Savary P., Clauzel C., Sahraoui Y., Girardet X. & Bourgeois M. (2021). Graphab: An application for modeling and managing ecological habitat networks. Softw. Impacts 8, 100065. doi:10.1016/j.simpa.2021.100065
- Graf O. (2018). Freizeitaktivitäten in der Natur. Studie im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU) und des Vereins Natur & Freizeit. Bern, 174 S.
- Graf R.F., Signer C., Reifler-Bächtiger M., Wytttenbach M., Sigrist B. & Rupf R. (2018). Wildtier und Mensch im Naherholungsraum. Swiss Academies Factsheets 13(2): 1–8.
- Grima J. & Fischer C. (2023). Modélisation de l'habitat favorable au cerf (*Cervus elaphus*) en Suisse. Première étape dans l'élaboration d'un modèle de connectivité. UNIGE.
- Haller H., Eisenhut A. & Haller R. (2013). Atlas des Schweizerischen Nationalparks – Die ersten 100 Jahre. Nationalpark-Forschung in der Schweiz 99/1. Haupt Verlag.

- Hepenstrick D., Thiel D., Holderegger R. & Gugerli F. (2012). Genetic discontinuities in roe deer (*Capreolus capreolus*) coincide with fenced transportation infrastructure. *Basic and Applied Ecology* 13: 631–638.
- Holenstein N. (2023). Verhalten von Wildtieren an Bahnstrecken mit und ohne bioakustischer Wildwarner. Masterarbeit ETH Zürich.
- Hummel S., Boldt A., Bieri Willisch K. & Willisch C. (2014). Der Rothirsch kehrt ins Mittelland zurück – Charakterisierung von Tageslagern im Sommereinstandsgebiet. *Mitteilungen Naturforschende Gesellschaft Bern* 71(13): 147–169.
- Ingold P. (2005). Freizeitaktivitäten im Lebensraum der Alpentiere. Hauptverlag, Bern.
- Jaeger J.A.G., Bertiller R., Schwick C., Müller K., Steinmeier C., Ewald K.C. & Ghazoul J. (2008). Implementing landscape fragmentation as an indicator in the Swiss monitoring management and planning in matrix-sensitive species. *Environ. Manag.* 58: 130–143. doi:10.1007/s00267-016-0698-y
- Jenny H. (2023). 40 Jahre Jagdplanung in Graubünden – von der Krise zur Nachhaltigkeit. Schweizer Jäger, August 2023.
- JFK Jagd- und Fischereiverwalterkonferenz (2022). Empfehlungen der JFK zur Jagdplanung Rothirsch Schweiz. Erstfassung von Dominik Thiel, Adrian Arquint, Hannes Jenny und Sven Wirthner, strukturiert und inhaltlich ergänzt durch Nicole Imesch.
- Keeley A.T.H., Beier P. & Gagnon J.W. (2016). Estimating landscape resistance from habitat suitability: Effects of data source and nonlinearities. *Landscape Ecology* 31: 2151–2162. doi:10.1007/s10980-016-0387-5
- Kirchenbaur T., Brockhaus F., Ehrhart S., Fechter D., Kröschel M. & Suchant R. (2023). Wissensbasiertes Rotwildmanagement Baden-Württemberg – Kurzbericht. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg FVA.
- Kiesecoms P. & Gosselin M. (2023). Impacts des clôtures sur la fonctionnalité des corridors de déplacement du cerf élaphe (*Cervus elaphus* L.) au sein du bassin genevois. HEPH Condorcet, Belgique.
- Lamprecht M., Bürgi R. & Stamm H. (2020). Sport Schweiz 2020. Sportaktivität und Sportinteresse der Schweizer Bevölkerung. Schweizer Sportobservatorium c/o Lamprecht & Stamm Sozialforschung und Beratung AG.
- Lichtenberg C. (2021). Red deer in sprawled landscapes. Migratory routes and landscape permeability in Solothurn. Case study. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, Berner Fachhochschule, Zollikofen.
- McClure, M. L., Hansen, A. J., & Inman, R. M. (2016). Connecting models to movements: testing connectivity model predictions against empirical migration and dispersal data. *Landscape Ecology* 31: 1419–1432.
- Mumme S., Middleton A., Ciucci P., De Groeve J., Corradini A., Aikens E.O., Ossi F., Atwood P., Balkenhol N., Cole E. K., Debeffe L., Dewey S.R., Fischer C. & all. (2023). Wherever I may roam – Human activity alters movements of red deer (*Cervus elaphus*) and elk (*Cervus canadensis*) across two continents. *Glob Change Biol.* 2023;29: 5788–5801.
- Murpf J (2021). Rotwild – Ackerkulturen als Habitat. Räumliches Verhalten vom Rotwild im dicht besiedelten und intensiv genutzten Mittelland. Semesterarbeit. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, Berner Fachhochschule, Zollikofen.
- Nams V.O. (2004). Using animal movement paths to measure response to spatial scale. *Oecologia* 143 : 179–188.
- Orban E. & Fischer C. (2019). Evaluation de la connectivité du paysage dans le bassin genevois par suivi de la fonctionnalité d'un corridor écologique d'importance régionale. Université de Reims Champagne-Ardenne et HEPIA.

- Pelletier D., Clark M., Anderson M.G., Rayfield B., Wulder M.A. & Cardille J.A. (2014). Applying Circuit Theory for Corridor Expansion and Management at Regional Scales: Tiling, Pinch Points, and Omnidirectional Connectivity. *PLoS ONE* 9(1): e84135. doi:10.1371/journal.pone.0084135
- Price B., Huber N., Nussbaumer A. & Ginzler C. (2023). The Habitat Map of Switzerland: A Remote Sensing, Composite Approach for a High Spatial and Thematic Resolution Product. *Remote Sens.* 2023, 15, 643. <https://doi.org/10.3390/rs15030643>
- Ranzoni J. (2017). Pollution lumineuse et réseau écologique nocturne – Proposition d’une méthode de cartographie à l’échelle du bassin genevois. Mémoire de Certificat Complémentaire de Géomatique, Institut des sciences de l’environnement, Université de Genève.
- Ryser A., Scholl M., Zwahlen M., Oetliker M., Ryser-Degorgis M.-P. & Breitenmoser U. (2005). A remote-controlled teleinjection system for the low-stress capture of large mammals. *Wildlife Society Bulletin* 33: 721–730.
- Signer C., Fischer C. & Willisch C. (2019). Rothirsch im Schweizer Mittelland – Vorstudie zur Aufgleisung eines umfassenden Forschungsprogramms. Erstellt im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU. ZHAW Wädenswil, HEPIA Jussy & FIWI Bern.
- Signer C. & Willisch C. (2021). Kapitel Rothirsch. S. 306–309 in: Graf R.F. & Fischer C. (Hrsg.) *Atlas der Säugetiere – Schweiz und Liechtenstein*. SGW, Haupt Verlag.
- Signer C., Wirthner S., Sigrist B., Wellig S.D., Kämpfer D., Albrecht L. & Graf R.F. (2022). Rothirschprojekt Aletsch-Goms – Abschlussbericht zum Forschungs- und Managementprojekt 2017–2021. ZHAW Wädenswil, Kanton Wallis & Pro Natura.
- Sigrist B., Signer C., Wellig S.D., Ozgul A., Filli F., Jenny H., Thiel D., Wirthner S. & Graf R.F. (2022). Green-up selection by red deer in heterogeneous, human-dominated landscapes of Central Europe. *Ecology and Evolution* 12(7): e9048.
- Stephani A. & Suter S.M. (2022). Evaluation der akustischen Wildwarner im Bereich der SBB-Bahnlinie bei Schützen. Schlussbericht. WLS.CH GmbH im Auftrag der SBB.
- Suter S.M., Koch T., Stephani A., Reifler-Bächtiger M., Laube P., Ratnaweera N., Kaelin I., Wróbel A. & Graf R.F. (2021a). Prävention von Wildtierunfällen auf Strassenverkehrsinfrastrukturen. Forschungsprojekt VSS 2015/12, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW, Bundesamt für Strassen ASTRA.
- Suter S.M., Reifler-Bächtiger M., Koch T., Stephani A., Laube P., Ratnaweera N., Kaelin I., Wróbel A. & Graf R.F. (2021b). Praxishilfe zur Prävention von Wildtierunfällen auf Verkehrsinfrastrukturen. Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen IUNR, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW.
- Thiel D., Jenni-Eiermann S., Braunisch V., Palme R. & Jenni L. (2008). Ski tourism affects habitat use and evokes a physiological stress response in capercaillie *Tetrao urogallus*: a new methodological approach. *Journal of Applied Ecology* 45: 845–853.
- Thiel D., Signer C., Graf R.F., Wellig S., Nef U., Nigg H., Elmiger A. & Ammann A. (2018). Rothirsch in der Ostschweiz. Abschlussbericht des interkantonalen Forschungsprojekts in der Ostschweiz der Jahre 2014–2017.
- Urbina L., Fischer C., Ray N. & Lehmann A. (2023). Modeling red deer functional connectivity at a regional scale in a human-dominated landscape. *Front. Environ. Sci.* 11: 1198168.
- Urbina L., Lehmann A., Huber L. & Fischer C. [in-review]. Combining multi-species connectivity modelling with expert knowledge to inform the green infrastructure design.
- Valentinelli E. & Fischer C. (2022). Comportement des cervidés sur les tronçons de route équipés de réflecteurs. HEPIA.
- Willisch C., Bieri Willisch K., Boldt A. & Magun B. (2015). Ökologie und Verhalten des Rothirsches im Schweizer Mittelland – Schlussbericht. Erstellt im Auftrag vom Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Jagd & Fischerei Kanton Solothurn, Jagdinspektorat Kanton Bern. FaunAlpin GmbH, Bern.

Willisch C., Marreros N., Bieri K. & Boldt A. (2011) Rothirschförderung im Jurabogen mittels Übersiedlungen an der A1. Schlussbericht zuhanden des Bundesamtes für Umwelt (BAFU). FaunAlpin GmbH, Bern.

Willisch C., Marreros N., Bieri K. & Boldt A. (2011). Interkantonales Rothirsch-Projekt FR-BE-VD. Schlussbericht zuhanden der Kantone Freiburg, Bern & Waadt und des Bundesamtes für Umwelt (BAFU). FaunAlpin, Bern

Willisch C., Marreros N. & Grüter M. (2023) Potenzial für Lebensraumberuhigung im Projektgebiet des Wald-Wild-Konzepts Längwald basierend auf GPS-Daten besenderter Rothirsche. Bericht zuhanden Jagdinspektorat, Amt für Landwirtschaft und Natur, Kanton Bern. BFH-HAFL Zollikofen.

Willisch C., Marreros N., Schaufelberger L. & Pisano S. (2019a). Austausch von Rothirschen zwischen den Voralpen und dem Mittelland. Schlussbericht. Erstellt im Auftrag des Kantons Bern. Zentrum für Fisch- und Wildtiermedizin FIWI, Universität Bern.

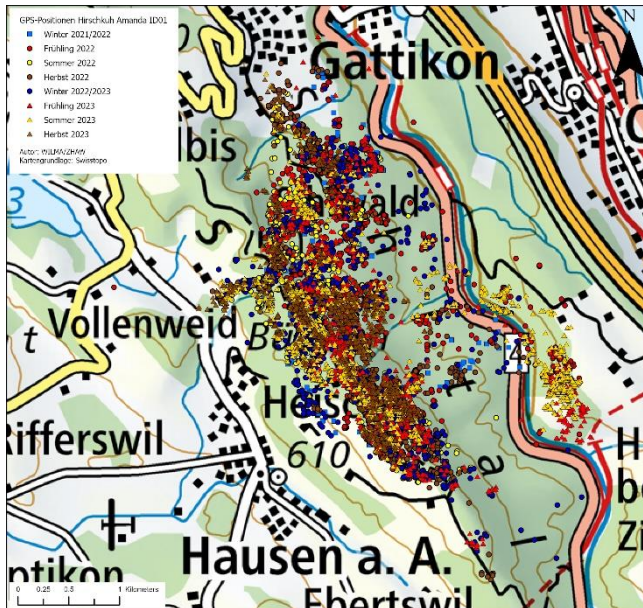
Willisch C., Marreros N., Schaufelberger L. & Pisano S. (2019b). Habitatwahl der Rothirsche im Mittelland. Schlussbericht. Erstellt im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt und des Kantons Solothurn. Zentrum für Fisch- und Wildtiermedizin FIWI, Universität Bern.

Worton B. (1989). Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range. *Ecology* 70: 164–168.

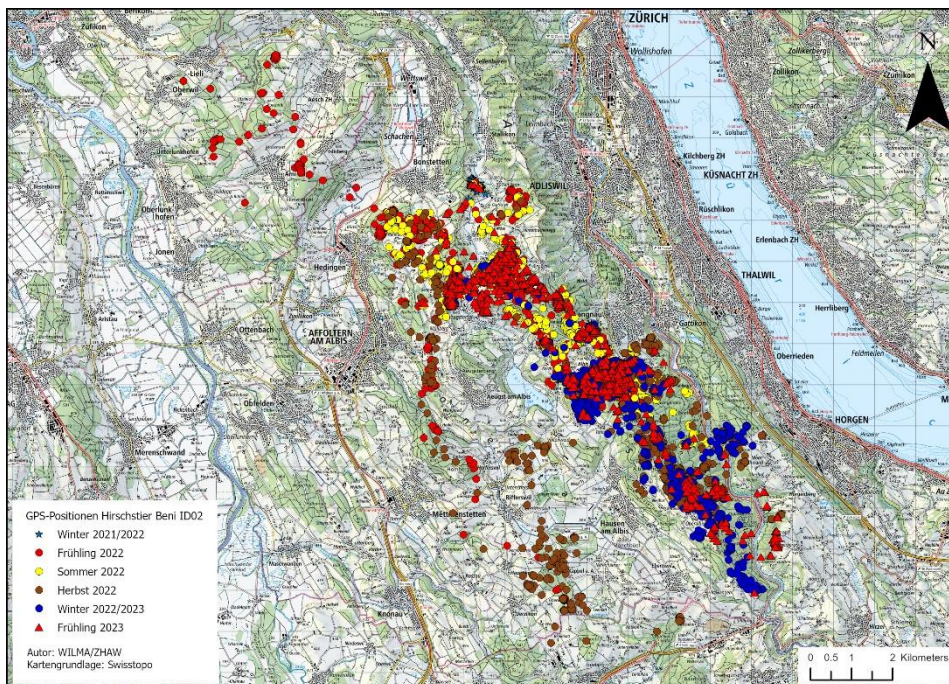
Zweifel-Schielly B., Kreuzer M., Ewald K.C & Suter W. (2009). Habitat selection by an Alpine ungulate: The significance of forage characteristics varies with scale and season. *Ecography* 32:103–113.

Anhang A: Ergänzendes Material Untersuchungsgebiet Albiskette/Reusstal (ZHAW)

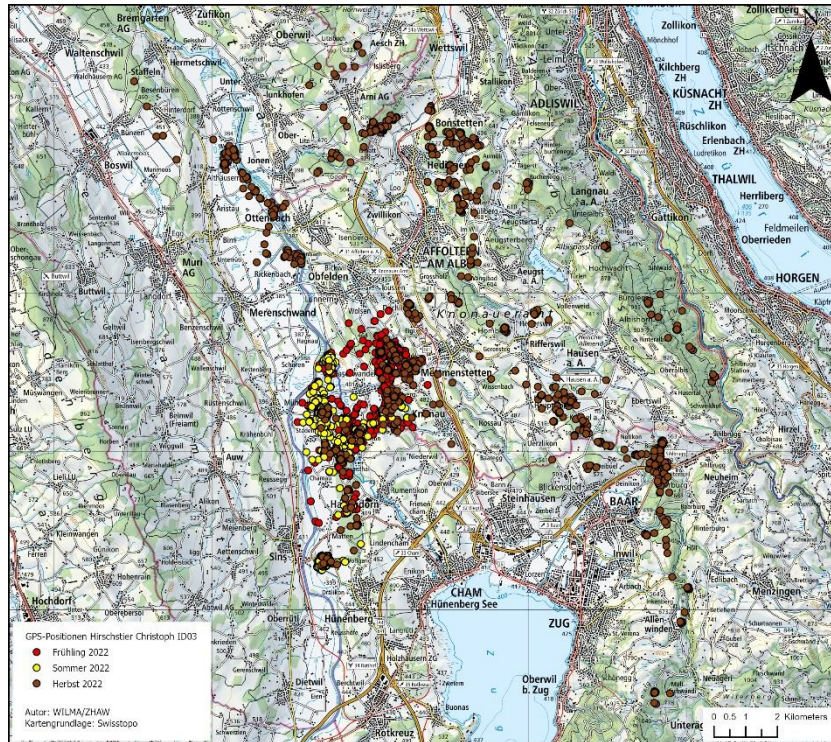
Anhang A1: Gesamtdatensatz der GPS-Positionen von Hirschkuh ID01 "Amanda", unterteilt in die verschiedenen Jahreszeiten und Jahre.



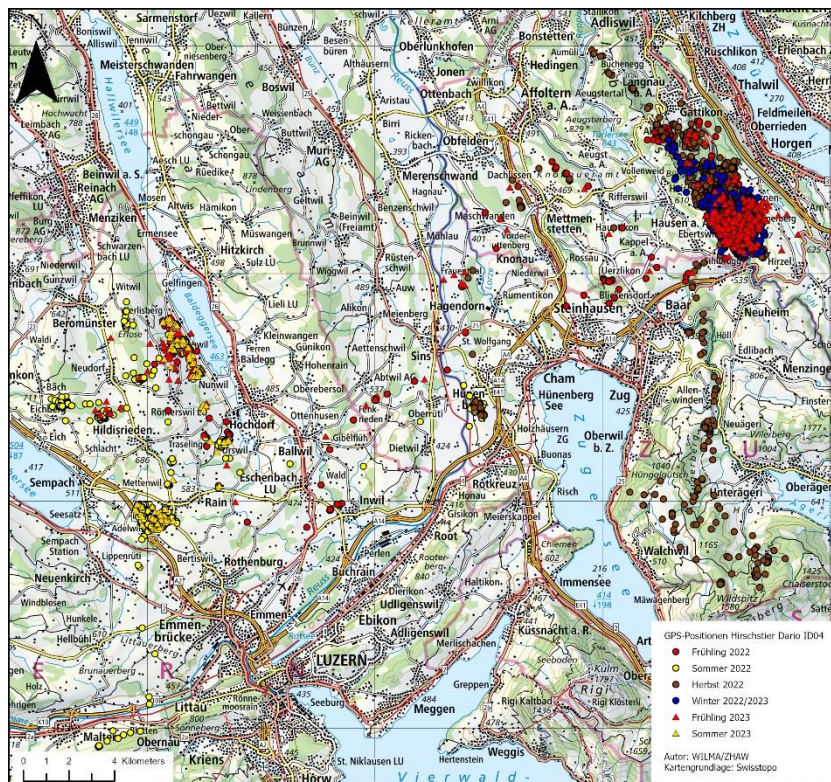
Anhang A2: Gesamtdatensatz der GPS-Positionen von Stier ID02 "Beni", unterteilt in die verschiedenen Jahreszeiten und Jahre.



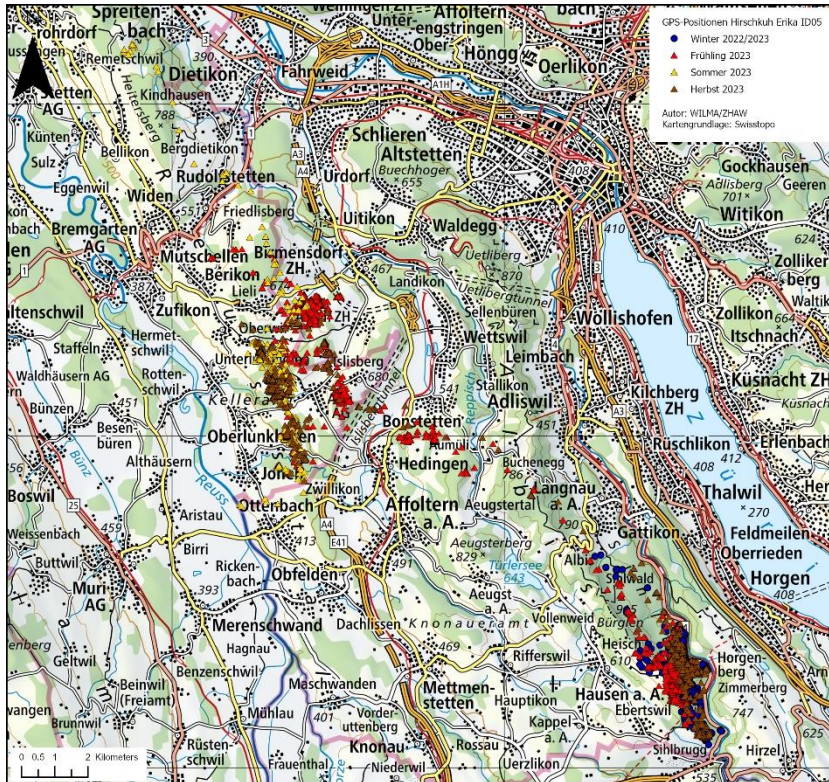
Anhang A3: Gesamtdatensatz der GPS-Positionen von Stier ID03 "Christoph", unterteilt in die verschiedenen Jahreszeiten.



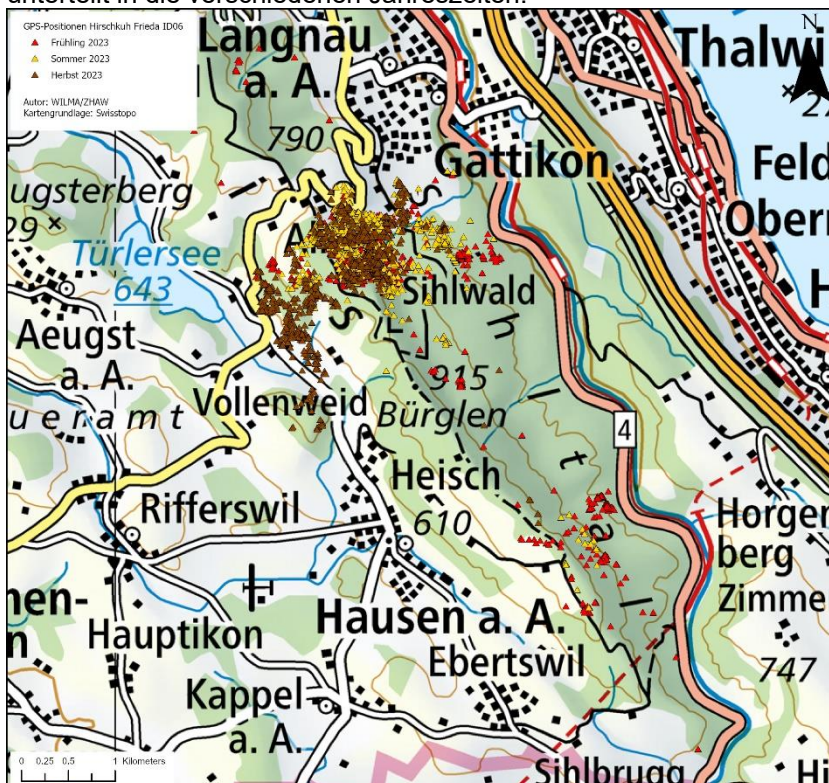
Anhang A4: Gesamtdatensatz der GPS-Positionen von Stier ID04 "Dario", unterteilt in die verschiedenen Jahreszeiten und Jahre.



Anhang A5: Gesamtdatensatz der GPS-Positionen von Hirschkuh ID05 "Erika", unterteilt in die verschiedenen Jahreszeiten und Jahre.

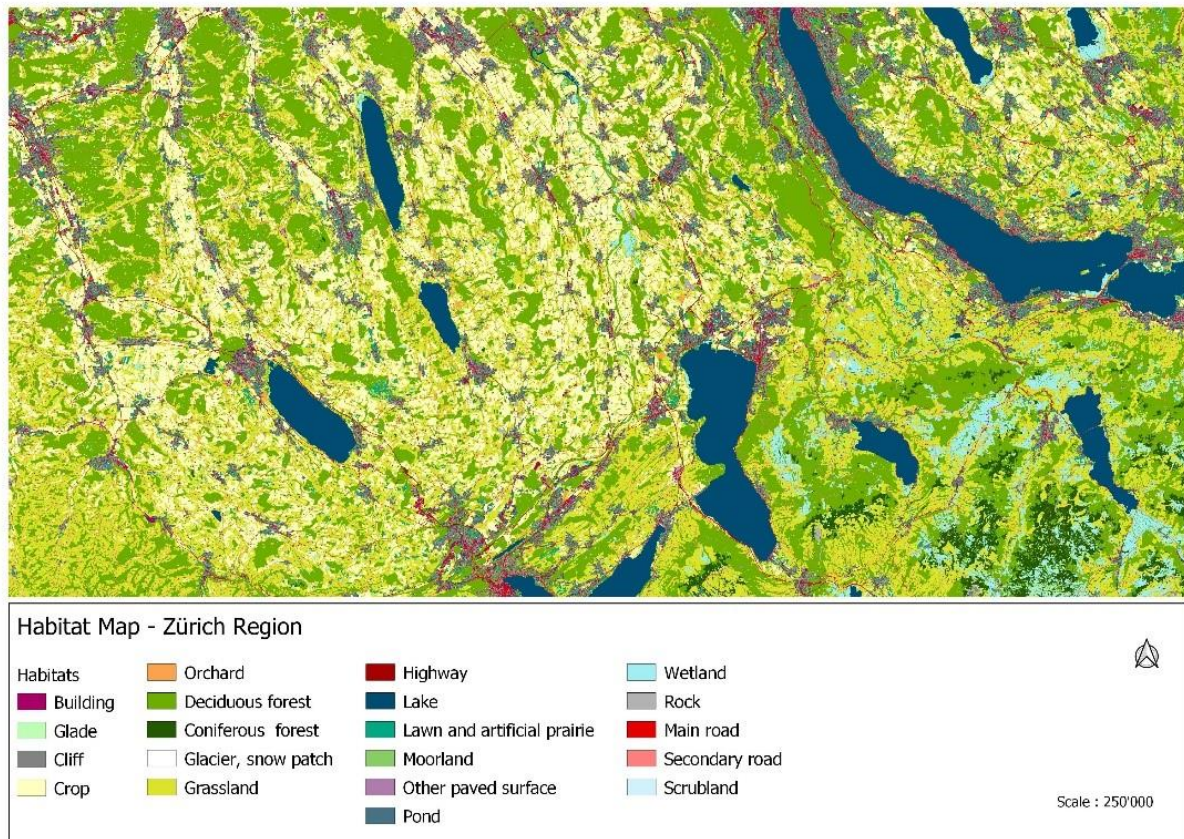


Anhang A6: Gesamtdatensatz der GPS-Positionen von Hirschkuh ID06 "Frieda", unterteilt in die verschiedenen Jahreszeiten.

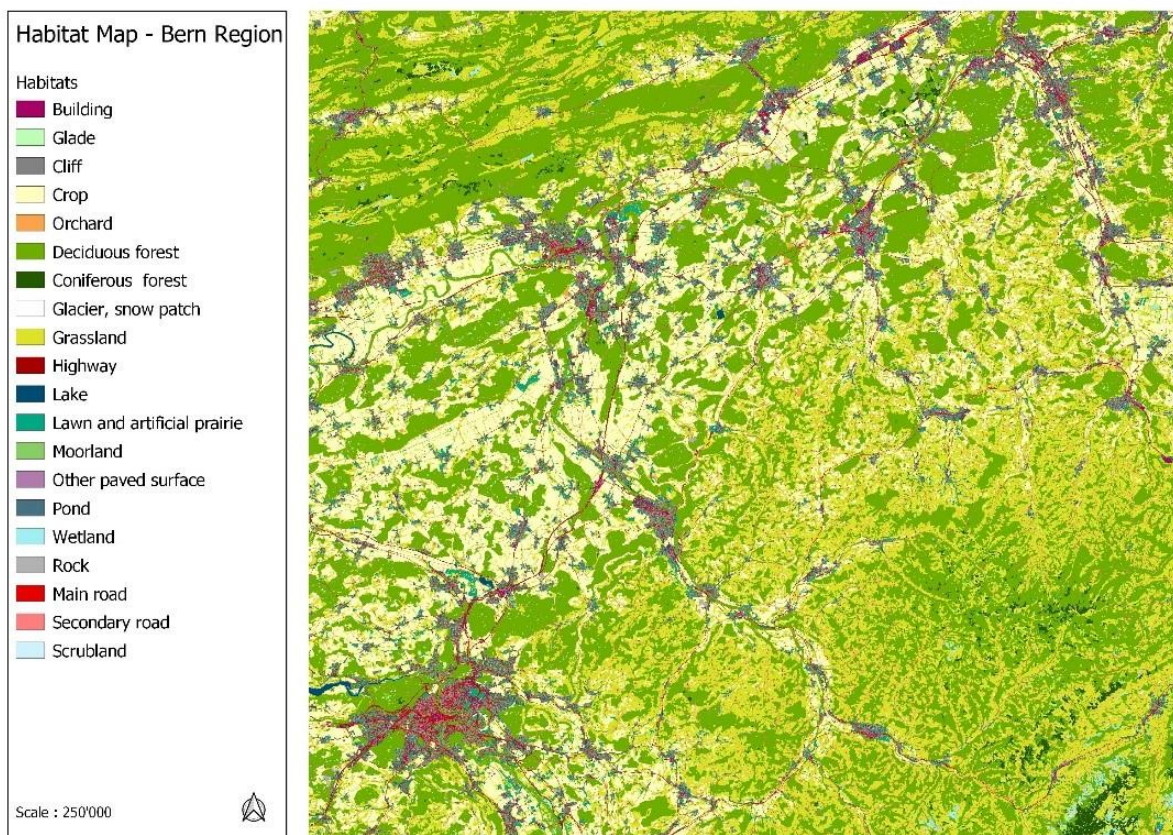


Anhang B: Ergänzendes Material Untersuchungsgebiet Westschweiz (HEPIA)

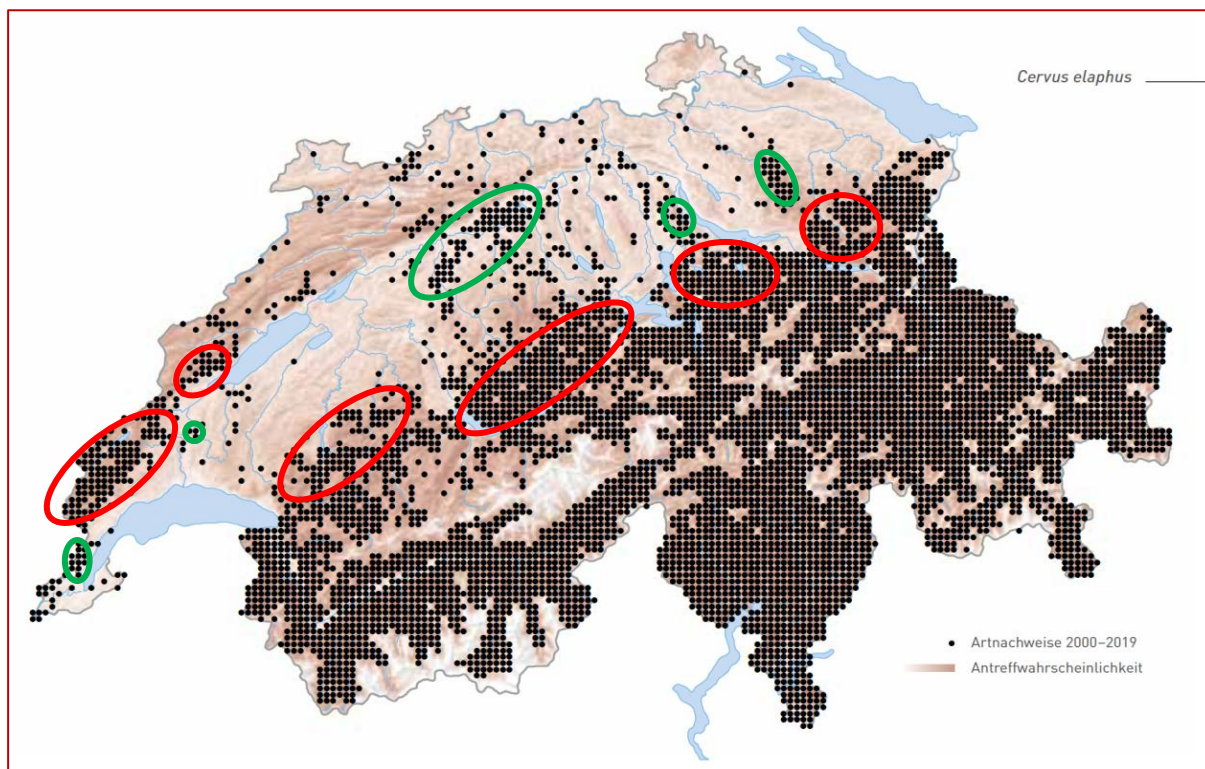
Anhang B1: Habitatkarte, Zoom auf das Untersuchungsgebiet Westschweiz.



Anhang B2: Habitatkarte, Zoom auf das Untersuchungsgebiet Zentrales Schweizer Mittelland.



Anhang B3: Verteilungskarte des Rothirschs mit Lokalisierung der Hauptquellpopulationen (rot: um das Mittelland, grün: im Mittelland; Quelle: Atlas der Säugetiere; siehe Signer & Willisch 2021).



Anhang C: Grösse der BRBK-Streifgebiete

Anhang C: Ganzjahres und saisonale 95%-BRBK-Streifgebietsgrössen pro Individuum und Untersuchungsgebiet (in km²).

Untersuchungsgebiet	Individuum	Geschlecht	Ganzjahr	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
BE-SO-AG-LU	Bea	f	12.3	11.1	3.3	7.3	5.5
BE-SO-AG-LU	Eika	f	15.2	17.4	2.0	4.1	8.5
BE-SO-AG-LU	Eiya	f	12.3	11.0	5.9	9.1	8.8
BE-SO-AG-LU	Hope	f	12.9	9.4	2.0	7.4	10.3
BE-SO-AG-LU	Joba	f	28.7	20.0	6.4	23.3	13.3
BE-SO-AG-LU	Kaja	f	13.6	6.4	0.9	11.3	6.9
BE-SO-AG-LU	Ruma	f	23.5	21.3	6.6	18.3	9.9
BE-SO-AG-LU	Sala	f	19.3	28.4	6.7		
BE-SO-AG-LU	Wika	f	31.9	29.0	15.6	17.1	13.3
BE-SO-AG-LU	Xina	f	11.6	4.5	10.6		
BE-SO-AG-LU	Zima	f	6.2	7.4	1.1	1.9	6.4
GE-VD-F	Bibiche	f	18.0	19.9	4.5	12.4	9.4
GE-VD-F	Biolina	f	9.0	7.7	5.3	3.9	6.2
GE-VD-F	Cocotte	f	13.3	12.4	2.8	10.3	8.0
GE-VD-F	Fabiola	f	8.3	7.8	7.3	5.6	6.6
GE-VD-F	Fabiolle	f	5.4	4.7	4.5	4.0	4.5
GE-VD-F	Julie	f	9.4	8.4	7.8	5.9	6.0
GE-VD-F	Neige	f	7.5	8.0	6.3	5.5	6.0
GE-VD-F	Rouphie	f	7.9	6.8	4.9	3.9	5.2
GE-VD-F	Fernanda	f	12.4	12.5	5.4	7.8	4.7
GE-VD-F	Biola	f	10.2	9.7	1.3	5.2	6.9
GE-VD-F	Victiore	f	7.0	7.5	5.2	5.1	5.6
GE-VD-F	Richesse	f	5.5	5.0	5.1	1.7	1.6
ZH-AG-ZG-LU	Amanda	f	5.5	4.9	3.7	4.4	5.4
ZH-AG-ZG-LU	Erika	f	4.6	3.4			
ZH-AG-ZG-LU	Frieda*	f					
BE-SO-AG-LU	Aiko	m	56.5	31.9	5.6	32.3	31.2
BE-SO-AG-LU	Ardy	m	34.9	28.5	7.9	33.5	
BE-SO-AG-LU	Arvi	m	28.1	45.8	2.8		
BE-SO-AG-LU	Bajo	m	25.5	21.4	9.0	22.0	14.6
BE-SO-AG-LU	Bube	m	22.6	24.4	7.2	1.2	

BE-SO-AG-LU	Bubu	m	25.6	25.6			
BE-SO-AG-LU	Flick	m	18.9	8.0	9.0	11.6	12.2
BE-SO-AG-LU	Foro	m	20.3	4.3	4.9	23.5	
BE-SO-AG-LU	Rody	m	37.2	22.8	5.9	27.9	24.1
BE-SO-AG-LU	Sami	m	68.5	47.9	27.2	24.9	20.0
BE-SO-AG-LU	Sipe	m	34.5	27.6	5.1	11.9	24.7
BE-SO-AG-LU	Yano	m	10.6	10.1			
GE-VD-F	Baron	m	15.2	8.3	2.4	19.3	6.4
GE-VD-F	Collioud	m	16.9	9.8	3.7	12.5	14.0
GE-VD-F	Courtois	m	16.0	10.6	3.1	16.8	6.1
GE-VD-F	Daille	m	18.4	3.4	2.9	24.5	13.7
GE-VD-F	Junior	m	17.6	9.5	3.8	12.1	10.7
GE-VD-F	Miolan	m	21.4	8.0	5.0	16.8	15.0
GE-VD-F	Obelix	m	34.1	24.9	7.6	16.3	18.2
GE-VD-F	Prince	m	26.5	16.7	12.9	14.7	8.6
GE-VD-F	Tictac	m	10.5	11.4	2.1		
GE-VD-F	Titan	m	14.8	6.6	3.4	15.5	4.0
GE-VD-F	Richard	m	2.7			2.5	
GE-VD-F	Tirion*	m					
ZH-AG-ZG-LU	Beni	m	23.6	17.5	11.5	21.9	10.8
ZH-AG-ZG-LU	Christoph	m	39.2	8.9	4.9	60.2	
ZH-AG-ZG-LU	Dario	m	28.5	15.6	12.4	24.0	5.7

* für diese Hirsche waren an <45 Tagen Positionsdaten vorhanden, so dass die Ermittlung der Streifgebietsgrössen nicht möglich war.