EFFEKTIVITÄT VON OPTISCHEN WILD-UNFALLPRÄVENTIONSMASSNAHMEN

Untersuchung zur Wirksamkeit von Wildunfall-präventionsmaßnahmen mit Fokus auf dem blauen Halbkreisreflektor

Projektbericht

Forstliche Versuchs-
und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg

Effektivität von optischen Wildunfallpräventionsmaßnahmen

Projektbericht zur Untersuchung der Wirksamkeit von Wildunfall-präventionsmaßnahmen mit Fokus auf dem blauen Halbkreisreflektor (2009-2014)

Falko Brieger, Max Kröschel, Robert Hagen, Jim-Lino Kämmerle, Rudi Suchant

Projektzeitraum: 2009 – 2014

Das Projekt wurde aus finanziellen Mitteln der Landesjagdabgabe ermöglicht.

FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG
ABTEILUNG WALD UND GESELLSCHAFT | FACHBEREICH WILDTIERÖKOLOGIE
2019

Zitiervorschlag

Brieger, F., Kröschel, M., Hagen, R., Kämmerle, J.-L., Suchant, R. (2019): Effektivität von optischen Wildunfallpräventionsmaßnahmen - Untersuchung der Wirksamkeit von Wildwarnreflektoren mit Fokus auf dem blauen Halbkreisreflektor (2009-2014). Projektbericht, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg. 142 Seiten.

pdf- Version 1.4

Impressum

Titelfoto: Klaus Echle

Herausgeberin:
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg
Abteilung Wald und Gesellschaft, Fachbereich Wildtierökologie
Wonnhaldestraße 4
79100 Freiburg

Alle Rechte, insbesondere das Recht zur Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung vorbehalten.

Danksagung

Unser herzlicher Dank gilt allen Kolleginnen und Kollegen des Fachbereiches Wildtierökologie sowie allen Praktikantinnen und Praktikanten, Studentinnen und Studenten und Fachleuten, die uns geholfen haben, dieses Projekt durchzuführen und fertigzustellen. Dem Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung danken wir für die Kooperation und Unterstützung. Ein ganz besonderer Dank gilt den Jägerinnen, Jägern und den Revierleitern im Untersuchungsgebiet, die das Projekt mit ihrer Ortskenntnis und Hilfe sowie ihren Erfahrungen unterstützt haben.

Wir danken für die finanzielle Unterstützung aus Mitteln der Landesjagdabgabe Baden-Württemberg.

INHALTSVERZEICHNISS

1 ZUSAMMENFASSUNG 1

2 SUMMARY 3

3 EINLEITUNG 5

3.1 PRÄVENTIONSMASSNAHMEN 6
3.2 WILDWARNREFLEKTOREN 6
3.2.1 Wildwarnreflektoren mit Spiegelelementen 6
3.2.2 Wildwarnreflektoren mit retroreflektierender Folie 7
3.3 WIRKUNGSWEISE VON WILDWARNREFLEKTOREN 8

4 STAND DER FORSCHUNG 9

4.1 WISSENSCHAFTLICHE STUDIEN 9
4.1.1 Verhaltensstudien zu Wildwarnreflektoren 9
4.1.2 Untersuchungen von Wildunfallzahlen 10
4.2 FAZIT 11

5 ÜBERSICHT PROJEKTMODULE SOWIE FRAGESTELLUNG 13

6 QUERUNGSVERHALTEN IM STRASSENBEREICH (MODUL 1) 14

6.1 METHODE 14
6.1.1 Untersuchungsgebiete 14
6.1.2 Verkehrszählung und Verkehrsvolumen 18
6.1.3 Rehfang und Telemetrie 18
6.1.4 Ausbringen der Wildwarnreflektoren 21
6.1.5 Bereinigung der GPS-Daten 23
6.1.6 Raumnutzung der Rehe im Straßenrandbereich und Querungsverhalten 23
6.1.7 Einfluss der Reflektoren auf die Häufigkeit von Straßenquerungen 24
6.1.8 Einfluss der Reflektoren auf den Zeitpunkt von Straßenquerungen 25
6.1.9 Wildunfälle 26
6.2 ERGEBNISSE DES PROJEKTMODULS 26
6.2.1 Verkehrsaufkommen 26
6.2.2 Raumnutzung der Rehe im Straßenrandbereich und Querungsverhalten 30
6.2.3 Einfluss der Reflektoren auf die Häufigkeit von Straßenquerungen 38
6.2.4 Einfluss der Reflektoren auf den Zeitpunkt von Straßenquerungen 39
6.2.5 Wildunfälle 41
6.3 DISKUSSION UND BEWERTUNG 43

7 VERHALTENSBEOBACHTUNG AM STRASSENRAND (MODUL 2) 45

7.1 UNTERSUCHUNGSGEBIET 46

7.2 METHODE 47
7.2.1 Kameratechnik 47
7.2.2 Verhaltensklassifikation 48
7.3 AUSWERTUNG 49
7.4 ERGEBNISSE DES PROJEKTMODULS 49
7.5 DISKUSSION UND BEWERTUNG 53

8 EXPERIMENTELLE WILDWARNREFLEKTORVERSUCHE (MODUL 3) 55
8.1 METHODE 55
8.1.1 Versuchsaufbau 55
8.1.2 Verhaltensklassifikation 59
8.2 AUSWERTUNG 60
8.3 ERGEBNISSE DES PROJEKTMODULS 60
8.4 DISKUSSION UND BEWERTUNG 62

9 LICHTTECHNISCHE ÜBERPRÜFUNG VON WILDWARNREFLEK-TOREN (MODUL 4) 64
9.1 METHODE 64
9.2 ERGEBNISSE DES PROJEKTMODULS UND BEWERTUNG 67

10 LICHTWAHRNEHMUNG VON REHEN (MODUL 5) 68
10.1 METHODE 68
10.2 AUSWERTUNG 70
10.3 ERGEBNISSE DES PROJEKTMODULS 70
10.4 DISKUSSION UND BEWERTUNG 72

11 SYNTHESE PROJEKTERGEBNISSE 73

12 LITERATUR 75

13 ANHANG 80
13.1 QUERUNGSVERHALTEN IM STRASSENBEREICH (MODUL 1) 80
13.2 VERHALTENSBEOBACHTUNG AM STRASSENRAND (MODUL 2) 132
13.3 EXPERIMENTELLE WILDWARNREFLEKTORVERSUCHE (MODUL 3) 133
13.4 LICHTTECHNISCHE ÜBERPRÜFUNG VON WILDWARNREFLEKTOREN (MODUL 4) 134
13.5 LICHTWAHRNEHMUNG VON REHEN (MODUL 5) 135

1 ZUSAMMENFASSUNG

Jedes Jahr werden rund 260.000 Wildtiere durch Verkehrsunfälle getötet, wobei das Reh mit ca. 85 % am häufigsten von Wildunfällen betroffen ist. Im Durchschnitt ereignet sich bundesweit alle 2 Minuten ein Wildunfall, wobei die Dunkelziffer deutlich höher sein dürfte, da viele Unfälle nicht gemeldet werden. Alle bundesweit erfassten Wildunfälle erzeugen mittlerweile jährlich alleine Sachschäden von mehr als 740 Millionen Euro, die von den deutschen Versicherungsgesellschaften reguliert werden.

Wildwarnreflektoren sind eine der am häufigsten angewandten Wildunfallpräventionsmaßnahmen. Im Verlauf der letzten Jahrzehnte kam eine Vielzahl an Wildwarnreflektoren auf den Markt, die laut Hersteller eine Reduzierung der Wildunfälle versprechen. Besonders blaue Wildwarnreflektoren sollen aufgrund ihrer Farbe wirksam Wildunfälle verhindern. Bisher erfolgte die Bewertung der Wirksamkeit von Wildwarnreflektoren fast ausschließlich über die Erfassung der Wildunfallzahlen mit konträren Untersuchungsergebnissen. Studien, die Verhaltensreaktionen von Wildtieren direkt untersuchen, fehlten bisher in Deutschland. Die Frage, ob Wildwarnreflektoren nach der Ausbringung das Verhalten von Wildtieren in Straßennähe bzw. bei der Straßenquerung verändern und es dadurch zu weniger Unfällen kommt, wurde in einem fünfjährigen Pilotprojekt durch die Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) Baden-Württemberg erforscht. Das Forschungsprojekt untersuchte bei Rehen, ob 1. die Lichtreize des blauen Halbkreisreflektors zur Minimierung von unfallrelevanten Verhalten führt und 2. die Farbe Blau eine „Warnfarbe“ darstellt wie von Seiten der Hersteller beworben wird.

1. Ob Rehe ihr Verhalten bei Präsenz von blauen Halbkreisreflektoren verändern, wurde sowohl im Freiland in Verbindung mit Straßenverkehr an fünf Straßenabschnitten in Baden-Württemberg als auch unter kontrollierten Gehegebedingungen in Kooperation mit dem Institut für Zoo- und Wildtierforschung (IZW) in Berlin untersucht. Die Freilanduntersuchung erfolgte mittels Wärmebildkameras, die in 16.000 Stunden Videomaterial 1.091 Reh-Fahrzeugereignisse lieferten, bei denen das Verhalten der Rehe auf ein herannahendes Fahrzeug untersucht werden konnte. Die Verhaltensänderung der Rehe beim Herannahen des Fahrzeugs wurde in i) keine Verhaltensänderung, ii) Sicherungsverhalten, iii) Fortbewegung und iv) Fluchtreaktion klassifiziert und der Einfluss unterschiedlicher Variablen untersucht. Es zeigte sich, dass die Nähe der Rehe zur Straße entscheidend dafür ist, wie stark die Tiere auf herannahende Fahrzeuge reagierten. Befanden sie sich unmittelbar an der Straße, zeigten sie am häufigsten Flucht- oder Sicherungsverhalten. Dieses nahm mit Abstand zur Straße ab. Weiter zeigten die Verhaltensbeobachtungen, dass das Flucht- und Sicherungsverhalten von der Art des Fahrzeuges abhängt und Tiere bei größeren Fahrzeugen (Bussen oder Lastwagen) stärker reagierten. Durch das Ausbringen der blauen Halbkreisreflektoren konnte keine Verhaltensänderung beim Sicherungs-, Fortbewegungs- und Fluchtverhalten beobachtet werden– die Reflektoren hatten somit keinen Effekt auf das Verhalten der Tiere. Die Reaktionen von Rehen auf blaue Halbkreisreflektoren wurden auch im Gehege unter kontrollierten Bedingungen an 33 Tieren getestet. Sowohl männliche als auch weibliche Tiere reagierten auch hier nicht auf den Lichtreiz der Reflektoren, so dass die Ergebnisse der Freilanduntersuchungen bestätigt wurden.

Darüber hinaus wurde mit Hilfe von GPS-Telemetriesendern die Raumnutzung von 46 Rehen über mehrere Jahre dokumentiert und untersucht, ob es nach Installation von blauen Halbkreisreflektoren

zu räumlichen oder zeitlichen Veränderungen im Straßenquerungsverhalten kommt. Ausgehend von 36 Rehen, die letztendlich Straßen querten, wurden 13.689 Straßenquerungen analysiert. Es zeigte sich, dass die Tiere große individuelle Unterschiede im Verhalten aufwiesen. Die Häufigkeit einer Straßenquerung wurde von der Bewegungsaktivität des einzelnen Tieres und der Lage der Straße im Streifgebiet des Tieres bestimmt. In Zeiten hoher Aktivität querten die Tiere häufiger die Straße. Dies erfolgte insbesondere in den Dämmerungs- und Nachtstunden als auch im Frühling und im Herbst. Der blaue Halbkreisreflektor führte auch hier nicht zu einer Beeinflussung des Rehverhaltens. Es konnte keine Veränderung in der Häufigkeit der Straßenquerungen, keine räumliche Verlagerung der Straßenquerungen und auch keine zeitliche Verschiebung der Straßenquerungen von der Dämmerung/Nacht in den Tag beobachtet werden. Ebenso hatte die Anzahl der Fahrzeuge an den Straßenabschnitten im Tagesverlauf keinen Einfluss auf das Querungsverhalten.

2. In Fütterungsversuchen wurde der Einfluss von blauem und weißem Licht auf das Verhalten von 15 Gehegerehen untersucht. Dazu wurden drei nebeneinander angeordnete Futterschüsseln in zufällig gewählter Reihenfolge mit blauem und weißem Licht angestrahlt, wobei eine Futterschüssel als Kontrolle immer unbeleuchtet blieb. Die Tiere konnten frei an die Futterboxen anwechseln. Das Verhalten wurde mit Infrarotkameras dokumentiert und sowohl die Anwechselhäufigkeit an einzelne Futterschüsseln, als auch die Verweildauer an den Futterschüsseln aufgenommen. Die Tiere steuerten am häufigsten die blau beleuchtete Futterschüssel an (37 %) gefolgt von der weiß beleuchteten Futterschüssel (34 %) und der nicht beleuchteten (29 %). Mit Blick auf die Fressdauer zeigte sich, dass die Tiere an der blau und warm-weiß beleuchteten Futterschüssel im Durchschnitt signifikant rund 10 Sekunden kürzer fraßen als an der nicht beleuchteten Futterschüssel. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Licht einen signifikanten Einfluss auf das Verhalten der Tiere ausüben kann. Eine Meidung von blauem Licht konnte dagegen nicht beobachtet werden, sodass Blau per se keine „Warnfarbe“ bei Rehen darstellt, die mit einer Gefahr assoziiert wird.

In der Summe zeigen die Untersuchungsergebnisse, dass das im Projekt untersuchte Wildwarnreflektormodell keine geeignete Präventionsmaßnahme ist, um Wildunfälle weder kurz- noch langfristig und somit nachhaltig zu reduzieren.

2 SUMMARY

Animal-vehicle collisions are a significant mortality factor and induce billions of dollars in damages each year. For decades, wildlife warning reflectors are used as mitigation measure especially in Europe and North America to prevent animal-vehicle collisions. Wildlife warning reflectors tend to reflect the headlight of oncoming vehicles with the aim to induce behavioral reactions (e.g., vigilance or flight behavior) in wildlife when they are close to roads in order to prevent animal-vehicle collisions. Recently, reflector devices covered with blue retro-reflection foil have become the major installed device. Given manufacturers' claims, the blue light stimulus should highly influence animal behavior because it does not frequently occur in the natural environment and therefore, will be rated by animals as unfamiliar stimulus. Whereas the effectiveness of different reflector devices has been investigated with several methodological approaches (but with heterogeneous results) less attention has been given to changes in animal behavior due to wildlife warning reflectors.

Every year, 260.000 wild animals get killed in road accidents in Germany. Approximately, 85 % of those animals are roe deer. In Germany, one accident with wildlife happens every two minutes whereby the estimated number of unreported cases is assumed to be much higher as many incidents do not get reported. All nationwide reported animal-vehicle collisions cause damage of more than 740 million euro that gets covered by the German insurance companies.

The question if the installation of wildlife warning reflectors influences the behavior of wild animals in the proximity of streets or when crossing roads was analyzed in a five-year research project of the Forest Research Institute Baden-Württemberg (FVA). The project focused on the following main questions:

1. Does the light stimulus of wildlife warning reflectors induce behaviors that end up in less animal-vehicle collisions?

2. Is the color blue experienced as a warning color as promoted by manufacturers?

Do reflector affects roe deer behavior?

The question whether roe deer change their behavior in the presence of blue semicircular warning reflectors was investigated in road traffic situations at five street sections in Baden-Württemberg and under controlled conditions (enclosure) in cooperation with the Leibniz Institute for Zoo and Wildlife Research (IZW) in Berlin. First, the effect of the additional light stimulus induced by reflectors was assessed under controlled conditions in enclosures at the IZW. Second, the effect of the additional light stimulus induced by blue semicircle reflectors was investigated at free-ranging roe deer at five road segments in Baden-Württemberg in accordance with oncoming vehicles.

To analyze the behavior at the different street sections, thermal network cameras were used that recorded 16.000 hours of material showing 1.091 times a situation involving roe deer and vehicles. It turned out that the proximity of the roe deer to the street and the type of approaching vehicle is decisive for how strongly the animal reacted to approaching cars. Being right next to the road the animals reacted most commonly through securing or fleeing and reacted more strongly when trucks or busses passed by. The further their distance from the street the less common was this kind of reaction. However, the additional light stimulus induced by blue semicircle reflectors did not affect roe deer behavior. Roe deer did not show behavioral alteration with increased movement away from roads when reflectors are present. Furthermore, the blue semicircular reflectors did not change the

behavior of the animals in a way that fleeing and securing behavior was increased in case of approaching vehicles. The reflectors had no effect on the behavior of the animals.

The reactions of row deer to blue semicircular reflectors were also tested in an enclosure under controlled conditions on 33 animals at the Field Research Station of the Leibniz-Institute of Zoo and Wildlife Research Berlin. Both male and female animals showed the same unaltered behavior as the row deer studied at the road sections. The results revealed that roe deer reacted with significantly increased vigilance behavior to emitted light but blue semicircle reflectors did not intensify this effect. Thus, the results of the field experiment got confirmed.

In addition, the behavior of 46 deer was observed and documented over several years with the aid of GPS telemetry transmitters. In this context, it was investigated whether spatial or temporal changes in the road crossing behavior occurred after installing blue semicircular reflectors. Taking into account 32 deer that eventually crossed roads, 13,689 crossings were analyzed. The individual animals showed strong differences in behavior. The frequency of road crossings was determined by the recorded movement activity of the individual animal: active animals crossed the road more often than inactive animals. Additionally, the activity of the animals was subject to diurnal as well as seasonal fluctuations. At twilight and at night as well as in spring and autumn the animals were more active. Also in this investigation, the blue semicircle reflector did not influence the behavior of the roe deer. There was no change in frequency of road crossings nor did animals switch from twilight and night to daytime hours. Also the number of approaching vehicles had no effect on the crossing behavior.

The color blue – a warning color?

As part of a cooperation with the Leibniz Institute for Zoo and Wildlife Research (IZW) in Berlin it was analyzed whether blue and warm white light have an influence on the behavior of roe deer and if the color blue actually is a "warning color". The investigation was designed as an experimental feeding study in which the behavior of 15 captive deer was observed. For this purpose, feed bowls were illuminated in randomly chosen order with blue and warm white light, whereby one feed bowl served as control and remained always unlighted. The animals were able to freely choose between the feed bowls. Their behavior was monitored with infrared cameras. The statistical results showed that the animals chose with a likelihood of 37 % the blue-lit bowl, followed by the white-lit bowl (34 %). In 29 % of the incidents the unlit bowl was chosen. With regard to the feeding period, it became clear that the animals fed on the blue and white-lit bowl on average about 10 seconds shorter than on the unlit feed bowl. The results indicate that light had a significant impact on the animals, but the manufacturers' argument that the color blue was a "warning color" could not be confirmed.

3 EINLEITUNG

Mobilität ist ein zentraler Faktor für Wirtschaft und Wohlstand in Deutschland und essentieller Bestandteil der modernen Gesellschaft. Jährlich werden in Deutschland rund 725 Mrd. Kilometer durch ca. 62,6 Mio. zugelassene Fahrzeuge zurückgelegt (Kraftfahrtbundesamt 2018a, 2018b). Dabei ist die Zahl der gefahrenen Kilometer in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich gestiegen, so dass Experten davon ausgehen, dass der Personen- und Güterverkehr weiter steigen werden. Mit einer Gesamtlänge von 700.000 km an Bundes-, Land-, Kreis- und Gemeindestraßen verfügt Deutschland über ein intensiv ausgebautes Straßennetz (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2018).

Das dichte Straßennetz und das hohe Verkehrsaufkommen beinhalten ein enormes ökologisches Gefahrenpotenzial. Gefährdungen für Wildtierpopulationen entstehen sowohl durch die hohe Barrierewirkung (hervorgerufen durch den Baukörper sowie den Verkehr) und die damit verbundenen Landschaftsfragmentierung, als auch das Kollisionsrisiko mit dem Straßenverkehr und die erhebliche Lärmbelastung (Spellerberg 1998; Seiler 2004; Roedenbeck 2007; van der Ree et al. 2009; van Langevelde, van Dooremalen & Jaarsma 2009; Benítez-López, Alkemade & Verweij 2010). Alle sich fortbewegenden Artengruppen sind daher von Straßenmortalität betroffen: Insekten, Reptilien, Amphibien, Vögel und Säugetiere (Huijser et al. 2009). Für die meisten Individuen endet die Kollision mit einem Fahrzeug mit dem Tod. Bei einigen Tierarten kann davon ausgegangen werden, dass Straßenverkehr die häufigste Todesursache darstellt (Klar, Herrmann & Kramer-Schadt 2009) und damit zur lokalen Ausrottung einer Art führen kann[1].

Der quantitative Nachweis von Verkehrsverlusten ist für die meisten Tierarten in Deutschland unmöglich, da ein einheitliches Erhebungsverfahren auf Ebene der Bundesländer fehlt. Detaillierte Informationen zu Wildunfällen finden sich auf der Homepage des Deutschen Jagdverbandes e.V. (DJV), der die Unfallzahlen der Jagdbehörden der einzelnen Bundesländer zusammenführt und veröffentlicht. Demnach ereignen sich jedes Jahr rund 260.000 Wildunfälle (264.000 im Jagdjahr 2016/17; Gesamtverband Deutsche Versicherer 2016; Deutscher Jagdverband 2017). Das Reh ist hierbei die am häufigsten betroffene Tierart. So wurden im Jagdjahr 2016/17 195.420 Rehe überfahren. Erst mit großem Abstand folgen Wildschweine (26.180 Tiere), Damhirsche (4.020 Tiere) und Rothirsche (2.870) (Deutscher Jagdverband 2018). Gemäß den vorliegenden Zahlen ereignet sich in Baden-Württemberg im Durchschnitt alle 20 Minuten ein Wildunfall, auf Deutschland bezogen sogar alle zwei Minuten. Insgesamt geht der DJV jedoch von einer Dunkelziffer von 1 Mio. getöteten Tieren aus. Die Kraftfahrzeugversicherer erfassen ausschließlich diejenigen Wildunfälle, die Schäden an Fahrzeugen verursachen. Daraus resultiert eine jährliche, bundesweite Sachschadenssumme von rund 750 Mio. Euro, mehrere tausend Verletzte und mehr als ein Dutzend Verkehrstote (Gesamtverband Deutsche Versicherer 2018)

[1] Im Telemetrieprojekt der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg zur Verbreitung der Wildkatze in den Rheinauewäldern beim Kaiserstuhl wurden im einem Zeitraum von drei Jahren von 20 GPS-besenderten Wildkatzen drei überfahren sowie vier weitere nicht besenderte Wildkatzen im Straßenverkehr getötet (Streif et al. 2016).

3.1 PRÄVENTIONSMASSNAHMEN

Mit dem rasanten Anstieg der Kraftfahrzeugdichte seit den 1950er Jahren und dem Ausbau des Straßennetzes in Deutschland stieg die Zahl der Wildunfälle stark an (Statistisches Bundesamt 2018). Daher wird bereits seit Beginn der 1960er Jahre versucht, mit unterschiedlichsten Maßnahmen auf das Verhalten von Wildtieren im Straßenrandbereich einzuwirken, um Wildunfälle zu reduzieren (Rudelstorfer 1981; Ueckermann 1984).

Präventionsmaßnahmen können grundsätzlich in zwei Kategorien eingeteilt werden: Zum einen Maßnahmen, die ein Überqueren der Straße verhindern, zum anderen Präventionsmaßnahmen, die weiterhin eine Querung ermöglichen, das Tierverhalten jedoch in einer wildunfallreduzierenden Weise beeinflussen sollen. Zur ersten Kategorie zählen Wildschutzzäune. Diese sind effektiv in der Verhinderung von Wildunfällen, werden aber aufgrund ihrer starken Trennwirkung auf die Tierpopulationen und der hohen Installations- und Unterhaltungskosten nur an Bundesautobahnen oder punktuell an Bundes- oder Landstraßen errichtet. Die Trennwirkung kann in Teilen durch Tierquerungshilfen wie z.B. Grünbrücken oder Unterführungen entschärft werden, jedoch werden diese aufgrund der hohen Baukosten bisher nur in geringem Umfang realisiert. Die zweite Kategorie der Präventionsmaßnahmen ermöglicht es Wildtieren, weiterhin Straßen zu überqueren. Hierzu zählen zum Beispiel optische Maßnahmen (Wildwarnreflektoren), olfaktorische Maßnahmen (Duftzäune) oder akustische Maßnahmen (akustische Wildwarner).

3.2 WILDWARNREFLEKTOREN

Wildwarnreflektoren sind aktuell die am weitesten verbreitete Präventionsmaßnahme. Alleine in Baden-Württemberg waren im Jahr 2012 geschätzt über 200.000 Wildwarnreflektoren montiert (mündl. Mitteilung Landesjagdverband BW). Aktuell liegt die Zahl um ein Vielfaches höher.

Wildwarnreflektoren gibt es seit mehr als 50 Jahren (Nettles 1965; Ueckermann 1984; Brieger et al. 2016). Seitdem werden sie in verschiedensten Bauformen und Farben angeboten und können hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaften zwei Reflektortypen zugeordnet werden (Brieger et al. 2016; Benten, Annighöfer & Vor 2018). Diese werden im Folgenden vorgestellt.

3.2.1 Wildwarnreflektoren mit Spiegelelementen

Wildwarnreflektoren mit Spiegelelementen werden seitlich an die Außenseite der Straßenleitpfosten auf der gewünschten Länge des Straßenabschnittes montiert. Das Scheinwerferlicht eines herannahenden Fahrzeuges fällt auf die Reflektoren und wird rechts und links in den Straßenrandbereich gestreut (Zacks 1986; Sivic & Sielecki 2001; Langbein, Putman & Pokorny 2011). Die von den Reflektoren ausgehenden Lichtreize sollen zu einer Reduktion von Wildunfällen führen, wobei die angestrebte Verhaltensänderung meist nicht näher beschrieben wird. Laut Hersteller sollen durch die Lichtreize Wildtiere (v.a. Rehe) im Straßenrandbereich stärker auf das sich nähernde Fahrzeuge sensibilisiert werden. So soll der Wildunfall vermieden werden, da die Tiere das sich nähernde Fahrzeug bewusster wahrnehmen und erst die Straße queren, nachdem das Auto das Tier passiert hat (z.B. https://www.over-reeen.nl/Portals/0/artikelen/verkeer_ree/engels/folder_swareflex_wildlife_warning_reflectors.pdf).

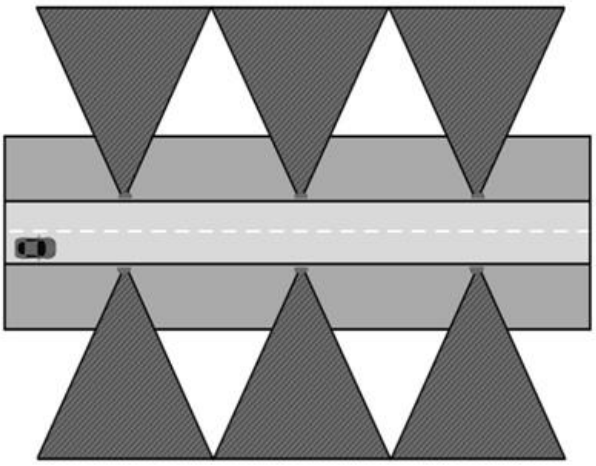


Abb. 1: Wirkungsprinzip Wildwarnreflektoren mit Spiegelelementen. Das Licht des Fahrzeugs wird fächerförmig in den Straßenrandbereich gestreut.

3.2.2 Wildwarnreflektoren mit retroreflektierender Folie

Neben klassischen Wildwarnreflektoren werden seit 2000 auch Retroreflektoren angeboten, die das Licht in einem wesentlich geringeren Abstrahlwinkel zurück zur Lichtquelle reflektieren. Auch diese werden seitlich an die Straßenleitpfosten montiert. Zu diesem Typus zählt der blaue Halbkreisreflektor der Firma Schilderwerk Beutha mit der Gebrauchsmuster Nummer 202004019751.0. Der Grundkörper des Reflektors besteht aus wetterfestem Polypropylen Copolymerisat, welches mit einer mikroprismatischen Reflexfolie (Typ 3M) beschichtet ist. Laut dem Hersteller des Reflektors

Abb. 2: Blauer Halbkreisreflektor am Straßenleitpfosten.

- wird das reflektierte Licht in einem Abstrahlwinkel von 1,5° zum Fahrbahnrand zurückgeworfen, wodurch eine optische Barriere „Lichtzaun“ entstehen soll,
- soll die Farbe Blau nach Herstellerangaben eine „Schreck- bzw. Warnfarbe“ für Wildtiere darstellen,
- simuliert die Halbkreisform des Reflektors beim Auftreffen des Scheinwerferlichtes von Fahrzeugen eine Bewegung, worauf die Rehe mit Vorsicht reagieren.
- ist ein Abstand von 50 m zwischen den Reflektoren ausreichend, um eine durchgängige optische Barriere zu erzeugen (Schilderwerk Beutha 2017).

Zu den Wirkungsbereichen von Wildwarnreflektoren, als auch zu den induzierten Verhaltensänderungen bei Wildtieren, gibt es jedoch kaum wissenschaftliche Untersuchungen.

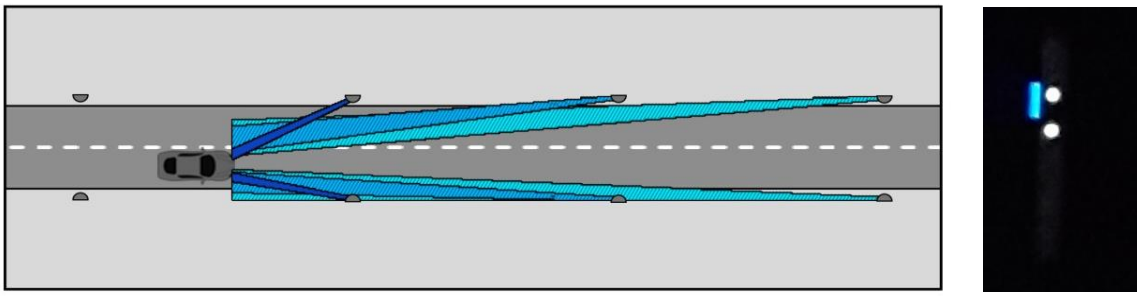


Abb. 3: Wirkungsprinzip von Retroreflektoren (links). Straßenleitpfosten mit blauen Halbkreisreflektoren sind schematisch als kleine graue Halbkreise dargestellt. Retroreflektoren reflektieren das Licht des nähernden Fahrzeuges aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften zurück zur Lichtquelle (dem Fahrzeug) und sollen laut Hersteller einen blauen Lichtzaun parallel zur Straße erzeugen (s. abgestufte blaue Flächen). Der Reflexionswinkel beträgt maximal 1,5 Grad. Rechts: Fotografie der Retroreflexion, wenn Scheinwerferlicht in den Dämmerungs- und Nachtstunden auf den blauen Halbkreisreflektor fällt.

3.3 WIRKUNGSWEISE VON WILDWARNREFLEKTOREN

Es bestehen zwei Wege, wie Wildwarnreflektoren zu einer Senkung des Unfallrisikos beitragen können. Zum einen besteht die Möglichkeit, dass Reflektoren langfristig auf das Verhalten von Wildtieren einwirken. Insbesondere Rehe, die am häufigsten von Wildunfällen betroffen sind, können so starke Verhaltensänderungen aufzeigen, dass sie z.B. weniger häufig Straßen queren und dadurch 1. Straßenquerungen unterbunden werden oder 2. es zu tageszeitlichen Verschiebungen kommt, wann Straßenquerungen stattfinden. Zum anderen können Rehe unmittelbar durch Reflektoren beeinflusst werden. Halten sie sich direkt am Straßenrand auf und ein Fahrzeug nähert sich gleichzeitig, dann können die Tiere durch die Wirkung der Reflektoren im Verhalten innehalten. Eine Straßenquerung erfolgt erst dann, sobald sich das Fahrzeug entfernt hat. Beide Aspekte (unmittelbare und langfristige Verhaltensänderungen) werden in diesem Projekt systematisch bearbeitet.

Darüber hinaus kann es bei Präsenz von Reflektoren auch zu einer Veränderung im Verhalten von Fahrzeugführenden führen. So könnte das Leuchten der Reflektoren zu einer verminderten Geschwindigkeit oder einer erhöhten Aufmerksamkeit bei Fahrzeugführenden führen, wodurch querende Tiere früher entdeckt und Fahrer dadurch früher auf die Gefahr reagieren können. Dieser Aspekt steht jedoch nicht im Fokus dieses Projektes, wird jedoch beleuchtet.

4 STAND DER FORSCHUNG

4.1 WISSENSCHAFTLICHE STUDIEN

Bereits zu Beginn der 1960er Jahre wurden die ersten optischen Maßnahmen zur Verhinderung von Wildunfällen entwickelt (Nettles 1965; Rudelstorfer 1981; Ueckermann 1984; Benten, Annighöfer & Vor 2018). In den folgenden Jahrzehnten wurde die Entwicklung stetig vorangetrieben, so dass eine Vielzahl von Präventionsmaßnahmen in unterschiedlichsten Ausführungen entstand. Parallel zur technischen Weiterentwicklung wurden immer wieder Forschungsprojekte durchgeführt, die versuchten, die Wirkungsweise der Präventionsmaßnahmen (vor allem von Wildwarnreflektoren) nachzuweisen. Der größte Teil der Untersuchungen wurde in den USA durchgeführt und konzentrierte sich darauf, die Wildunfallzahlen vor und nach Ausbringung von Präventionsmaßnahmen zu vergleichen, ohne jedoch den Faktor Zeit und damit die Gewöhnung der Tiere an die Präventionsmaßnahmen mit in die Betrachtung einzubeziehen. Darüber hinaus führten wenige Studien Verhaltensbeobachtungen durch, um Reaktionen von Wildtieren auf Wildwarnreflektoren oder Duftzäune nachzuweisen. Aufgrund der Schwierigkeit, statistisch belastbare Aussagen zu den Maßnahmen zu erhalten, wurden immer wieder die Untersuchungs-designs geändert, um neue Erkenntnisse zu gewinnen. Die Gesamtmenge an Untersuchungen lassen sich den folgenden Kapiteln zuordnen.

4.1.1 Verhaltensstudien zu Wildwarnreflektoren

Diese Studien versuchen über die Analyse des Tierverhaltens Aussagen, zu der Wirkungsweise von Präventionsmaßnahmen zu treffen. Bei der Untersuchung von D'Angelo et al. (2006) wurde mit einer Wärmebildkamera das Verhalten von Weißwedelhirschen auf Wildwarnreflektoren in Kombination mit vorbeifahrenden Fahrzeugen direkt beobachtet und analysiert. Aus dieser Untersuchung ließen sich keine Verhaltensänderungen der Wildtiere erkennen, die zu einer Verringerung des Unfallrisikos führten. Andere Studien an Damhirschen (Ujvári, Baagøe & Madsen 1998) und Kängurus/Wallabys (Ramp & Croft 2006) analysierten die Reaktion auf Reflektoren, indem Straßenverkehr durch Geräusche und Licht simuliert wurde. Beide Untersuchungen stellten Gewöhnungseffekte fest und kamen zu dem Ergebnis, dass Reflektoren nur bedingt zur Vermeidung von Wildunfällen geeignet sind. Zacks (1985, 1986) untersuchte unter Gehegebedingungen den Einfluss von verschiedenen Wildwarnreflektoren auf das Verhalten von Weißwedelhirschen. Der Versuchsaufbau sah die Überquerung einer Straßenkulisse vor, hinter der sich die einzige Wasserquelle des Geheges befand. An der Straße waren Reflektoren installiert, die bei Überquerung der Tiere mit einer Lichtquelle angestrahlt wurden. Es konnten keine signifikanten Verhaltensunterschiede festgestellt werden. Im Gegensatz dazu kam Riginos et al. (2015) zu dem Ergebnis, dass bei Weißwedelhirschen das Fluchtverhalten weg von der Straße um 30 % zunahm als bei roten Wildwarnreflektoren montiert waren. Der Anteil an Fluchtverhalten wurde jedoch gesteigert, als die Reflektoren im Rahmen des wissenschaftlichen Versuchsdesigns mit weißen Tüten verblendet wurden.

4.1.2 Untersuchungen von Wildunfallzahlen

Um die Wirksamkeit von Wildwarnreflektoren zu beurteilen, werden meistens Wildunfallzahlen an Straßenabschnitten mit und ohne Reflektor analysiert. Es wurden verschiedene methodische Ansätze angewandt (s. Benten, Ammer & Bakaba 2019):

1. Vorher/Nachher Untersuchung (before/after); diese Untersuchungen vergleichen Wildunfallzahlen vor und nach Anbringung von Wildwarnreflektoren.
2. Cover/uncover Untersuchung: Wildwarnreflektoren werden abwechselnd abgedeckt/entfernt und aufgedeckt/wieder angebracht.
3. Control-Impact Untersuchung: Straßenabschnitte mit Wildwarnreflektoren werden zum gleichen Zeitpunkt mit Kontrollstrecken ohne Wildwarnreflektoren verglichen.
4. Before-After-Control-Impact Untersuchung: Verknüpfung einer Vorher/Nachher-Untersuchung mit einer Control Impact Untersuchung.

Bei Vorher/Nachher Studien werden zunächst Wildunfallzahlen an bestimmten Straßenabschnitten während genau festgelegter Zeiträume erhoben. Anschließend werden Präventionsmaßnahmen installiert und die Strecken erneut beobachtet. Die Ergebnisse der beiden Beobachtungsphasen werden anschließend verglichen. Dieses Studiendesign wurde in den meisten Studien angewandt, die allerdings aufgrund variierender Parameter wie unterschiedlicher Streckenlängen, Jahreszeiten, Landschaftstypen, Beobachtungsdauer, Straßentypen und Präventionsmaßnahmen nur bedingt miteinander vergleichbar sind und im Ergebnis stark voneinander abweichen. Manche Studien konnten eine Reduktion der Wildunfallzahlen nachweisen (z.B. Ingebrigtsen & Ludwig 1986; Grenier 2002; Trothe, Meißner & Herzog 2016), andere konnten keine signifikanten Unterschiede beobachten (z.B. Olbrich 1984; Ueckermann 1984; Waring, Griffis & Vaughn 1991; Voß 2007). In den Untersuchungen z.B. von Boyd (1966), Gordon (1969) und Pafko & Kovach (1996) stiegen dagegen die Wildunfallzahlen an.

Die Analyse von Wildunfallzahlen und der davon abgeleitete Rückschluss auf die Wirksamkeit von Präventionsmaßnahmen ist ohne die Berücksichtigung von standardisierten Kontrollstrecken in der Untersuchung wenig aussagekräftig (s. Roedenbeck 2007). Der Grund liegt darin, dass eine große Anzahl an Faktoren einen Einfluss auf die Häufigkeit von Straßenquerungen (z.B. Jagd, Populationsentwicklung, Klima, Landwirtschaft) und das Fahrerverhalten haben, wodurch es zu stark schwankenden Wildunfallzahlen im Jahresverlauf und zwischen einzelnen Jahren kommen kann (z.B. Steiner, Leisch & Hackländer 2014). Werden Kontrollstrecken, an denen keine Präventionsmaßnahmen getestet werden, in die Untersuchung mit einbezogen [Voraussetzung: die Kontrollstrecken sind mit den Strecken, an denen Reflektoren getestet werden, vergleichbar bzw. identisch], können die externen Faktoren an diesen Abschnitten weitestgehend kontrolliert und in der Auswertung der Wildunfallzahlen berücksichtigt werden. Ist z.B. die Entwicklung der Wildunfallzahlen an dem Kontrollabschnitt identisch mit den Wildunfallzahlen an dem Abschnitt mit Wildwarnreflektoren (oder einer anderen Präventionsmaßnahme), können Veränderungen in den Wildunfallzahlen auf externen Faktoren zurückgeführt werden und deuten auf eine ausbleibende Wirkung der Wildwarnreflektoren hin.

Viele Studien, die eine Vorher-Nachher-Untersuchung durchführten, verfügen über keine Kontrollstrecken in der Untersuchung. Folglich können Rückschlüsse der Studien auf eine wirksame Reduktion von Wildunfallzahlen nach Ausbringung von Wildwarnreflektoren nicht erbracht werden

und müssen kritisch betrachtet werden (u.a. Voß 2007; Trothe, Meißner & Herzog 2016). Eine Ausnahme bildet die Untersuchung von Benten et al. (2018), in der Wildunfallzahlen in einer Vorher/Nachher-Untersuchung verknüpft mit einer Kontrolle analysiert wurden. Sie konnten keine Effekte in der Reduktion von Wildunfallzahlen feststellen.

Für Versuche mit bedeckten und unbedeckten Reflektoren wurden Streckenabschnitte mit hohen Wildunfallzahlen ausgewählt. Der grundsätzliche Versuchsaufbau sieht die Installation von Präventionsmaßnahmen entlang dieser Strecken vor. Während eines definierten Zeitraumes werden die Wildunfallzahlen an diesem Abschnitt aufgezeichnet. Während des Beobachtungszeitraumes wechselt man zwischen Perioden mit bedeckten und unbedeckten Reflektoren. Anschließend werden aufgrund der Unfallzahlen Rückschlüsse über die Wirkungsweise der Präventionsmaßnahmen gezogen (Schafer & Penland 1985; Woodham 1991; Armstrong 1992; Reeve & Anderson 1993). Basierend auf dieser Methode kommen verschiedene Studien zu unterschiedlichen Schlussfolgerungen. Schafer & Penland (1985) und auch Riginos et al. (2015) wiesen in ihren Versuchen einen eindeutigen Rückgang der Unfallzahlen beim Einsatz von Reflektoren nach. Dagegen konnten Armstrong (1992) und Reeve & Anderson (1993) keine Veränderung der Unfallzahlen feststellen. Die Studie von Woodham (1991) blieb in dieser Hinsicht ergebnislos, da in der dreimonatigen Versuchsphase kein Wildunfall geschah.

4.2 FAZIT

Zusammenfassungen der bisherigen Ergebnisse in der Erforschung der Wildwarnreflektoren liegen u.a. von Bruinderink & Hazebroek (1996), Danielson & Hubbard (1998), Curtis & Hedlund (2005), Brieger et al. (2016) und Benten, Annighöfer & Vor (2018) vor. Keiner der Autoren konnte einen wirkungsvollen Einsatz der Wildwarnreflektoren bestätigen. Die untersuchten Versuchsreihen ließen aufgrund von teilweise unvollständigem Versuchsaufbau keine Schlussfolgerung der Studie hinsichtlich einer möglichen Wirkung von Wildwarnreflektoren auf Wildunfallzahlen zu. So wurden die oftmals zu kurzen Untersuchungszeiträume von lediglich 1-3 Jahren und die Vernachlässigung von Populationsdynamiken, Verkehrsschwankungen und Habitatveränderungen kritisiert (Danielson & Hubbard 1998). Zudem konnte in Ermangelung einheitlicher Versuchsergebnisse keine gesicherte Aussage für oder gegen den Einsatz getätigt werden. Curtis & Hedlund (2005) distanzierten sich von dem Einsatz von Reflektoren, nachdem sie zehn Untersuchungen verglichen hatten. Davon hatten drei eine positive Wirkung auf die Wildunfallzahlen gezeigt und fünf waren ohne Einfluss geblieben. Zwei der Arbeiten waren nicht verwertbar. Bruinderink & Hazebroek (1996) analysierten Wildunfalldaten aus den Niederlanden und kamen zu dem Schluss, dass keine signifikante Wirkung von Wildwarnreflektoren ausgeht.

Eine umfassende Meta-Analyse von Brieger et al. (2016) zeigte für einen Zeitraum von 40 Jahren, dass an 185 Straßenabschnitte aus 43 Studien keine signifikante Reduktion von Wildunfällen erzielt werden konnte. Es zeigte sich, dass vor allem die Länge der Straßenabschnitte und die Dauer der Untersuchung eine entscheidende Rolle spielt, wie das Ergebnis der einzelnen Studie ausfällt. Grundsätzlich zeigen die Ergebnisse, dass Studien mit kurzen Straßenabschnitten und/oder kurzen Zeiträumen (< 1 Jahr sowohl mit als auch ohne Wildwarnreflektoren) eine Abnahme von Wildunfall-zahlen nach einer Installation von Wildwarnreflektoren aufführten, wo hingegen Studien mit längeren Straßenabschnitten und/oder Betrachtungszeiträumen von jeweils mehr als einem Jahr

ohne und mit Wildwarnreflektoren sich tendenziell keine Veränderung der Wildunfallzahlen einstellten (Brieger et al. 2016). Benten, Annighöfer & Vor (2018) vervollständigten den umfassenden Blick auf die Wirkungsweise von Wildwarnreflektoren, in dem sie 76 Publikationen für den Zeitraum zwischen 1964 und 2017 hinsichtlich der Wirksamkeit von Wildwarnreflektoren analysierte. Die Meta-Analyse zeigte, dass viele Studien, die einen Rückgang an Wildunfällen nachwiesen, beeinflusst wurden durch ein mangelhaftes Studiendesign und/oder fehlerhafte Herangehensweise in der Wildunfalldatenerhebung. Auch sie kommen zum Schluss, dass hinsichtlich der Wirkungsweise Zweifel bestehen und nur Studien, die Kontrollstrecken in die Untersuchung einbinden, verlässliche Ergebnisse liefern können.

Ein weiterer Einflussfaktor ist die Gewöhnung des Wildes an die Reflektoren. Putman (1997) berichtete von einem raschen Gewöhnungseffekt an stark befahrenen Straßen. Daher sollte der Einsatz von Reflektoren wenn nur an untergeordneten Straßen mit geringem Verkehrsaufkommen erfolgen. Auch Ujvári, Baagøe & Madsen (1998) berichteten von Gewöhnungseffekten. Sie halten diese für so gravierend, dass sie den Einsatz von Reflektoren generell ablehnen und die Technik als unzureichend ansehen, um Wild beim Herannahen eines Fahrzeuges vom Überqueren der Straße abzuhalten. Die Problematik eines möglichen Gewöhnungseffekts wird weiterhin durch die Saisonalität in den Bewegungsmustern mancher Wildtiere an den jeweiligen Straßenabschnitten beeinflusst. So kritisiert Putman (1997), dass Studien wie z.B. von Schafer & Penland (1985) nur während der saisonalen Migration von Weißwedelhirschen entlang fester Routen durchgeführt wurden, wodurch die Anzahl der Kontakte zwischen einem bestimmten Individuum und den Wildwarnreflektoren stark begrenzt ist.

Verhaltensstudien wiesen keine für die Verkehrssicherheit relevante Verhaltensänderung bei Paarhufern nach. Die in Erfahrungsberichten oftmals angegebene Senkung der Wildunfallzahlen nach Ausbringen von Wildwarnreflektoren mag deshalb auf andere Faktoren zurückzuführen sein. Hierbei ist eine Vielzahl von weiteren Faktoren denkbar, wie z.B. eine mögliche Beeinflussung des Verhaltens von Fahrzeugführenden, Änderungen in der Populationsdichte der Zielart am Standort, Änderungen in der Wechselhäufigkeit über die Straße, unterschiedliche Jagdpraktiken, saisonale Verhaltens-unterschiede sowie Veränderungen in der Straßenrandvegetation.

5 ÜBERSICHT PROJEKTMODULE SOWIE FRAGESTELLUNG

Das Forschungsprojekt „Effektivität von Wildunfallpräventionsmaßnahmen“ gliederte sich in mehrere Module, die sich mit der Frage der Wirkamkeit von blauen Halbkreisreflektoren in der Wildunfallprävention bei Rehen beschäftigten (Abb. 4). Hierbei wurden vor allem zwei zentrale Hypothesen für die Wirkungsweise des Wildwarnreflektors untersucht:

I. Blaue Wildwarnreflektoren erzeugen Lichtreize, die das Verhalten von Rehen in eine wildunfallreduzierende Weise beeinflussen.

Wildunfallreduzierende Verhaltensänderungen können entweder auf Änderungen in der Raumnutzung (z.B. Verschiebung der Schwerpunkte von Straßenquerungen) oder auf Änderungen im Verhalten bei herannahenden Fahrzeugen basieren. Daher wurde Hypothese I in folgende Arbeitshypothesen geteilt:

1. Nach der Installation von Wildwarnreflektoren findet eine Reduktion der Straßenquerungen oder räumliche und zeitliche Verlagerungen von Straßenquerungen statt (Modul 1).
2. Nach der Installation von Wildwarnreflektoren reagieren Rehe bei herannahenden Fahrzeugen häufiger mit Sicherungsverhalten oder Fluchtverhalten (Modul 2 und 3).

II. Die Farbe Blau stellt eine „Warnfarbe“ für Rehe dar.

Verhaltensreaktionen auf blaues Licht sollten intensiver sein als Reaktionen auf Licht anderer Spektralbereiche (Modul 5).

Im Folgenden werden die einzelnen Projektmodule und deren Ergebnisse vorgestellt. Abschließend erfolgen eine Synthese aller Ergebnisse sowie eine Bewertung hinsichtlich der Wirkungsweise und Effektivität von blauen Wildwarnreflektoren.

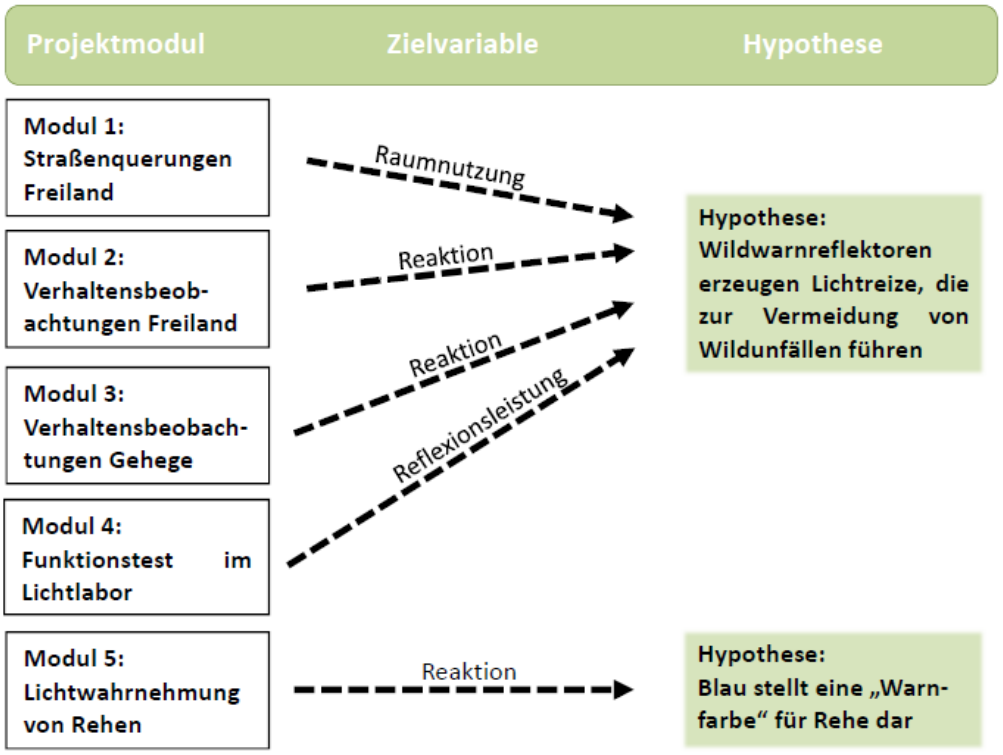


Abb. 4: Übersicht der Projektmodule. Die Nummerierung der Kapitel des Abschlussberichts orientiert sich an der Nummerierung der Projektmodule.

6 QUERUNGSVERHALTEN IM STRASSENBEREICH (MODUL 1)

Die Raumnutzung von Rehen wird von verschiedenen Einflussfaktoren bestimmt. Nahrungssuche, Fortpflanzung, intra- und innerartliche Interaktionen, Abwanderung, Schutz vor Witterungsbedingungen, geeigneter Lebensraum, sowie Feindvermeidung führen dazu, dass Rehe ihren Lebensraum durchqueren (Sempéré, Sokolov & Danilkin 1996; Jepsen & Topping 2004). Darüber hinaus haben das Straßensystem und vor allem der Verkehr eine starken Einfluss auf Cervide und deren Verhalten (u.a. Iglesias-Merchan et al. 2018). Nichtsdestotrotz ist in Deutschland bisher wenig bekannt, welchen Einfluss Straßen und der Straßenverkehr auf die Bewegungen von Rehen haben. Beispielhaft zeigten Coulon et al. (2008) in ihrer Untersuchung zur Raumnutzung von Rehen in Frankreich eine Meidung der Straße. Hohe Wildunfallzahlen (Gesamtverband Deutsche Versicherer 2016; Deutscher Jagdverband 2018) und häufige Sichtbeobachtungen von Rehen im Straßenrandbereich, besonders zur Nachtzeit, lassen an einer Generalisierbarkeit dieser Ergebnisse zweifeln.

In diesem Projektmodul wurden die Raumnutzung von Rehen im Straßenrandbereich, das Querungsverhalten über die Straßen und der Einfluss von Wildwarnreflektoren auf das Querungsverhalten untersucht.

6.1 METHODE

6.1.1 Untersuchungsgebiete

Um Einflüsse von Wildwarnreflektoren auf das Rehverhaltens unter Ausschluss möglichst vieler Umwelteinflüsse untersuchen zu können, erfolgte die Auswahl der Straßenabschnitte anhand einheitlicher Kriterien. Diese sahen vor, dass ein Straßenabschnitt im Projekt:

- eine erhöhte Unfallrate mit Rehen (Wildunfallschwerpunkt) aufweist
- eine Mindestlänge von 200 m besitzt
- einen möglichst geraden und übersichtlichen Straßenverlauf besitzt
- sowohl Wald- als auch Wiesenstrukturen beinhaltet
- in mindestens 200 m Entfernung zu Siedlungen liegt
- ein Verkehrsaufkommen von ≤ 5.000 Fahrzeugen hat (unterhalb einer Kategorie *B*-Straße)
- keine Hangneigung, Leitplanken, Radwege oder Böschungen, die eine Beeinträchtigung der Wirkungsweise der Wildwarnreflektoren darstellen, besitzt

Ferner kamen nur Straßenabschnitte in Betracht, bei denen die Jagdausübungsberechtigten ihre Unterstützung für das Projekt zusagten.

Mittels dieser Kriterien wurden sechs Straßenabschnitte ausgewählt, die in zwei geografisch getrennten Untersuchungsgebieten zusammengefasst wurden (Abb. 6). Hierbei lagen zwei Abschnitte im Hegau auf ca. 800 Meter über n.N. und vier Abschnitte in der oberen Rheinebene auf ca. 150 Meter über n.N. Die Abschnitte lagen an den folgenden Land- und Kreisstraßen:

Obere Rheinebene:	**Hegau:**
L85 bei Oberbruch (N 48.73, E 8.08; Abb. 7) K5372 bei Gamshurst (N 48.67, E 8.00; Abb. 7) K5374 bei Zierolshofen (N 48.59, E 7.9; Abb. 7) L95 bei Sand (N 48.56, E 7.94; Abb. 7)	L191 und K6129 bei Stetten (N 47.88, E 8.72; Abb. 5)

Aus der geografischen Trennung der beiden Untersuchungsgebiete sowie deren Höhendifferenz ergaben sich auch klimatische Unterschiede zwischen den Gebieten. Diese waren vor allem in der Härte der Winter sichtbar (Tabelle 1). Die klimatischen Unterschiede sind auch in unterschiedlichen Waldgemeinschaften an den Standorten sichtbar. So finden sich an den Standorten im Hegau vornehmlich montane Mischwälder dominiert von *Picea abies*, *Abies alba* sowie *Fagus sylvatica*. In der oberen Rheinebene finden sich vornehmlich Laubmischwälder.

Beide Untersuchungsgebiete sind geprägt von einem Mosaik aus unterschiedlichen Landnutzungstypen. Einzelne Waldflächen unterschiedlicher Größe werden von offenlandtypischen Nutzungsformen wie Ackerflächen, Wiesen, Feuchtgebieten sowie Straßen und Siedlungsräumen getrennt (Abb. 5 und Abb. 7).

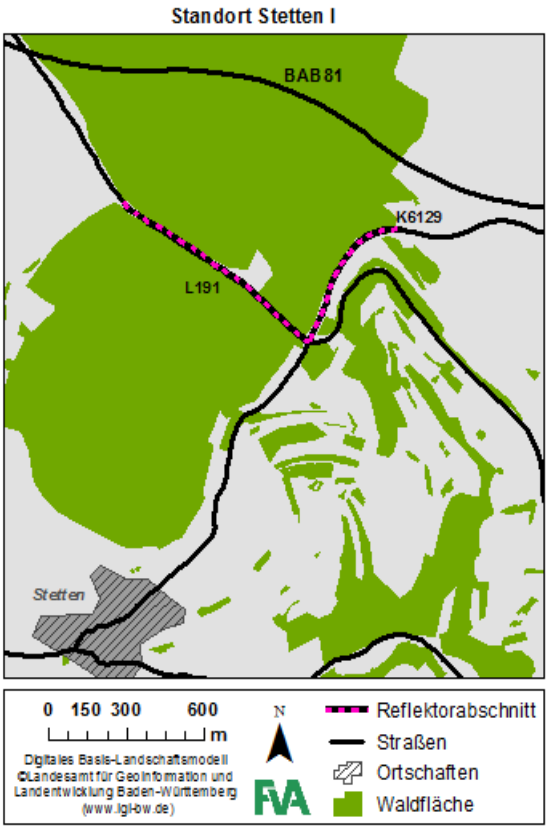


Abb. 5: Schematische Übersicht der beiden Straßenabschnitte im Hegau, an denen beidseitig Wildwarnreflektoren an den Leitpfosten angebraucht wurden.

Tabelle 1: Wetterdaten und Tageslänge für die Straßenabschnitte in der oberen Rheinebene (A) und im Hegau (B). Die Wetterdaten sind als Mittel des Untersuchungszeitraums dargestellt. Minimaltemperaturen bezeichnen den kältesten während des Untersuchungszeitraumes gemessenen Wert. Wetterdaten für die Standorte am Oberrhein (A) wurden von der Wetterstation in *Rheinau-Memprechtshofen* erhoben. Diese befindet sich gemittelt ca. 14 km von den Straßenabschnitten in der Rheinebene entfernt. Wetterdaten für die Abschnitte im Hegau (B) wurden von der Station *Tuttlingen* (ca. 15 km Entfernung) erhoben.

		Monat des Jahres											
		Jan	**Feb**	**Mär**	**Apr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Aug**	**Sep**	**Okt**	**Nov**	**Dez**
A)	**Ø Temp.**	3,12	,36	7,29	11,06	15,31	18,32	19,63	19,81	15,83	10,52	6,07	4,94
	Min. Temp.	-7,23	-10,64	-3,77	-1,61	2,13	8,84	8,89	9,84	5,03	-1,54	-1,71	-5,03
B)	**Ø Temp.**	,00	-5,01	4,43	7,61	13,03	17,39	18,20	18,62	12,36	7,95	3,63	,08
	Min. Temp.	-10,62	-21,55	-8,30	-5,41	-2,14	5,41	4,60	5,68	-,30	-5,48	-9,20	-14,60
	Tageslänge (Stunden)	8,83	10,23	11,95	13,74	15,28	16,08	15,66	14,29	12,56	10,79	9,20	8,36
	Ø Sonnen-aufgang	$8.^{12}$	$7.^{36}$	$6.^{42}$	$6.^{36}$	$5.^{48}$	$5.^{30}$	$5.^{42}$	$6.^{24}$	$7.^{06}$	$7.^{36}$	$7.^{36}$	$8.^{12}$
	Ø Sonnen-untergang	$17.^{00}$	$17.^{48}$	$18.^{42}$	$20.^{18}$	$21.^{00}$	$21.^{30}$	$21.^{24}$	$20.^{42}$	$19.^{36}$	$18.^{24}$	$16.^{46}$	$16.^{36}$

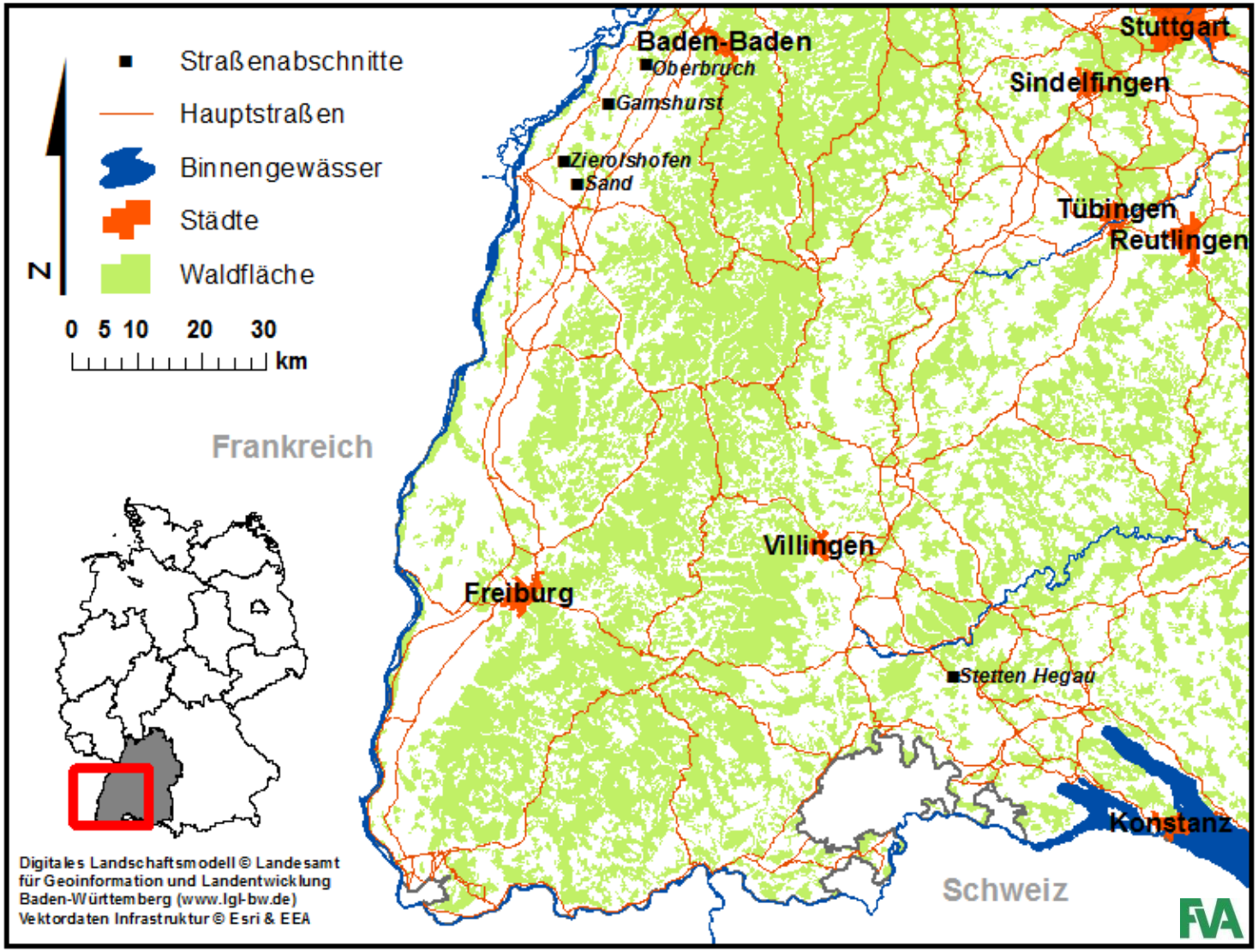


Abb. 6: Lage der Straßenabschnitte in den zwei Untersuchungsgebieten obere Rheinebene und Hegau in Baden-Württemberg.

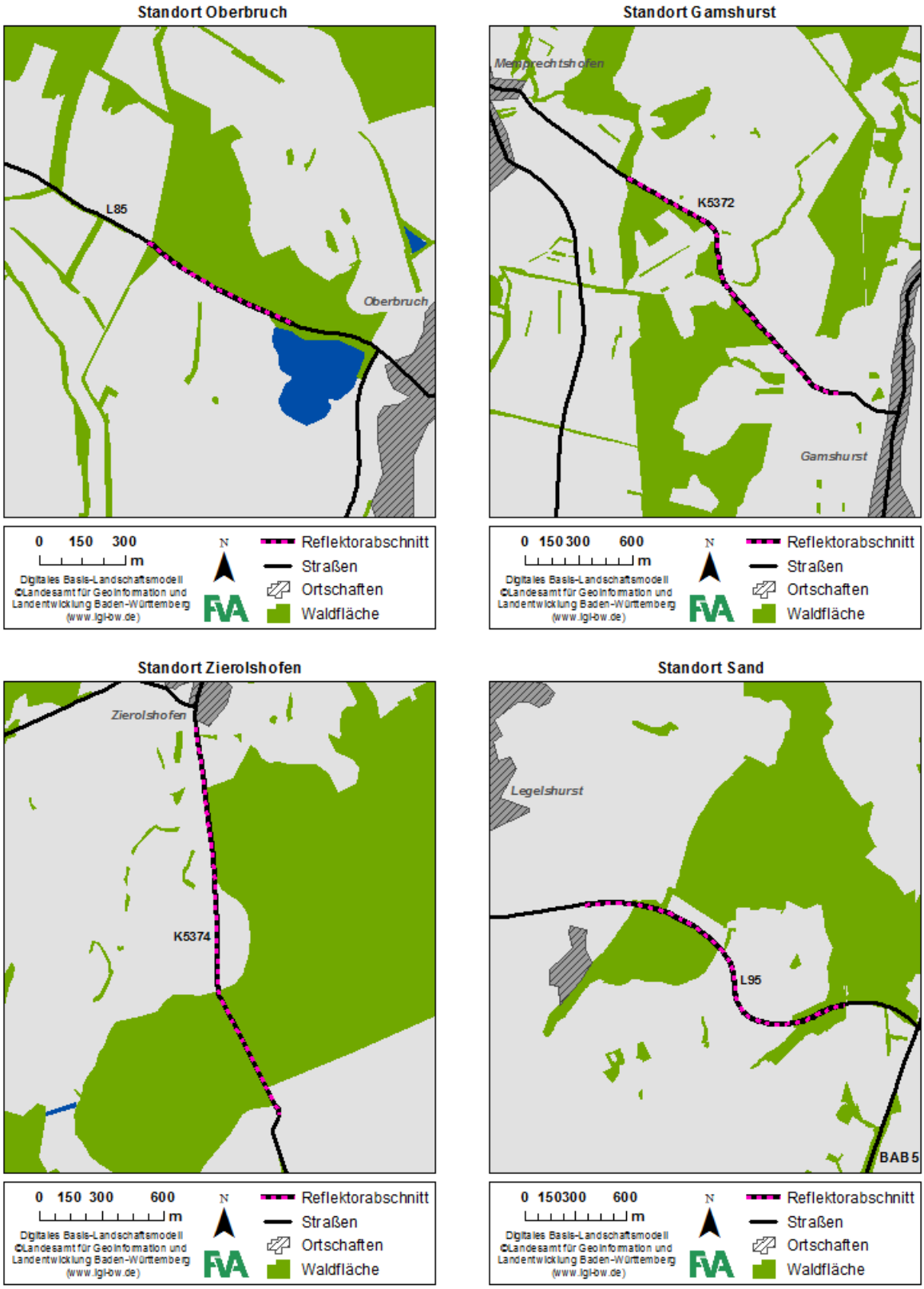


Abb. 7: Schematische Übersicht der Straßenabschnitte in der oberen Rheinebene. An den Standorten Oberbruch, Gamshurst, Zierolshofen und Sand wurden beidseitig der Straße Wildwarnreflektoren an Leitpfosten ausgebracht.

6.1.2 Verkehrszählung und Verkehrsvolumen

Die Dokumentation des Verkehrsaufkommens an den fünf Standorten erfolgte mittels Verkehrszählgeräten der Firma Datacollect. Jeder der fünf Standorte wurde mit einem Zählgerät ausgestattet. Die Anlagen bestehen aus einer Hartplastikbox, in der ein Radarmessgerät eingebaut ist. Diese wird mit der Box nach Absprache mit den zuständigen Straßen-meistereien an einen Verkehrsschildpfosten montiert (Abb. 8). Die Messung des Verkehrsaufkommens (gemessene Variablen: Datum, Uhrzeit, Geschwindigkeit und Fahrzeugklasse des erfassten Fahrzeuges) erfolgt automatisch durch das Gerät. Die Daten wurden auf den Geräten gespeichert und in regelmäßigen Abständen mit einem Auslesegerät (Tungsten Palm TX) heruntergeladen.

Verkehrsdaten wurden an den folgenden Standorten über folgende Zeiträume erhoben:

Oberbruch:	18.08.2011 bis 15.11.2014
Gamshurst:	18.08.2011 bis 30.06.2014
Zierolshofen:	21.02.2012 bis 28.06.2014
Sand:	04.05.2012 bis 29.10.2014
Stetten:	26.04.2012 bis 29.08.2014

Abb. 8: Montiertes SDR-Gerät zur Erfassung des Verkehrsaufkommens am Standort Stetten.

6.1.3 Rehfang und Telemetrie

Um die Tiere mit GPS-Sendern ausstatten zu können, wurden diese mit unterschiedlichen Methoden gefangen. Über vier Fangzeiträume kamen sowohl Kastenfallen als auch der Fang mit Netzen zum Einsatz (Abb. 9 und Abb. 10). Beides sind bewährte und sichere Methoden zum Fang von Huftieren (Schemnitz 1996; López-Olvera et al. 2009). Rehe wurden im Februar und März des Jahres 2010 sowie zwischen dem 1. Oktober und 31. März der Winter 2010/11, 2011/12 und 2012/13 gefangen. Fänge sind aufgeschlüsselt nach Fangzeitraum und Standort in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Fangerfolg sortiert nach Fangperiode (links) und Standort (rechts).

Jahr	Gefangen	Besendert
*	*	*
2010	6	5
2010/11	12	9
2011/12	35	29
2012/13	7	4
Total	**60**	**47**

Standort	Gefangen	Besendert
Sand	10	9
Gamshurst	14	11
Oberbruch	6	5
Zierolshofen	13	10
Stetten	17	12
Total	**60**	**47**

Von 60 gefangenen Tieren wurden insgesamt 47 Tiere mit GPS Halsbandsendern ausgestattet (21♂/39♀). 13 Tiere hatten zum Fangzeitpunkt nicht das Mindestgewicht von 15 kg und wurden ohne GPS-Halsband laufen gelassen. Es wurden 21 einjährige und 19 zweijährige Tiere besendert, sowie 7 Tiere, welche zum Zeitpunkt der Besenderung schon älter als 2 Jahre waren. Es kamen

Telemetrie-Halsbänder für Rehe der Firma e-obs GmbH zum Einsatz (Gewicht ca. 370 g; Batteriekapazität ca. 50.000 GPS Positionen; horizontaler GPS-Fehler ca. 10 m; Abb. 11). Die Sender wurden auf ein GPS-Intervall von 15 Minuten programmiert, sofern Aktivität verzeichnet wurde. In Ruhephasen (keine Aktivität verzeichnet) wurde nur alle zwei Stunden eine Position der Tiere aufgenommen.

Abb. 9: Rehfang mit Kastenfallen. Seitenansicht der Kastenfalle mit ausgeklappten Trageholmen; der Auslösemechanismus verbirgt sich unter der braunen Abdeckung auf dem Deckel der Kastenfalle (oben links); Falle im geschlossenen Zustand an einem Fangstandort (oben rechts). Rehe wurden mit Apfeltrester in die Fallen gelockt und durch deren Aktivität in den Kastenfallen die Falltüren ausgelöst. Ein bereits besendertes Reh (Paula; ID 33) wird aus der Kastenfalle entlassen (unten links); die Aufnahme unten rechts zeigt ein besendertes Reh in der Nähe einer Kastenfalle.

Beim Fang wurde jedes Reh mit einer roten bzw. gelben Ohrmarke der Firma Primaflex Größe 1 (adulte Tiere) oder Größe 0 (Kitze) markiert, die mit individuellen Nummern gekennzeichnet waren. Zusätzlich wurde das Geschlecht sowie das Alter der Tiere bestimmt (als 1 oder 2-jähriges Tier, bzw. 2+). Im Fall einer Besenderung erfolgte die Dokumentation der Körpermaße wie Gewicht, Halsumfang und Hinterfußlänge. Außerdem wurde der Gesundheitszustand der Tiere basierend auf Parasitenbefall und Ernährungszustand eingeschätzt. Während des Fangs kam es vereinzelt zu geringfügigen Verletzungen am Bastgehörn oder Schürfwunden an der Nase. Schwerwiegende Verletzungen der Tiere blieben aus.

Nach Ablauf der Datenerhebung wurden die Telemetrie-Halsbänder eingesammelt und können nach technischer Überarbeitung wiederverwendet werden. Die Rücknahme erfolgte entweder durch Abschuss im Rahmen des jagdlichen Abschussplans oder wenn Tiere durch Verkehrsunfälle oder durch natürliche Mortalität ums Leben kamen. Die Konstruktion der Telemetrie-Halsbänder erwies sich als sehr robust. Trotz Verkehrsunfällen funktionierte weiterhin die Technik der Halsbänder und die Sender wiesen nur Materialabriebe auf.

Abb. 10: Rehfang mit Netzen. Ein Feld wird mit Netzen umstellt und in regelmäßigen Abständen Personen als Fänger postiert (oben links). Rehe, die sich im Feld befinden, werden in Richtung Netze getrieben, so dass die Tiere in den Netzen von den Fängern fixiert werden können, damit ein Befreien der Tiere verhindert wird. Im direkten Anschluss werden die Tiere besendert und wieder freigelassen. Quelle: Klaus Echle.

Abb. 11: GPS-Telemetriehalsband der Firma e-obs GmbH für Rehe (li: unbenutzt mit Größenvergleich, Mitte: geringe Abschürfungen an Komponenten nach Verkehrsunfall, re: während Datenaufnahme).

6.1.4 Ausbringen der Wildwarnreflektoren

Der Test mehrere Reflektormodelle in Modul 1 wurde aus analytischen Gründen verworfen, mit dem Ziel, statistisch belastbare Ergebnisse zu erzielen. Daher erfolgte die Beschränkung auf den blauen Halbkreisreflektor der Firma Schilderwerk Beutha mit der Gebrauchsmuster Nummer 202004019751.0 (Abb. 12), da dieser in Baden-Württemberg am häufigsten zur Anwendung kommt. Auf der Gesamtlänge der zuvor definierten Straßenabschnitte wurden auf beiden Fahrbahnseiten die die blauen Halbkreisreflektoren an allen Straßenleitpfosten montiert. Reflektoren wurden damit an geraden Strecken in Abständen von 50 Meter (entspricht dem Abstand der Leitpfosten) angebracht. In Kurven ist der Abstand der Leitpfosten geringer und damit auch der Abstand zwischen den ausgebrachten Reflektoren. An allen Standorten wurde das Rehverhalten zunächst ohne Wildwarnreflektoren für mindestens ein Jahr beobachtet. Nach dieser ersten Untersuchungsphase wurden Wildwarnreflektoren wie folgt an den einzelnen Standorten montiert:

Oberbruch:	04.07.2012	auf ca. 590 m Gesamtlänge
Gamshurst:	04.07.2012	auf ca. 1.780 m Gesamtlänge
Zierolshofen:	11.01.2013	auf ca. 1.950 m Gesamtlänge
Sand:	24.01.2013	auf ca. 1.910 m Gesamtlänge
Stetten:	05./14.03.2013	auf ca. 1.440 m (870+570 m) Gesamtlänge

Die Anbringung der Wildwarnreflektoren erfolgte in der zweiten Hälfte des Untersuchungszeitraums an allen Standorten (Abb. 13).

Abb. 12:
Blauer Halbkreisreflektor der Firma Schilderwerk Beutha, der an allen Standorten in den beiden Untersuchungsgebieten zum Einsatz kam.

Abb. 13: Laufzeiten und Grund des Ausfalls der Telemetriesender an den fünf Standorten. Für jedes besenderte Tier (zweistellige ID) sind Geschlecht (G) und Alter (A) angeführt. Die rote Linie bezeichnet den Zeitpunkt der Installation der Reflektoren an den einzelnen Standorten.

6.1.5 Bereinigung der GPS-Daten

Die Genauigkeit der mittels GPS bestimmten Positionen ist abhängig von der Verbindungsqualität des Halsbandes zu den GPS-Satelliten. Diese ist in Feldstudien nicht konstant, sondern variiert in Abhängigkeit von der Wetterlage, der Körperhaltung des Tieres aber vor allem der Topografie der Landschaft (z.B. Bergrücken gegenüber Tal) und dem Grad der Überschirmung im Habitat (z.B. Wald mit hohem Kronenschlussgrad gegenüber offenem Feld). Hierdurch entsteht eine Unsicherheit in der Positionsbestimmung, welche mittels des horizontalen Fehlers in Meter ausgedrückt werden kann. Eine systematische Analyse der Halsbandgenauigkeit ergab, dass die GPS Positionen der e-obs Telemetriehalsbänder unter den gegebenen Umweltbedingungen im Mittel eine Positionsgenauigkeit von ca. 10 Meter aufweisen (Mangold 2012). Um Straßenquerungen möglichst genau zu erfassen und um fehlerhafte Straßenquerungen (Straßenquerung aufgrund ungenauer Positionsbestimmung) möglichst auszuschließen, wurden in den Analysen nur GPS-Positionen verwendet, die eine geschätzte Genauigkeit von < 10 m aufwiesen (horizontal accuracy < 10).

6.1.6 Raumnutzung der Rehe im Straßenrandbereich und Querungsverhalten

Durch die Besenderung von Rehen konnten deren Bewegungen mit einer hohen zeitlichen Auflösung im Gelände nachverfolgt werden. In Modul 1 werden die beobachteten Bewegungen in Bezug auf die Straße und den Straßenverkehr ausgewertet. Hierzu wurden die Straßenquerungen im Jahresverlauf und im Tagesverlauf von allen besenderten Rehen deskriptiv dargestellt. Zusätzlich werden Grafiken von vier ausgewählten Rehen im Bericht erstellt, um charakteristische Raumnutzungsmuster zu visualisieren. Hierfür wurden beispielhaft jeweils zwei Rehgeißen aus den Untersuchungsgebieten Oberbruch: Gertrud (ID 11) und Jutta (ID 20) sowie in Sand: Charlotte (ID 6) und Beate (ID 51) ausgewählt. Im Anhang 13.1 ist das Raumnutzungsmuster aller Rehe in Form von Karten dargestellt.

Die Streifgebiete wurden mittels Kerndichteschätzung (kernel density estimation) in R mit dem Paket adehabitatHR (Calenge 2006) berechnet. Es wurden Kernel mit einer Kerndichte von 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 (0.95) und 0.99 berechnet. Der Glättungsparameter (h) wurde bei allen Kerndichteschätzungen auf 20 gesetzt. Die GPS-Positionen von den besenderten Tieren wurden für einige Analyse in Laufstrecken umgewandelt. Zunächst wurden hierfür alle GPS-Punkte nach Individuum und Zeit sortiert. Anschließend wurden die GPS-Punkte in Laufstrecken umgewandelt, indem pro Tier jeweils zwei aufeinanderfolgende GPS-Positionen miteinander verbunden wurden (Abb. 14). Die räumliche Genauigkeit der beobachteten Laufstrecke wird stark von der zeitlichen Distanz der beiden GPS-Punkte bestimmt (je weiter die beiden GPS-Punkte auseinander liegen, desto größer kann die beobachtete Laufstrecke von der tatsächlichen Laufstrecke abweichen). Daher wurden für die Analysen nur Laufstrecken verwendet, bei denen die beiden GPS-Punkte maximal 15 Minuten auseinander lagen. Alle Laufstrecken, die eine der Straßenabschnitte schnitten, wurden als Straßenquerung gewertet.

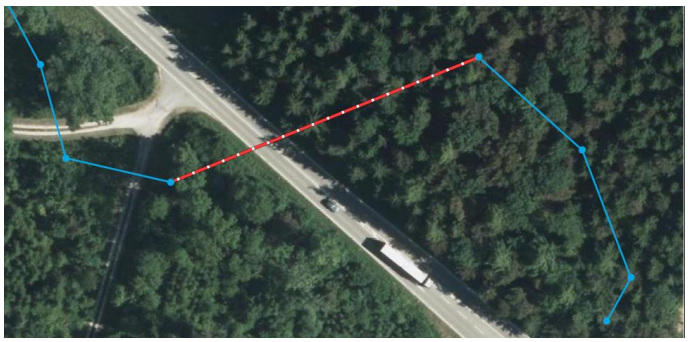


Abb. 14:
Beispielhafte Darstellung einer mit GPS-Telemetrie beobachteten Straßenquerung. Die einzelnen Datenpunkte (blaue Punkte) werden miteinander mit Linien verbunden (blaue Linien). Wechselt das Tier die Straßenseite, erfolgt eine Straßenquerung (rot-gestrichelte Linie).

Der Effekt der Straße auf die Raumnutzung von Rehen wurde mit dem Ivlev-Selektionsindex untersucht. Über den Ivlev-Index wird die beobachtete Habitatnutzung mit dem Habitatangebot verglichen und als:

$$\mathrm{I} = \frac{r_i - p_i}{(r_i + p_i)}$$

berechnet (Ivlev 1961, r_i = Anzahl beobachteter GPS-Punkte im Habitattyp i, p_i = Anzahl Zufallspunkte im Habitattyp i). Der Ivlev-Index nimmt Werte zwischen 1 und -1 an. Ein positiver Wert repräsentiert Selektion, ein Wert um null repräsentiert zufällige Nutzung und ein negativer Wert Meidung des jeweiligen Habitattyps. Die GPS-Positionen dokumentieren die beobachtete Habitatnutzung. Für die Berechnung des Habitatangebots wurde pro Individuum die gleiche Anzahl von Zufallspunkten in das Streifgebiet gelegt. Für jeden Punkt wurde anschließend der Habitattyp (Offenland oder Wald), die Entfernung zur Straße und die Tageszeit berechnet. Im Habitattyp Wald wurden Waldflächen und Heckenstrukturen zusammengefasst. Die Entfernung zur Straße wurde in Klassen von 10 Metern kategorisiert. Alle GPS-Positionen, die nach bzw. vor der bürgerlichen Dämmerung lagen (Sonnenstand < 6° unter dem Horizont) wurden als Nacht klassifiziert. Abschließend wurde für jedes Reh der Ivlev-Index für die Entfernungsklasse zur Straße, den Habitattyp (Wald/Offenland) und die Tageszeit (Tag/Nacht) berechnet.

6.1.7 Einfluss der Reflektoren auf die Häufigkeit von Straßenquerungen

Die Senkung der Querungshäufigkeit an ausgewählten Risikostandorten ist eine mögliche Wirkungsweise von Wildwarnreflektoren für die Verkehrssicherheit. In diesem Teil des Projektmoduls wurde der Frage nachgegangen, ob ein Ausbringen von Wildwarnreflektoren an ausgewählten Straßenabschnitten zu einem Rückgang in der Häufigkeit der wöchentlich beobachteten Straßenquerungen geführt hat.

Konkret wurden in diesem Projektmodul die folgenden Hypothesen untersucht:

- $H_{1.1}$: Wildwarnreflektoren haben eine signifikant negative Auswirkung auf die Häufigkeit von Straßenquerungen durch die Tiere.
- $H_{1.2}$: Die Anzahl Straßenquerungen variiert mit der räumlichen Aktivität der Tiere. In Phasen hoher räumlicher Aktivität treten viele Querungen auf.
- $H_{1.3}$: Straßen im Streifgebiet werden nach Verfügbarkeit genutzt. Das heißt, Tiere mit langen Straßenabschnitten in ihrem Streifgebiet queren diese häufiger.

Für die Beantwortung der Fragestellung wurden nur Telemetrie-Daten von Tieren verwendet, die über den Mindestzeitraum von einem Jahr ein stabiles Streifgebiet mit tatsächlichem Zugang zu

einem Straßenabschnitt mit Wildwarnreflektoren aufwiesen. Dies diente dazu, diejenigen Tiere aus der Auswertung auszuschließen, deren Streifgebiet abseits der Straße lag (kein Straßenkontakt) oder während dem Untersuchungszeitraum aus dem Untersuchungsgebiet abgewandert sind (n = 2). Letztere wurden aus der Untersuchung ausgeschlossen, um einem systematischen Fehler auszuschließen, wenn eine Ab- oder Zunahme von Querungen auf eine Streifgebietsverschiebung zurückging. Nach Anwendung der Kriterien verblieben 32 Rehe in der Auswertung, hiervon waren 12 männliche Tiere und 20 weibliche Tiere (s. Tab. 12, 13.1 Anhang).

Ein möglicher Effekt der Wildwarnreflektoren auf die wöchentliche Anzahl Straßenquerungen wurde mit Hilfe von Regressionsmodellen untersucht. Hierbei wurden neben der Präsenz von Wildwarnreflektoren ($H_{1.1}$) folgende Prädiktoren berücksichtigt: Die wöchentlich zurückgelegte Distanz ($H_{1.2}$; als die Summe der wöchentlich zurückgelegten Laufstrecke), die Länge des Straßenabschnitts im Streifgebiet des Tieres relativ zur Streifgebietsgröße ($H_{\mathbf{1.3}}$) und die relative Position des Streifgebietes eines Tieres zur Straße (nominal: ‚angrenzend' und ‚überlagernd'). Für statistische Analysen wurde die freie Software R Version. 3.1.2 genutzt (R Core Team 2016). Die Streifgebietsgröße wurde mit der Minimum-Konvex-Polygon (MCP) Methode geschätzt. Hierfür wurden 90 % der GPS-Positionen verwendet (90 % MCP), da eine weitere Inklusion von 5 % der Positionen (95 % MCP) zu einer Größenzunahme von durchschnittlich 30 % führte, was als eine Überschätzung der Streifgebietsgröße durch Exkursionen angesehen wurde. Für alle Streifgebiete wurde anschließend die Länge der Straße und die Länge des Reflektorabschnitts pro Hektar Streifgebiet sowie die relative Position des Streifgebietes zum Straßenabschnitt als ‚angrenzend' bzw. ‚überlagernd' bestimmt (Tabelle 3, S. 40).

Detaillierte Informationen zur Methodik sowie Ergebnissen siehe Kämmerle, J.-L., Brieger, F., Kröschel, M., Hagen, R., Storch, I., Suchant, R. (2017): Temporal patterns in road crossing behaviour in roe deer at sites with wildlife warning reflectors PLoS ONE 12(9): e0184761. https://doi.org/10.1371/ journal.pone.0184761

6.1.8 Einfluss der Reflektoren auf den Zeitpunkt von Straßenquerungen

Neben einer Reduktion der Querungshäufigkeit stellt eine Verschiebung im Zeitpunkt der Querungen eine weitere mögliche Anpassung der Tiere an die Reflektoren dar. Findet eine solche Verschiebung weg von Zeiten mit hohem Verkehrsaufkommen statt, könnte hierdurch eine Wirksamkeit von Wildwarnreflektoren erklärt werden. Um dieser Frage nachzugehen, wurden die durch Telemetrie erhobenen Querungen mit Fokus auf den Zeitpunkt der Querung untersucht.
Konkret wurden die folgenden Hypothesen untersucht:

- $H_{1.4}$: Wildwarnreflektoren haben eine signifikante Auswirkung auf den Zeitpunkt von Straßenquerungen. Es kommt zu einer Verschiebung der Querungsaktivität weg von Tageszeiten an denen hohes Verkehrsaufkommen in der Dunkelheit mit der Aktivität der Tiere zusammenfällt.
- $H_{1.5}$: Querungen treten mit höherer Wahrscheinlichkeit auf, wenn die räumliche Aktivität der Tiere zunimmt. Querungen reflektieren die tageszeitlichen Aktivitätsmuster der Rehe.
- $H_{1.6}$: Querungen erfolgen mit höherer Wahrscheinlichkeit, wenn ein geringes Verkehrsaufkommen vorhanden ist. Straßenquerungen reflektieren demnach das Verkehrsaufkommen an den Standorten.

Für die Beantwortung der Fragestellung wurden in einem Regressionsmodel diejenigen Stunden des Tages, an welchen Querungen verzeichnet wurden, mit denjenigen verglichen, an welchen für die jeweiligen Tiere kein Querungsereignis verzeichnet wurde. Hierbei wurden neben der Präsenz von Wildwarnreflektoren ($H_{1.4}$) folgende Prädiktoren untersucht: Die zurückgelegte Distanz in jeder Stunde des Tages ($H_{1.5}$; als die Summe der stündlich zurückgelegten Lauftrecke), das stündliche Verkehrsaufkommen an den Standorten ($H_{1.6}$), die Tageslänge sowie eine Zuordnung der Stunden in die Helligkeits- respektive Dunkelheitsphase eines Tages. Diese Zuweisung erfolgte basierend auf der bürgerlichen Dämmerung wobei ein Winkel der Sonne von 6 Grad unter dem Horizont angelegt wurde. Die Auswahl der Untersuchungstiere entspricht der Auswahl in 6.1.7. Für statistische Analysen wurde die freie Software R Version 3.1.2 genutzt (R Core Team 2016).

Detaillierte Informationen zur Methodik sowie Ergebnissen siehe Kämmerle, J.-L., Brieger, F., Kröschel, M., Hagen, R., Storch, I., Suchant, R. (2017): Temporal patterns in road crossing behaviour in roe deer at sites with wildlife warning reflectors PLoS ONE 12(9): e0184761. https://doi.org/10.1371/ journal.pone.0184761

6.1.9 Wildunfälle

An den Streckenabschnitten der einzelnen Standorte wurden die Wildunfälle im Rahmen der regulären Jagdstatistik über die Jagdpächter erfasst. Eine Besonderheit war der Standort Oberbruch, an dem die Erfassung der Wildunfälle über die Verkehrspolizei erfolgte und die Entsorgung der Kadaver vor der Straßenmeisterei Brühl durchgeführt wurde. Für die Projektarbeit wurden die Wildunfalldaten für den Untersuchungszeitraum bei den Jagdpächtern direkt bzw. über die Gemeinden abgefragt. Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs und der starken Heterogenität in den Daten konnten die Ergebnisse nur deskriptiv dargestellt werden.

6.2 ERGEBNISSE DES PROJEKTMODULS

6.2.1 Verkehrsaufkommen

Das gemittelte stündliche Verkehrsaufkommen im Tages- sowie Jahresverlauf ist für alle fünf Standorte in Abb. 15 bis Abb.17 dargestellt. Insgesamt wurden mit den Verkehrszählgeräten rund 9.6 Mio. Fahrzeuge an den fünf Standorten im Zeitraum von drei Jahren registriert. Am Standort Oberbruch wurden mit rund 3,30 Mio. Fahrzeugen die höchste Anzahl erfasst, gefolgt von Gamshurst mit 1,86 Mio., Sand mit 1,72 Mio., Stetten mit 1,61 Mio. und Zierolshofen mit 0,75 Mio. Fahrzeugen.

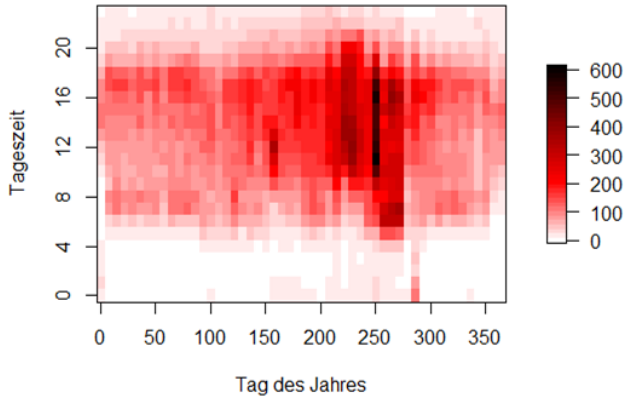


Abb. 15: Gemitteltes stündliches Verkehrsaufkommen im Jahresverlauf am Standort Stetten im Hegau. Das erhöhte Verkehrsaufkommen im August 2013 resultiert aus einer verkehrsbedingten Umleitung.

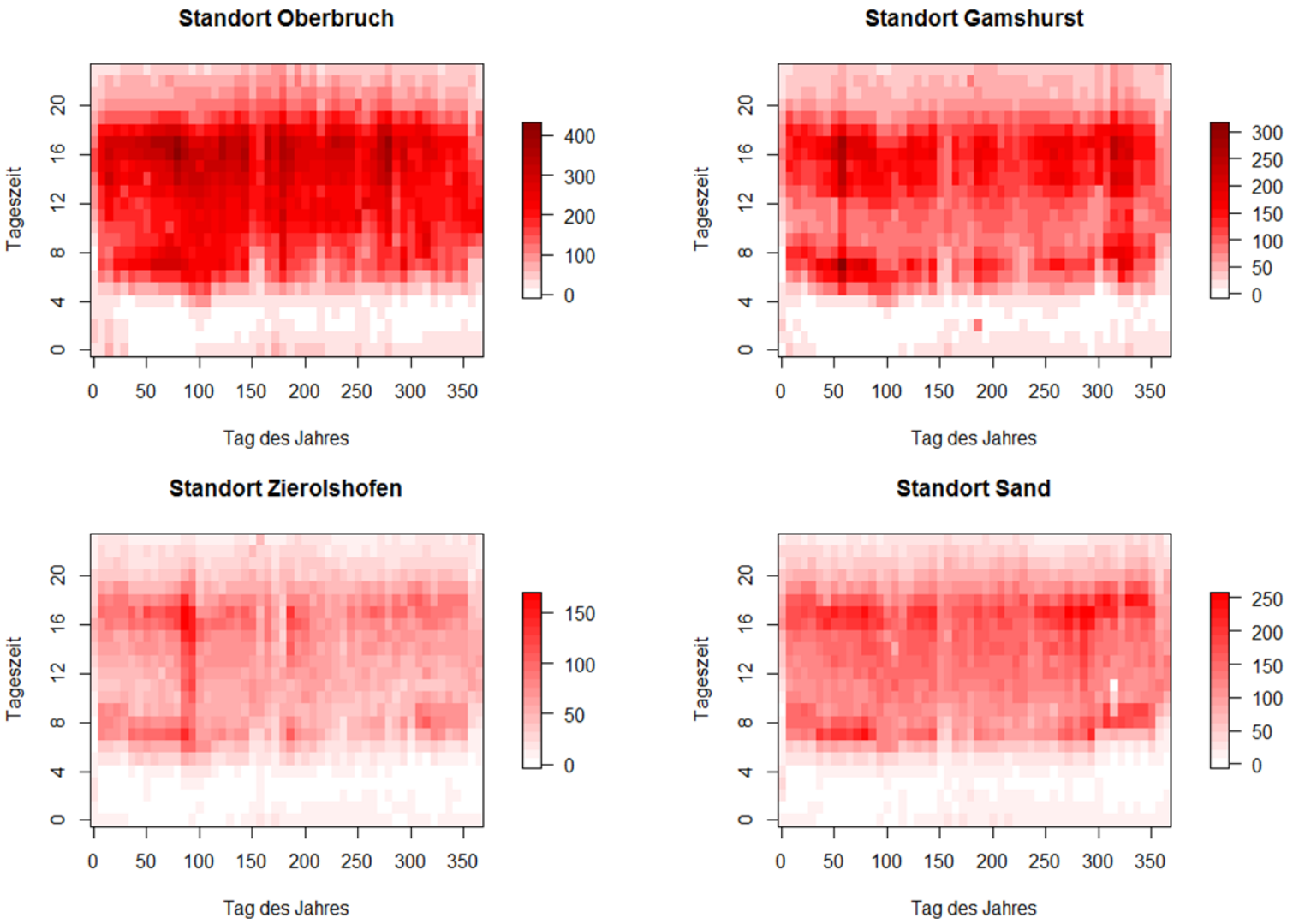


Abb. 16: Gemitteltes stündliches Verkehrsaufkommen im Jahresverlauf an den Standorten Oberbruch, Gamshurst, Zierolshofen und Sand in der oberen Rheinebene. Das absolute Verkehrsvolumen unterscheidet sich zwischen den Standorten.

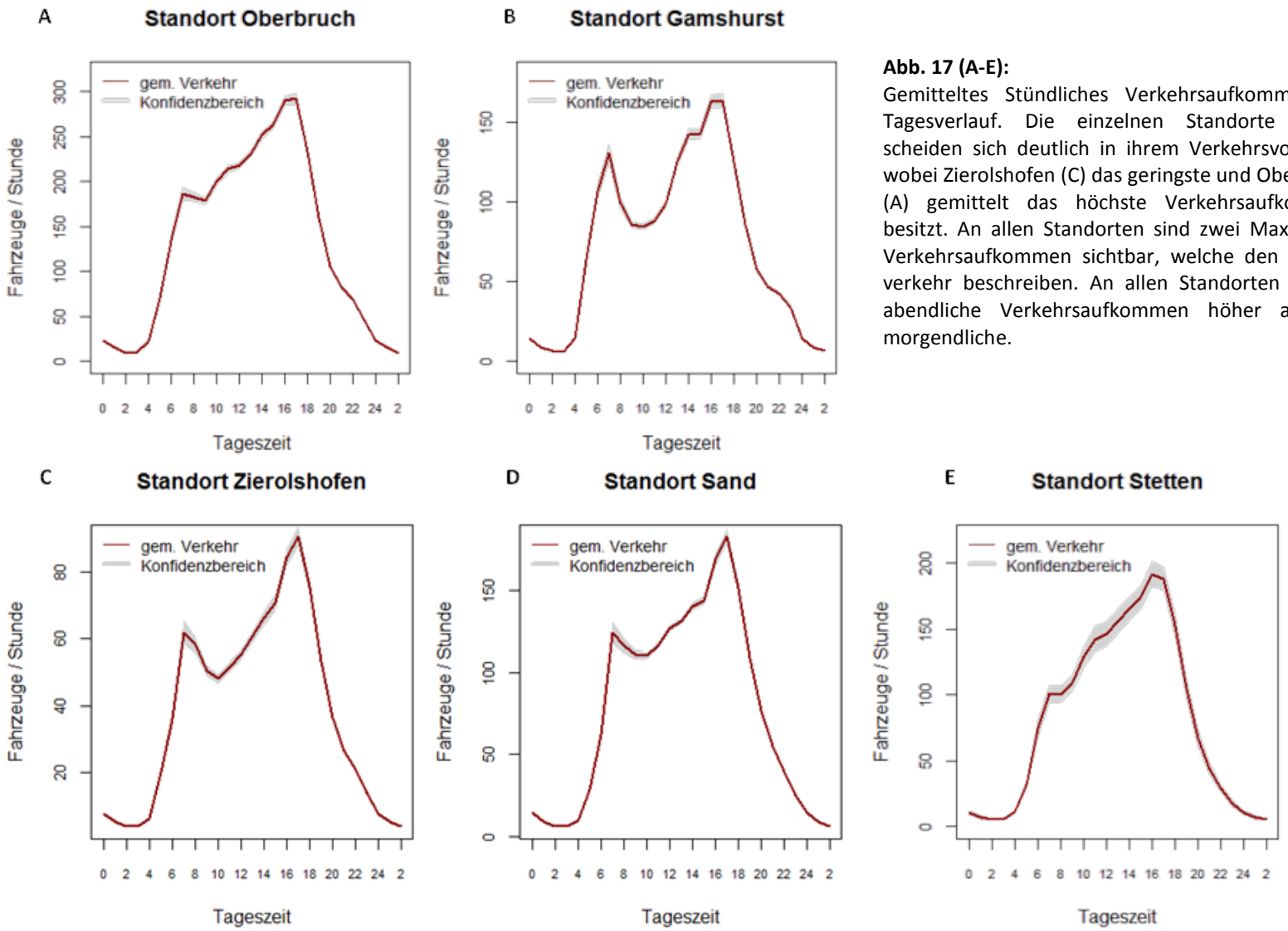


Abb. 17 (A-E):
Gemitteltes Stündliches Verkehrsaufkommen im Tagesverlauf. Die einzelnen Standorte unterscheiden sich deutlich in ihrem Verkehrsvolumen, wobei Zierolshofen (C) das geringste und Oberbruch (A) gemittelt das höchste Verkehrsaufkommen besitzt. An allen Standorten sind zwei Maxima im Verkehrsaufkommen sichtbar, welche den Berufsverkehr beschreiben. An allen Standorten ist das abendliche Verkehrsaufkommen höher als das morgendliche.

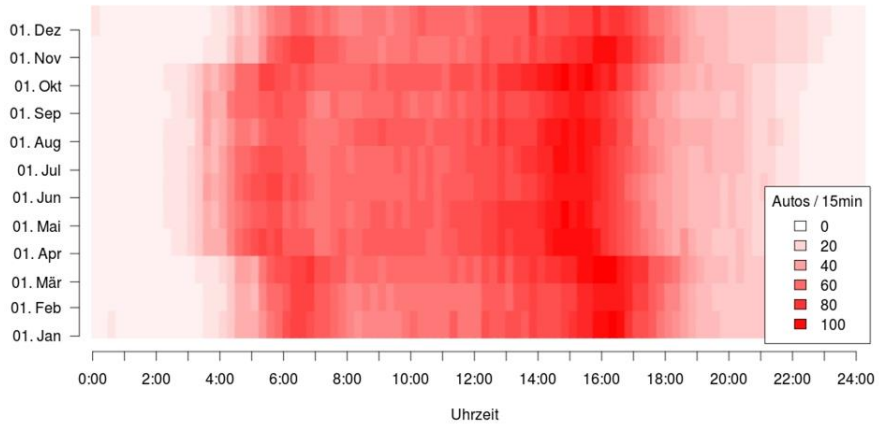


Abb. 18: Gesamtes Verkehrsaufkommen aggregiert im Jahresverlauf und an allen Standorten. Die Verschiebung der Daten zwischen April und Oktober beruht auf der Zeitumstellung (Zeitzone UTC).

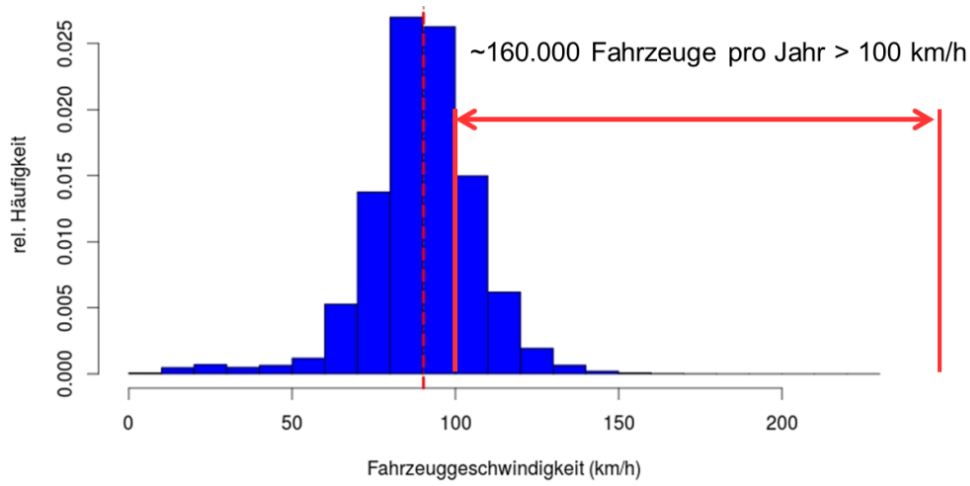


Abb. 19: Verteilung der Fahrzeuggeschwindigkeiten beispielhaft am Straßenabschnitt in Gamshurst. Deutlich ist der hohe Anteil an Fahrzeugen zu erkennen mit Fahrgeschwindigkeiten über der maximalen Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h. An allen Standorten war dies zu beobachten. Es wurden an allen fünf Standorten Geschwindigkeiten von 200 km/h und mehr gemessen.

Die Verkehrsdaten zeigen unterschiedliche Aspekte:

1. An allen Standorten traten im Tagesverlauf eindeutige Spitzen im Verkehrsaufkommen auf. Diese wurden in den Morgen- und Abendstunden durch den Pendlerverkehrs verursacht. Eine Ausnahme bildete der Standort E in Stetten, an dem eine ausgeprägte Spitze in den Morgenstunden fehlte. Am Standort Oberbruch war die morgendliche Spitze weniger ausgeprägt, wie an den Standorten B-D.
2. Die Verteilung der Fahrzeuggeschwindigkeiten über alle Standorte war annähernd normalverteilt und zeigt die häufigsten Ereignisse in der Klasse zwischen 80-90 km/h, gefolgt von der Klasse zwischen 90-100 km/h.
3. Die Durchschnittsgeschwindigkeit betrug über alle fünf Standorte 89 km/h.
4. Eine große Anzahl an Fahrzeugen fuhr schneller als 100 km/h, was rund 160.000 Fahrzeugen pro Jahr entspricht.
5. Die beobachtete maximale Fahrzeuggeschwindigkeit lag am 18.08.2012 um 20:41 Uhr bei 237 km/h. Geschwindigkeiten von 200 km/h und mehr wurden an allen Standorten aufgezeichnet. Die maximalen Werte pro Standort sind:

Gamshurst	Oberbruch	Sand	Stetten	Zierolshofen
226 km/h	236 km/h	201 km/h	237 km/h	217 km/h

6. Nach Anbringung der Wildwarnreflektoren nahm die Geschwindigkeit der Verkehrsteilnehmenden über alle Standorte im Mittel um 1,3 km/h zu.

Checkbox: Einfluss Wildwarnreflektoren auf die Fahrgeschwindigkeit
Weitere Informationen zum Effekt von Wildwarnreflektoren auf Verkehrsteilnehmende im Anhang 13.1 „Einfluss Wildwarnreflektoren auf die Fahrgeschwindigkeit“.

6.2.2 Raumnutzung der Rehe im Straßenrandbereich und Querungsverhalten

Von den 47 hauptsächlich im Straßenrandbereich besenderten Rehen gelang es nur zwei Rehen, sich dem Straßennetz vollends zu entziehen (siehe auch GPS-Daten der einzelnen besenderten Rehe in Tabelle 13, Anhang 13.1). Beide Rehe hatten ihr Streifgebiet abseits der Straße, sodass bei ihnen keine Straßenüberquerung beobachten werden konnte. Alle anderen Rehe hatten in ihrem Streifgebiet direkten Kontakt zur Straße. Die Anzahl an beobachteten Straßenüberquerungen variierte stark zwischen den einzelnen Rehen (Abb. 20; s. Tabelle 13, Anhang 13.1). Während bei manchen Rehen bis zu 60 Straßenüberquerungen pro Woche beobachtet wurden, überquerten andere die Straße nur wenige Male im Jahr.

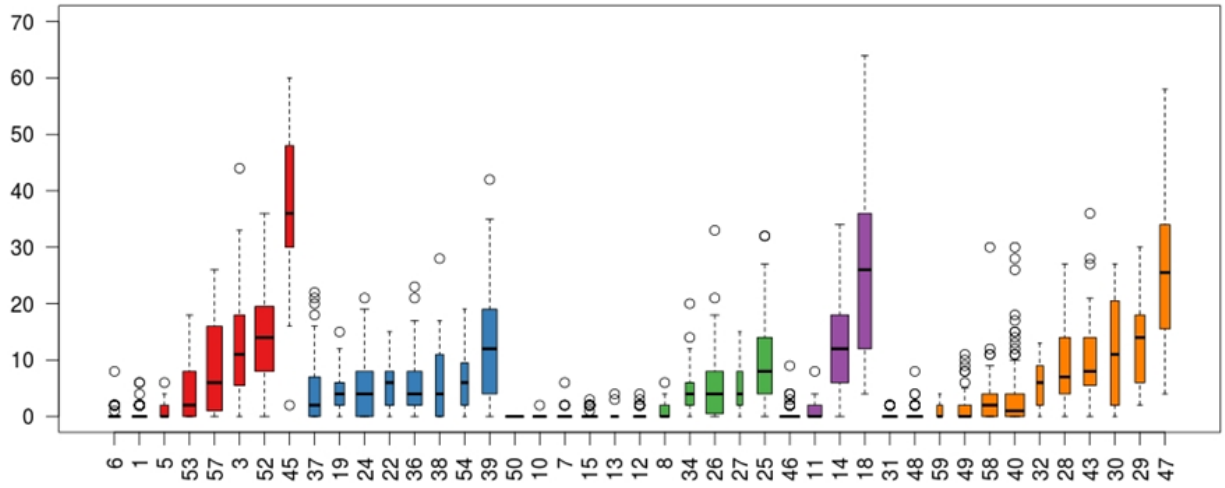


Abb. 20: Anzahl der wöchentlichen Straßenquerungen für jedes der Untersuchungstiere. Die Tiere sind farblich nach den Standorten sortiert (rot = Sand, blau = Zierolshofen, grün = Gamshurst, lila = Oberbruch, orange = Stetten). Die schwarzen Balken der Boxplots zeigen den Median, die Box das untere und obere Quartil und die Whiskers die Maximum- und Minimumwerte. Die breite der Box spiegelt die Anzahl der beobachteten Straßenquerungen wieder.

Der Grund für die Variation in den Querungen wird deutlich, wenn man die Position der Straße in räumlichen Bezug zum Streifgebiet der einzelnen Rehe setzt. Rehgeiß Jutta (ID 20, Abb. 21) integrierte zum Beispiel die Straße vollständig in ihr Streifgebiet und querte diese zwangsläufig bei den täglichen Bewegungen im Streifgebiet. Insgesamt konnten bei ihr über 1.700 Straßenüberquerungen beobachtet werden. Dagegen nutzte Rehgeiß Gertrud (ID 11) im gleichen Gebiet und im gleichen Zeitraum die Straße als Streifgebietsgrenze und überquerte diese nur wenige

Male im Untersuchungszeitraum. Beide „Typen“ von Rehen konnten zeitgleich mit ähnlicher Häufigkeit an allen Standorten beobachtet werden.

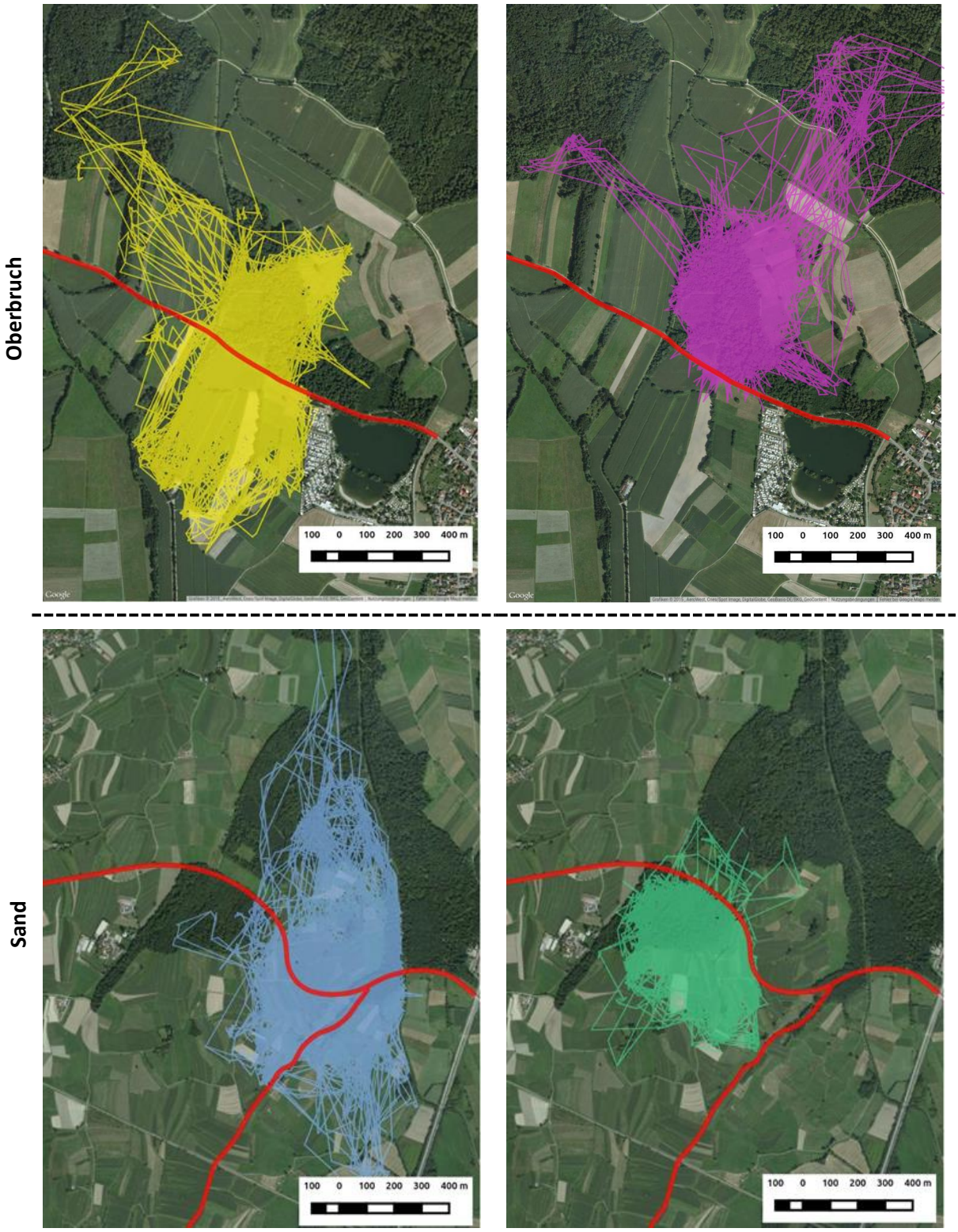


Abb. 21: Streifgebiete von vier besenderten weiblichen Rehen in Oberbruch (oben) und Sand (unten). Während Reh Jutta (ID 20; gelb, links oben) und Beate (DI 51; blau, links unten) die Straße vollständig in ihr Streifgebiet integrierten, nutzten Gertrud (ID 11; lila, rechts oben) und Charlotte (ID 6; grün, rechts unten) die Straße als Streifgebietsgrenze.

Checkbox: Wanderverhalten
Einzelne Tiere zeigten ein interessantes Wanderverhalten. Weitere Informationen im Anhang 13.1 „Wanderverhalten".

Straßenquerungen im Jahresverlauf

Über das Jahr variierten die Straßenquerungen bei den besenderten Rehen. Während zum Beispiel Jutta (ID 20) besonders in den Sommermonaten die Straßen überquerte (Abb. 22), zeigte Beate (ID 51) in diesem Zeitraum ein reduziertes Querungsverhalten (Abb. 23).

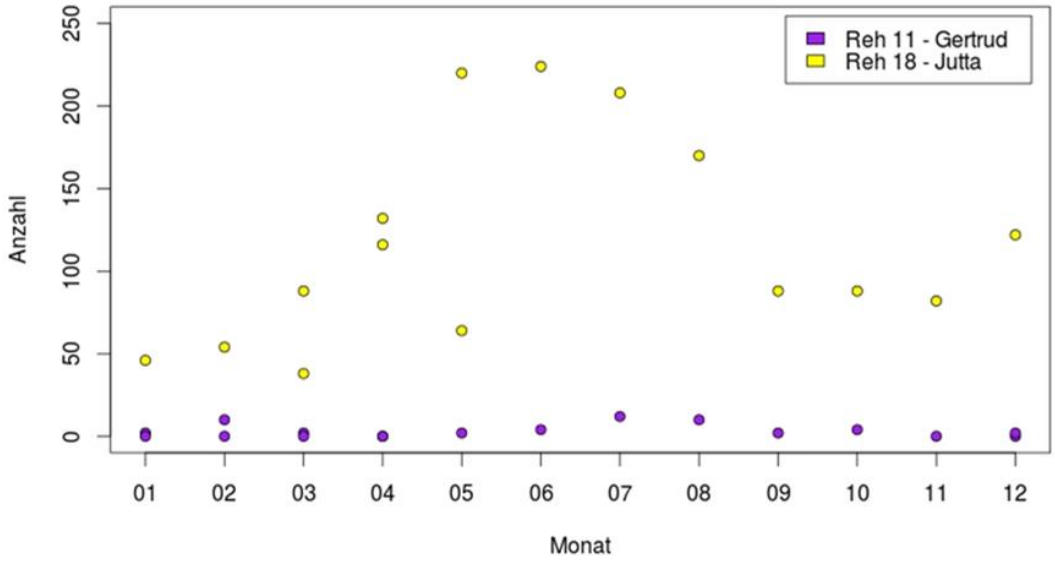


Abb. 22: Anzahl der monatlich beobachteten Straßenquerungen der Rehe Gertrud und Jutta im Untersuchungsgebiet Oberbruch.

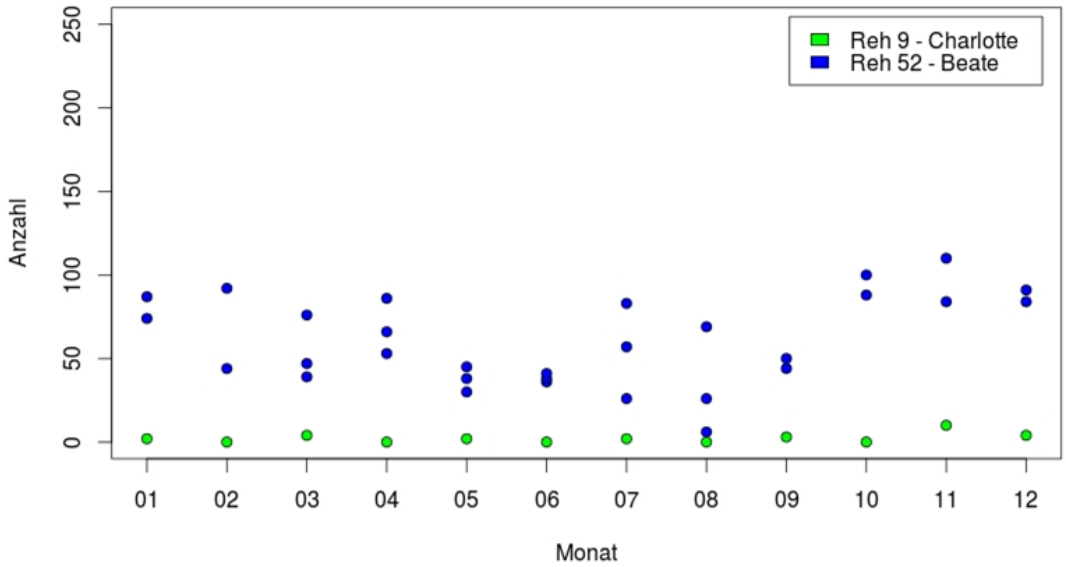


Abb. 23: Anzahl der monatlich beobachteten Straßenquerungen der Rehe Charlotte und Beate im Untersuchungsgebiet Sand.

Über alle Tiere waren die Straßenquerungen durch saisonale Muster geprägt und unterschieden sich stark zwischen den Geschlechtern (Abb. 24). Während bei Rehböcken die Aktivität und damit die Anzahl der Straßenquerungen in den Sommermonaten zunahm und in den Brunftmonaten ein Maximum erreichte, zeigten die Rehgeißen vor allem in den Frühjahrsmonaten während der Setzzeit eine geringere Aktivität und damit weniger Straßenquerungen.

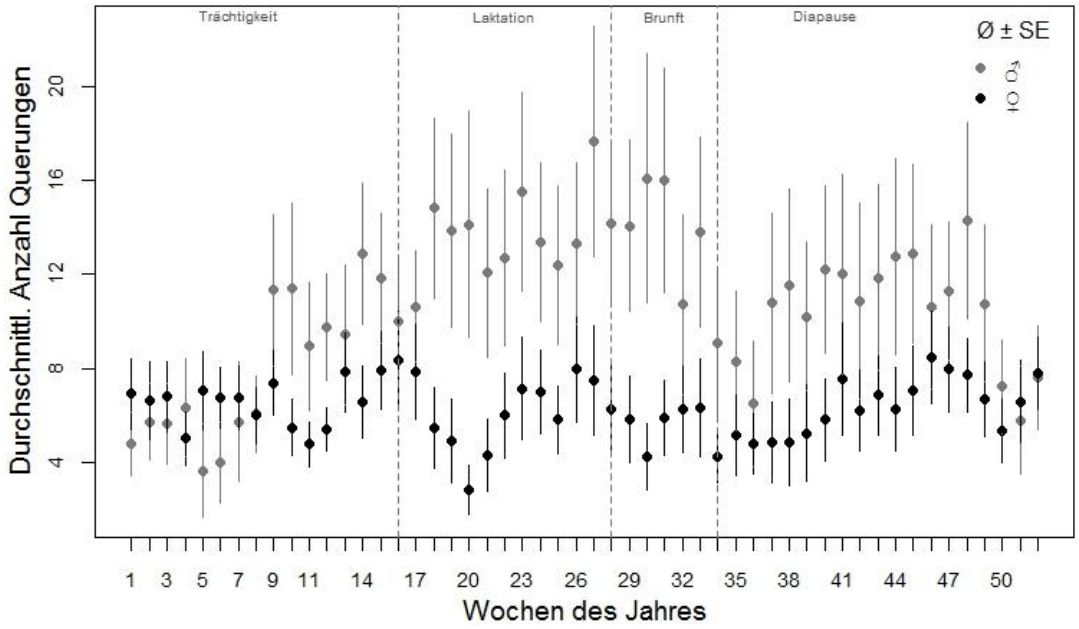


Abb. 24: Durchschnittliche wöchentliche Anzahl an Straßenquerungen aller besenderten Rehe getrennt nach männlichen (hellgrau) und weiblichen Tieren (dunkelgrau). Deutlich sind die Unterschiede beider Geschlechter in Abhängigkeit der Jahreszeit zu erkennen.

Straßenquerungen im Tagesverlauf

Detaillierte Einblicke in die Verteilung der Straßenquerungen im Tages- und Jahresverlauf zeigt Abb. 25. Nach Sonnenuntergang nahm die Gesamtanzahl an beobachteten Straßenüberquerungen für alle Standorte stark zu, blieb die ganze Nacht auf hohem Niveau und reduzierte sich erst am Morgen kurz nach Sonnenaufgang. Auch am Tag wurden besonders über die Sommermonate Straßenüberquerungen beobachtet, diese jedoch weniger häufig. Fügt man zu diesem Bild die täglichen Verkehrszahlen, so lassen sich besonders die Wintermonate als potentiell wildunfallträchtige Monate identifizieren, in denen es zu einem Zusammentreffen des abendlichen Berufsverkehrs und dem Höhepunkt der Reh-Straßenüberquerungen nach Sonnenuntergang kommt (grüne Kreise, Abb. 26).

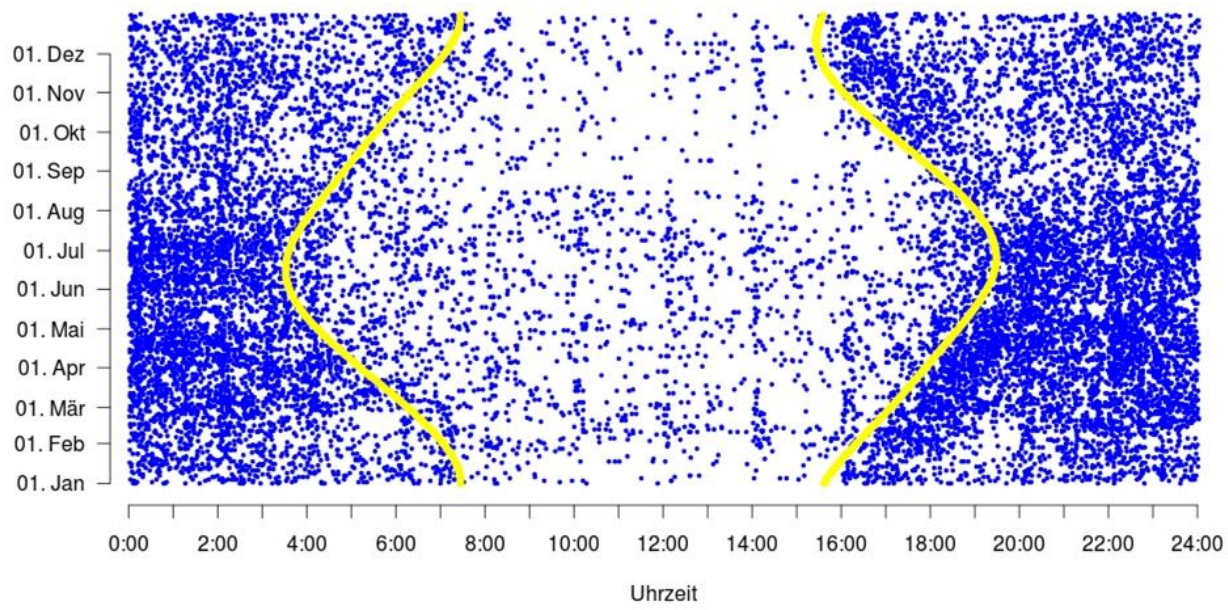


Abb. 25: Straßenquerungen aller besenderten Rehe im Tagesverlauf (x-Achse) und Jahresverlauf (y-Achse) aggregiert für alle fünf Standorten. Insgesamt wurden 13.689 Straßenquerungen von 32 Rehen registriert. Jeder blaue Punkt repräsentiert eine Straßenquerung. Die gelben Linien stellen Sonnenauf- und Sonnenuntergang im Jahresverlauf dar.

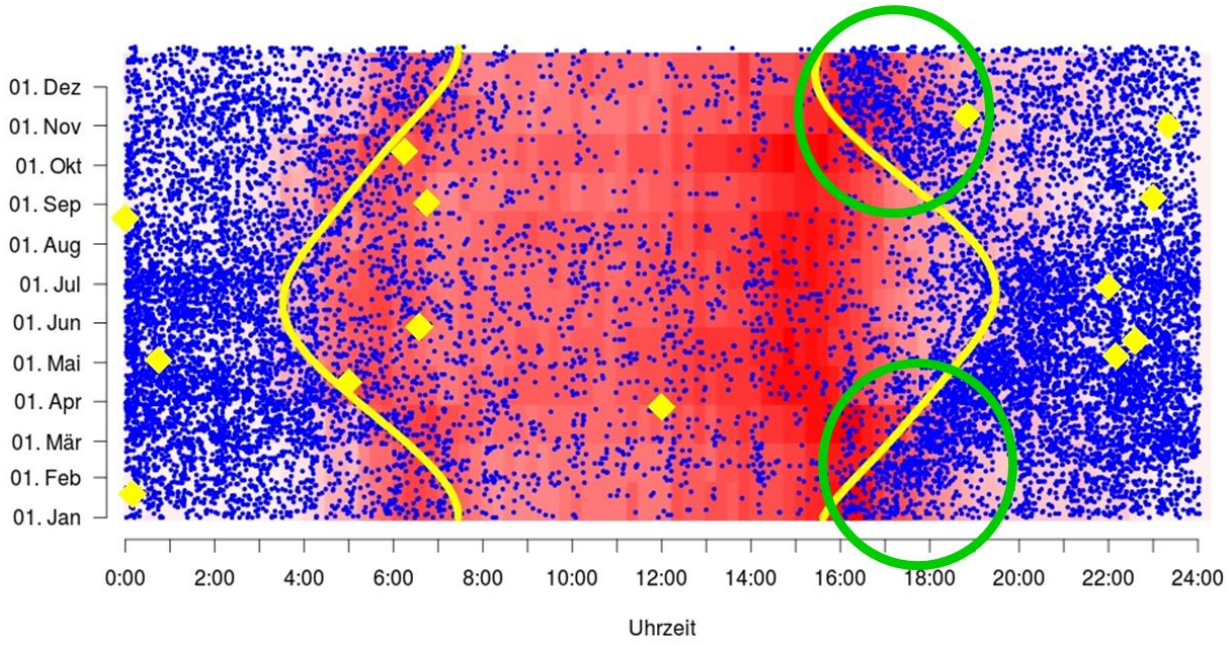


Abb. 26: Straßenquerungen aller besenderten Rehe im Tagesverlauf (x-Achse) und Jahresverlauf (y-Achse) aggregiert für alle fünf Standorten. Die gelben Linien zeigen Sonnenauf- und Sonnenuntergang im Jahresverlauf dar. In rot hinterlegt ist das durchschnittliche Fahrzeugaufkommen pro 15 Minuten (dunkelrot 200 Fahrzeuge/15min). Gelbe Rauten stellen die nachweislich durch Verkehr getöteten GPS-besenderten Rehe dar. Grüne Kreise zeigen Zeiträume, für die ein höheres Risiko eines Wildunfalls gilt, da hier eine erhöhte Querungsaktivität der Rehe nach Sonnenuntergang mit Stoßzeiten des Berufsverkehrs zusammentrifft.

Abb. 27: Rehbock Bertram (ID 3) beim Queren der Straße.

Meidung der Straße

Ein Meidungseffekt der Straße konnte nur in einem räumlich sehr geringen Bereich um die Straße festgestellt werden (Abb. 28). Dieser Effekt war abhängig von der Tageszeit und dem Habitattyp. Deckungsreiche Bereiche wie Wald und Hecken wurden im Mittel am Tag deutlich präferiert (positive Werte) und nur in einem geringen Bereich von 40 m Radius um die Straße gemieden. In der Nacht war bereits nach 20 m kein Meidungseffekt der Straße mehr feststellbar. Das Offenland wurde im Mittel am Tag gemieden. Ein additiver Meidungseffekt der Straße war am Tag ebenfalls im Offenland bis zu einer Distanz von 40 m feststellbar. Nach Sonnenuntergang reduzierte sich dieser Bereich auch hier.

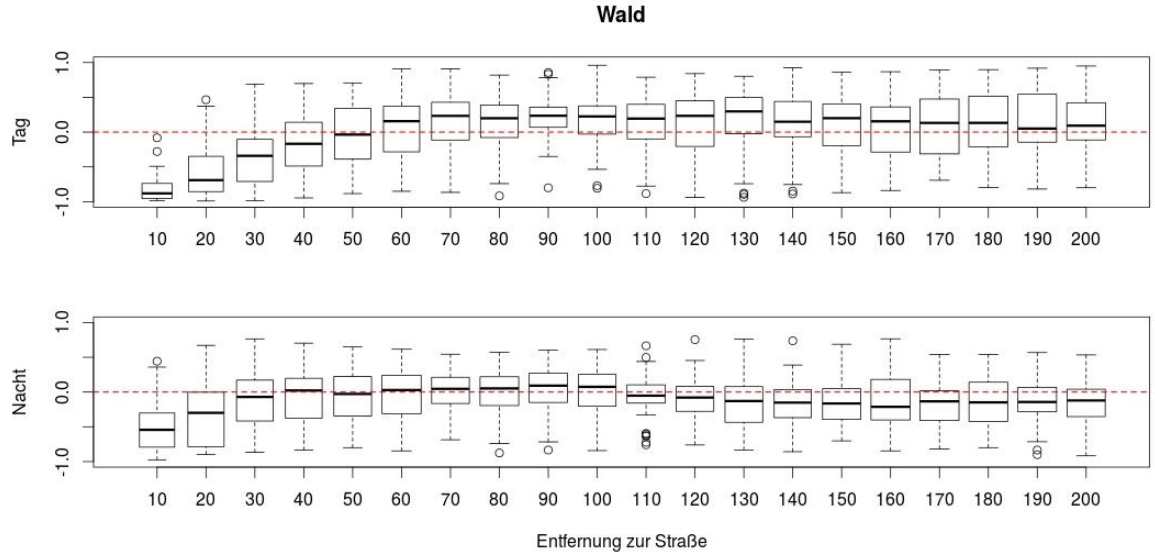


Abb. 28: Habitatnutzung (Ivlev-Selektionsindizes) der besenderten Rehe in Abhängigkeit von der Entfernung zur Straße, der Tageszeit und dem Habitattyp Wald. Negative Werte charakterisieren Meidung, positive Werte Präferenz. Die schwarzen Balken der Boxplots zeigen den Median, die Box das untere und obere Quartil und die Whiskers die Maximum und Minimumwerte.

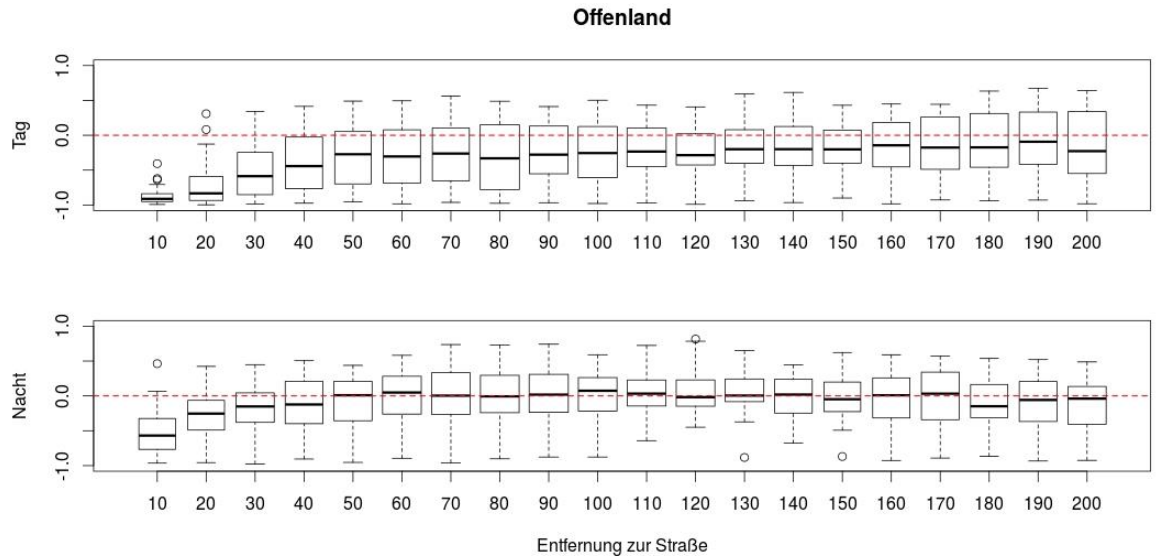


Abb. 29: Habitatnutzung (Ivlev-Selektionsindizes) der besenderten Rehe in Abhängigkeit von der Entfernung zur Straße, der Tageszeit und dem Habitattyp Offenland. Negative Werte charakterisieren Meidung, positive Werte Präferenz. Die schwarzen Balken der Boxplots zeigen den Median, die Box das untere und obere Quartil und die Whiskers die Maximum und Minimumwerte.

Auch bei der Raumnutzung wurde die große Varianz zwischen den Rehen deutlich. So wurde von manchen Rehen selbst der Bereich unmittelbar neben der Straße intensiv genutzt. Ein detailliertes Beispiel zu der Raumnutzung der besenderten Rehe zur Tages- und Nachtzeit zeigt Abb. 30 beispielhaft für die zwei Rehgeißen Jutta (ID 20) und Gertrud (ID 11) am Standort Oberbruch. Beide Rehe nutzen den Straßenrandbereich intensiv. Kernbereiche ihres Streifgebietes liegen direkt neben der Straße (dunkelrote Nutzungsschwerpunkte). Am Tag ist bei Gertrud der Effekt der Straße noch auszumachen (Delle der Isolinien im Bereich der Straße) während nachts der Straßeneinfluss nicht mehr auszumachen ist.

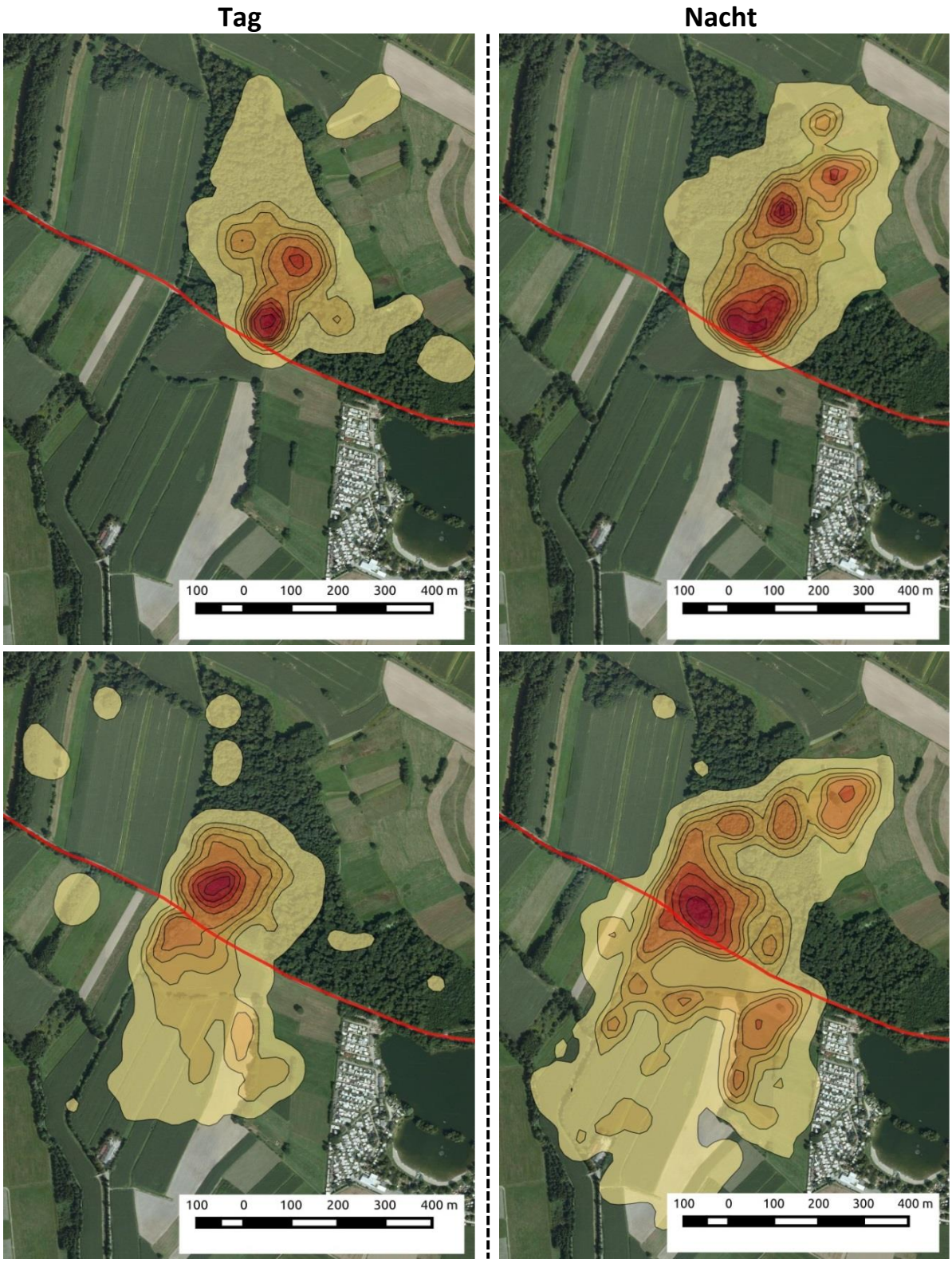


Abb. 30: Darstellung der GPS-Daten von Reh Jutta (ID 20, oben) und Gertrud (ID 11, unten) in Dichtegradienten. In der linken Spalte wird die Raumnutzung am Tag und in der rechten Spalte in der Nacht dargestellt. Je dunkler die Farbe, desto häufiger der Aufenthalt des Tieres in diesem Bereich (Kerneldichte 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 0.99 von gelb nach dunkelrot). Die rote Linie symbolisiert die Landstraße L85.

Darstellung der Raumnutzung von allen besenderten Rehen s. Anhang 13.1.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass sich die meisten der besenderten Rehe sehr gut an die Straße und den Straßenverkehr gewöhnt hatten und diese, wenn Deckungsstrukturen vorhanden waren, selbst am Tag nur in einem sehr geringen Bereich mieden.

6.2.3 Einfluss der Reflektoren auf die Häufigkeit von Straßenquerungen

Tabelle 3 fasst die wichtigsten Ergebnisse hinsichtlich der Streifgebiete der besenderten Rehe an den einzelnen Standorten zusammen. Die Streifgebietsgröße aller besenderten Tiere lag zwischen 30 und 51 ha und variierte zwischen den Geschlechtern sowie den Untersuchungsgebieten. Der Anteil an Flächen, der in den Streifgebieten mit Wald bedeckt ist, variierte zwischen 22 und 70 %. Der Anteil an Straßen pro ha Streifgebiet, ausgedrückt in einem relativen Maß der Länge, variierte zwischen 12 und 35 und der Anteil Straße mit Wildwarnreflektoren lag in einer Spanne zwischen 71 und 100 %.

Über den gesamten Untersuchungszeitraum wurden 13.689 Straßenquerungen an allen Standorten von 32 Untersuchungstieren beobachtet, mit dem der Einfluss der blauen Halbkreisreflektoren auf das Verhalten von Rehen untersucht werden konnte.

Tabelle 3: Charakteristika der Streifgebiete, getrennt nach Geschlecht, Untersuchungsgebiet und räumliche Position des Streifgebietes relativ zur Straße. Die Tabelle beinhaltet die jeweilige gemittelte Streifgebietsgröße (90 % MCP ± Standardfehler), den gemittelten Anteil von Wald an der Gesamtfläche. Zusätzlich wird ein relatives Maß für die Lage des Streifgebietes zur Straße, gemessen als Straßenlänge pro ha Streifgebietsgröße, sowie der Anteil der Straßenlänge im Streifgebiet, welcher mit Reflektoren bestückt wurde, angeführt (N = 36 Rehe).

STREIFGEBIETE		N	Größe des 90 % MCP (ha) Ø ± SE	Anteil Wald am 90 % MCP Ø ± SE	Straßenlänge pro ha MCP Ø ± SE	Anteil Straße mit Reflektoren Ø ± SE
Geschlecht	**männlich**	13	42,48 (±6,24)	,51 (±0,08)	30,98 (±4,17)	,82 (±0,09)
	weiblich	23	37,99 (±3,22)	,37 (±0,05)	21,74 (±2,58)	,90 (±0,06)
Gebiet **Oberrhein**	**Oberbruch**	5	30,10 (±4,23)	,43 (±0,1)	17,94 (±5,9)	,90 (±0,08)
	Gamshurst	8	39,44 (±2,69)	,31 (±0,05)	18,64 (±4,97)	,98 (±0,01)
	Zierolshofen	7	51,56 (±10,95)	,47 (±0,07)	23,18 (±1,75)	1,0 (±0,0)
	Sand	8	37,19 (±7,42)	,22 (±0,06)	34,94 (±4,62)	,71 (±0,09)
Hegau	**Stetten**	8	37,69 (±4,36)	,70 (±0,11)	27,76 (±5,9)	,77 (±0,14)
Relative Lage zur Straße	**beinhaltend**	25	41,74 (±4,11)	,40 (±0,05)	30,40 (±2,18)	,86 (±0,04)
	angrenzend	11	34,76 (±2,99)	,47 (±0,1)	12,97 (±3,85)	,96 (±0,19)

Mit Blick auf die Hypothesen $H_{1.1}$-$H_{1.3}$ (S. 24) ergab die Analyse der wöchentlichen Querungshäufigkeit an den Straßenabschnitten einen signifikant positiven Einfluss von wöchentlich zurückgelegter Laufstrecke auf die Anzahl Straßenquerungen pro Woche (Abb. 31; s. Anhang 13.1). Außerdem hatten die Länge des Straßenabschnitts relativ zur Streifgebietsgröße sowie die relative Lage des Streifgebiets zur Straße einen signifikanten Einfluss auf die wöchentliche Anzahl Querungen. Die Präsenz von Wildwarnreflektoren am Straßenabschnitt hatte dagegen keinen signifikanten Effekt auf die Anzahl der beobachteten Straßenquerungen (Abb. 31). Die Anzahl an Querungen über alle Tiere und Standorte blieb damit nach Ausbringung der Wildwarnreflektoren stabil.

Tabelle 4: Ergebnisse der Analyse der wöchentlichen Anzahl Straßenquerungen mit Hilfe eines gemischten Modells (CF). Koeffizienten (ß), Standardfehler aller Prädiktoren (SE(ß)) und p-Warte. Die abhängige Variable wurde transformiert. Alle Prädiktoren wurden standardisiert, um einen Vergleich der Effektgröße zu gewährleisten. Variablen mit einem p-Wert < = 0.05 sind kursiv markiert.
IC: Model Intercept (weibliche Tiere mit Streifgebiet vom Typ ‚angrenzend'); DIST: wöchentlich zurückgelegte Entfernung; SHR: Länge des Straßenabschnitts relativ zur Streifgebietsgröße; SHR: der Anteil der Straßenlänge im Streifgebiet pro Hektar, welcher mit Reflektoren bestückt wurde, TP: Lage des Streifgebietes zur Straße, gemessen als Straßenlänge pro ha Streifgebietsgröße (Referenz: Intersect), DL: Tageslänge pro Tag, ß: geschätzte Modelparameter, SE (ß): Standardfehler des Models.

CF		IC	RP	DIST	DIST²	SHR	TP	DL
√x	β	1.314	-0.002	0.504	-0.072	0.678	0.721	0.122
	SE(β)	0.508	0.150	0.038	0.014	0.201	0.543	0.059

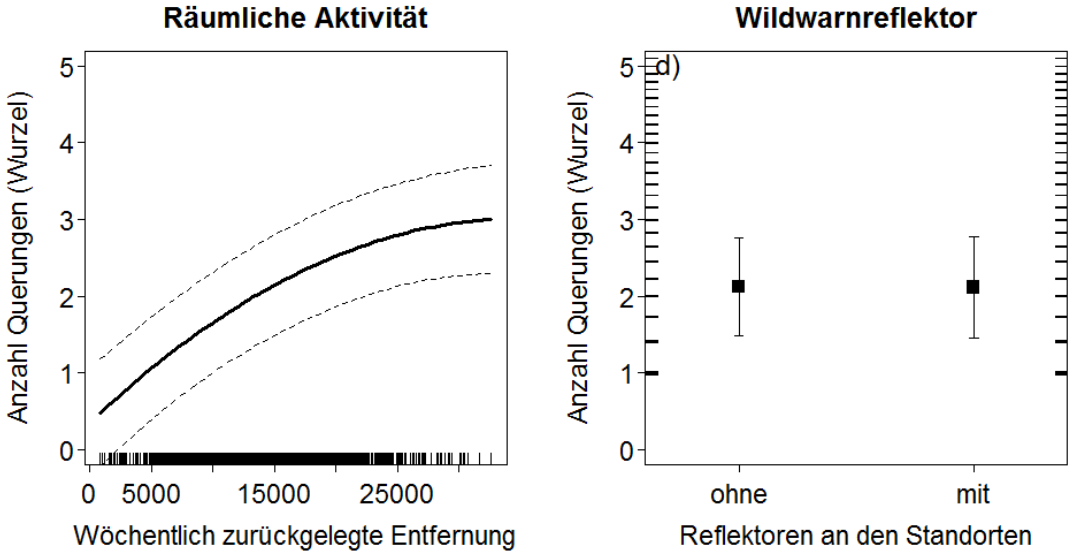


Abb. 31: Ergebnisse der Analyse der wöchentlichen Anzahl Straßenquerungen an den Standorten. Die Häufigkeit der Straßenquerungen wurde hauptsächlich durch die jahreszeitliche Schwankung in der räumlichen Aktivität der Tiere bedingt (linke Grafik). In der Untersuchung ergaben sich keine Hinweise auf einen Einfluss der Wildwarnreflektoren auf die Häufigkeit von Straßenquerungen (rechte Grafik).

6.2.4 Einfluss der Reflektoren auf den Zeitpunkt von Straßenquerungen

Mit Blick auf die Hypothesen $H_{1.4}$-$H_{1.6}$ (S. 25) ergab die Analyse des Querungszeitpunktes einen signifikanten, positiven Zusammenhang von stündlich zurückgelegter Distanz und dem Auftreten einer Querung (Abb. 32; s. Anhang 13.1). Das Auftreten von Straßenquerungen war damit ein Spiegel des Aktivitätsrhythmus der Rehe an den Untersuchungsstandorten. Grundsätzlich zeigte sich ein Schwerpunkt der Querungsaktivität auf die Nacht- und Dämmerungsstunden. Das stündliche Verkehrsaufkommen hatte nur einen marginalen Einfluss und trat deutlich hinter dem Aktivitätsrhythmus der Tiere zurück. Ein Einfluss der Wildwarnreflektoren auf das Auftreten einer Querung konnte in keinem für die Verkehrssicherheit relevanten Umfang festgestellt werden (Abb.

32). Unterschiede im Verhalten wurden auf individueller Ebene deutlich und zeigen, dass sich Rehe in ihrem Verhalten voneinander unterscheiden. Dies drückt sich auch in den Straßenquerungen pro Woche aus. So gab es vereinzelt Rehe, die nach Installation von Wildwarnreflektoren weniger häufig die Straße querten, wo hingegen andere gleich häufig oder häufiger die Straße querten (Abb. 33).

Tabelle 5: Modellergebnisse für die Wahrscheinlichkeit einer Straßenquerung (CP). Koeffizienten (ß), Standardfehler aller Prädiktoren (SE(ß)) und p-Warte. Die abhängige Variable wurde transformiert. Alle Prädiktoren wurden standardisiert, um einen Vergleich der Effektgröße zu gewährleisten. Variablen mit einem p-Wert < = 0.05 sind kursiv markiert.
IC: Model intercept, RP: Reflektoren anwesend an den Abschnitten (Referenz: WWR abwesend), DIST: zurückgelegte Entfernung pro Stunde, DN: Tag oder Nacht (als Faktor, Referenz: Tag), DL: Tageslänge pro Tag, TVOL: Anzahl Fahrzeuge pro Stunde (Summe an Fahrzeugen), ß: geschätzte Modelparameter, SE (ß): Standardfehler des Models.

CP		IC	RP	DIST	$DIST^2$	DN	DL	TVOL	$TVOL_2$	DN:DL	DN:RP
0 - 1	β	-4.264	-0.200	1.968	0.180	0.974	0.177	-0.232	-0.040	0.219	0.383
	SE(β)	0.163	0.054	0.040	0.026	0.036	0.024	0.019	0.013	0.028	0.060

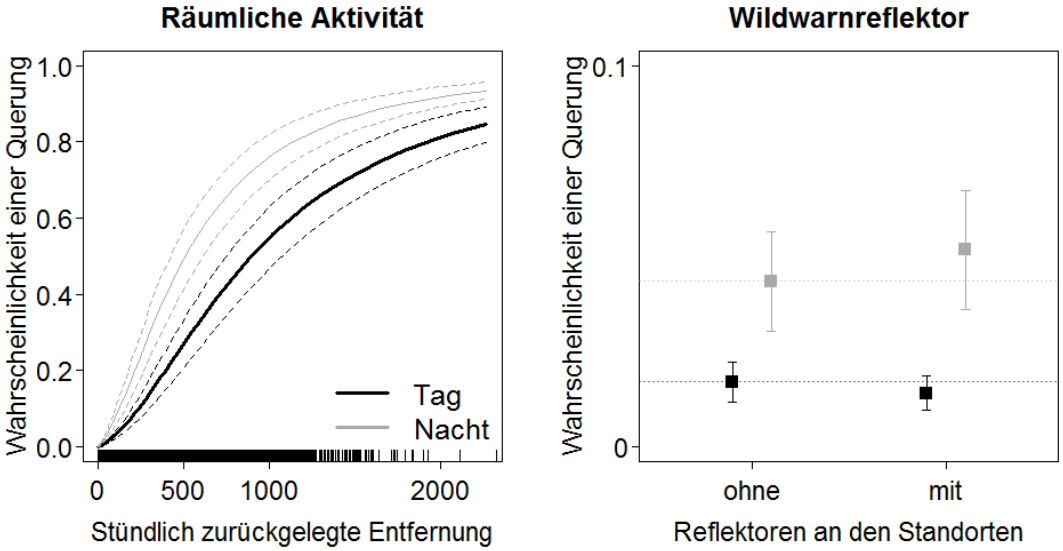


Abb. 32: Ergebnisse der Analyse der Wahrscheinlichkeit einer Straßenquerung an den Standorten. Wie auch auf saisonaler Ebene, wird das Auftreten einer Querung vornehmlich von der Aktivität der Tiere im Tagesverlauf bedingt. Auch hier fand sich kein Einfluss der Wildwarnreflektoren von einer für die Verkehrssicherheit ausschlaggebenden Größe (tagsüber = schwarz, nachts = grau). Generell fanden Straßenquerungen vornehmlich nachts statt.

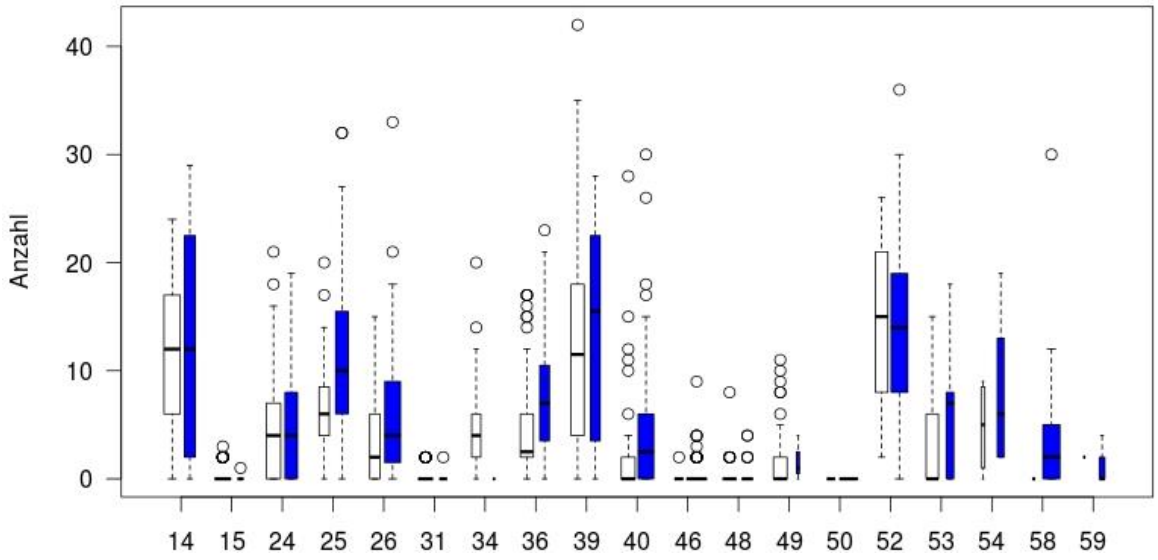


Abb. 33: Anzahl der beobachteten Straßenquerungen pro Woche getrennt für einzelne Rehe. Straßenquerungen im Untersuchungszeitraum ohne Reflektor sind als weiße Box dargestellt, Straßenquerungen mit Reflektor als blaue Box. Dargestellt sind nur Rehe, die in beiden Untersuchungsphasen präsent waren.

Abb. 34:
Zwei besenderte Rehe (Reh Helga, ID 12, und Irmgard, ID 13) begleitet von zwei unbesenderten Rehböcken.

6.2.5 Wildunfälle

Wildunfälle beschränkten sich nicht nur auf die häufig querenden Rehe. Insgesamt wurden von den 47 besenderten Rehen 17 überfahren (36 %). 40 % der Rehe, die die Straße vollständig in ihr Streifgebiet integrierten, wurden überfahren. Aber auch bei den Rehen, die nur im Randbereich ihres Streifgebietes Kontakt mit der Straße hatten, fielen 4 von 18 (14 %) dem Straßenverkehr zum Opfer, obwohl die beobachteten Straßenüberquerungen bei ihnen deutlich geringer waren. Darüber hinaus wurden weitere 14 besenderte Rehe tot aufgefunden, jedoch konnte die Todesursache nicht mehr rekonstruiert werden.

Zum Vergleich wurden für die fünf Standorte die Wildunfallzahlen der Jägerschaft hinzugezogen und analysiert. Die Daten von zwei Straßenabschnitten konnten nicht berücksichtigt werden, da die Datengrundlage unvollständig war. So fehlten z.B. exakte Tagesdaten oder Verknüpfungen zu den Straßenabschnitten. Im Jahresverlauf zeigten die Wildunfallzahlen in den Untersuchungsgebieten

starke Schwankungen (Abb. 35). Die meisten Wildunfälle wurden in den Monaten Januar, April und Juli beobachtet. Die Verteilung der Wildunfälle mit besenderten Tieren zeigte ein ähnliches Muster (Abb. 36). Das Maximum entfiel auf den Monat Juli mit der höchsten Anzahl an getöteten besenderten Rehen durch Straßenverkehr.

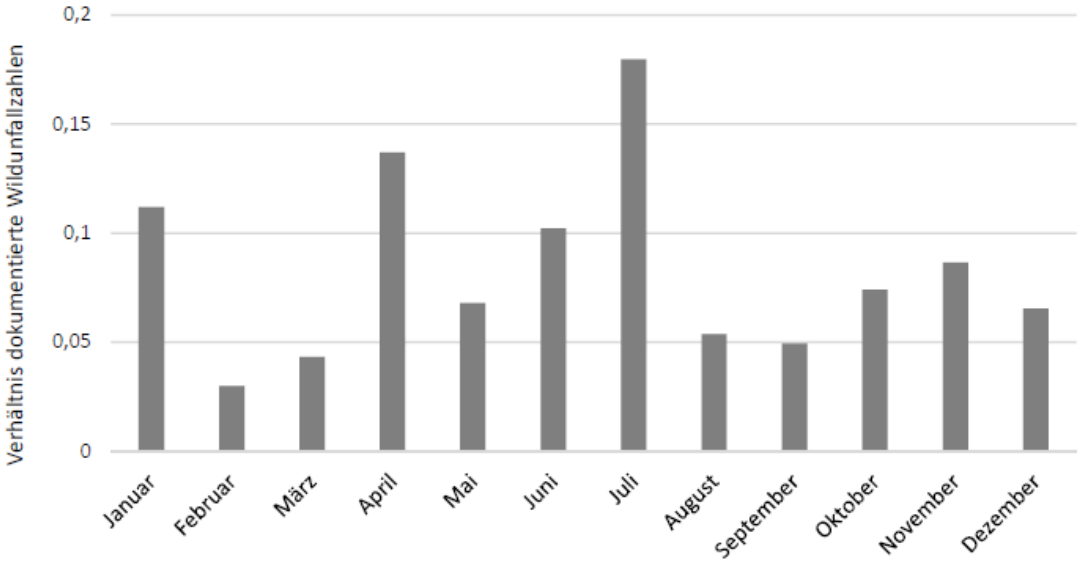


Abb. 35: Relative Verteilung der im Untersuchungszeitraum erfassten Wildunfallzahlen pro Monat. Die Zahlen beziehen sich auf drei der fünf Straßenabschnitte. An den zwei verbliebenen Straßenabschnitten fanden ebenfalls Wildunfälle statt, jedoch wurden die Daten aufgrund unvollständiger Datengrundlage nicht präsentiert.

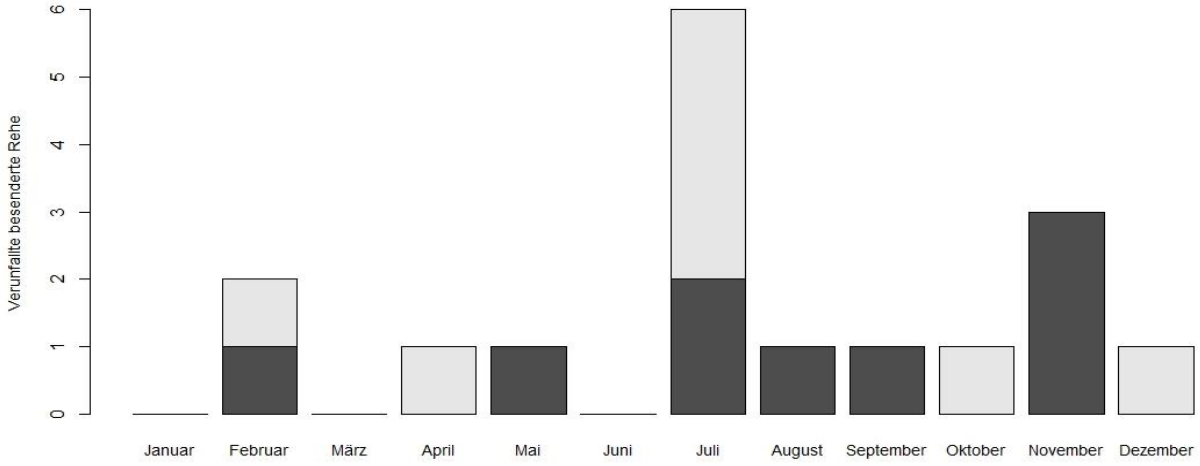


Abb. 36: Monatliche Verteilung der bestätigten Wildunfälle mit besenderten Rehen im Rahmen des Projekts (N = 17 von 47; Männchen hellgrau, Weibchen dunkelgrau).

Abb. 37:
Überfahrendes Reh an einem Standort.

6.3 DISKUSSION UND BEWERTUNG

Aus den in diesem Modul erarbeiteten Ergebnissen wird deutlich, dass das Auftreten von Straßenquerungen ein Spiegel der räumlichen Aktivität der Tiere ist. Diese Aktivität unterliegt sowohl täglichen (z.B. Tag-Nacht Rhythmus) als auch jahreszeitlichen Schwankungen (z.B. Aufzucht der Jungtiere, Brunft). Die Tiere zeigten einen grundsätzlichen Aktivitätsschwerpunkt in den Nachtstunden, was sich auch in der hohen Anzahl an Straßenquerungen ausdrückt. Allerdings werden störungsintensivere Zeiträume grundsätzlich eher gemieden, was auch erklären mag, warum im Modell kein starker Zusammenhang zwischen Verkehrsvolumen und dem Auftreten von Straßenquerungen nachzuweisen war.

Es zeigt sich, dass die räumliche Aktivität der Tiere den Straßenbereich mit einschließt und in der Summe die Tiere häufig Straßen querten. Aus dieser Erkenntnis in Kombination mit der Varianz im Auftreten von Querungen lassen sich Schlussfolgerungen für das Kollisionsmanagement ableiten. Das Kollisionsrisiko ist nicht zeitlich konstant, sondern unterliegt starken Schwankungen. Im Tagesverlauf sind die Dämmerungsstunden diejenigen Zeiträume, in denen eine hohe Aktivität mit einem hohen Verkehrsaufkommen zusammentrifft; das ist insbesondere in den Herbst- und Wintermonaten der Fall.

Basierend auf den Ergebnissen des Projektmoduls konnte keine, durch blaue Halbkreisreflektoren bedingte, langfristige Verhaltensänderung der Tiere festgestellt werden. Weder kam es zu einer Senkung in der Häufigkeit von Straßenquerungen, noch zu einer Verschiebung in deren Zeitpunkt und Wahrscheinlichkeit. Es erscheint darum unwahrscheinlich, dass ein Rückgang in der Häufigkeit von Wildunfällen auf eine langfristige Änderung im räumlichen Verhalten der Tiere in Anwesenheit der Wildwarnreflektoren zurückzuführen ist. In anderen Worten, die ausgebrachten Wildwarnreflektoren hatten in dieser Studie keinen Einfluss auf die Häufigkeit und Zeitpunkt der Straßenquerungen.

Mit Bezug zu Wildunfällen ist die Tatsache, dass im Juli vier männliche Tiere überfahren wurden, insofern nicht verwunderlich, dass Rehböcke eine deutlich höher Aktivität in den Sommermonaten aufweisen als weibliche Tiere und eine höhere Anzahl an Straßenquerungen nachgewiesen werden konnte (s. zum Vergleich Abb. 24). Generell lassen die ganzjährig häufigen Wildunfälle im

Untersuchungszeitraum darauf schließen, dass Wildunfälle und deren Ursachen eine höhere Komplexität aufweisen, als die bloße Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens von Auto und Reh.

Zusammenfassend ist festzustellen:

- Die Rehe zeigten eine sehr große Varianz in ihrem Verhalten.
- Eine Meidung der Straße erfolgte nur in einem sehr engen Bereich entlang der Straße.
- Die besenderten Rehe hatten sich an die Straße und an den Straßenverkehr gewöhnt.
- Straßenüberquerungen fanden durch die Tiere im Verlauf des ganzen Jahres statt.
- Straßenüberquerungen ergaben sich im Tagesverlauf hauptsächlich nachts mit einem deutlichen Anstieg nach Sonnenuntergang; im Gegensatz dazu kamen Straßenquerungen am Tag in geringerer Anzahl vor.
- Über die Wintermonate zeigte sich ein besonderer zeitlicher Risikobereich, in dem ein Zusammentreffen des abendlichen Berufsverkehrs und der Höhepunkt der täglichen Reh-Straßenüberquerungen nach Sonnenuntergang zusammenkamen.
- Aber: Wildunfälle fanden ganzjährig statt.
- Blaue Halbkreisreflektoren führten zu keinen langfristigen Verhaltensänderungen der besenderten Rehe, weder in der Häufigkeit der Straßenquerungen noch in der zeitlichen Verschiebung der Straßenquerungen. Sie hatten somit keinen Effekt.

7 VERHALTENSBEOBACHTUNG AM STRASSENRAND (MODUL 2)

Das Ziel des Moduls bestand darin, unter Freilandbedingungen die Verhaltensreaktion von Rehen auf herannahende Fahrzeuge zu untersuchen und zu evaluieren, ob durch das Ausbringen von Wildwarnreflektoren und die hierdurch ausgelösten Lichtreize eine messbare Änderung im Verhalten von Rehen auftritt. Diese sollte im Idealfall zu einer Reduktion der Wildunfallzahlen beitragen. Hiermit sollte eine Aussage über das Wirkungskonzept der Wildwarnreflektoren - Reflektoren führen bei Rehen durch Lichtreize zur Wahrnehmung des Verkehrs und erzeugen unmittelbare Verhaltensänderungen - auf das Verhalten von Rehen getroffen werden.

Die Beschreibungen der Hersteller in Bezug auf die vom Reflektor ausgelösten Verhaltensänderungen sind meist vage und ermöglichen dadurch keine quantitative Erfassung. Aus diesem Grund wurde das theoretische Konzept von Lima et al. (2015) als Grundlage für die Verhaltensklassifizierung herangezogen. Dieses besagt, dass Wildtiere auf herannahende Fahrzeuge, sofern diese als Gefahr wahrgenommen werden, mit einer Verhaltensreaktion aus ihrem Feindvermeidungsverhalten reagieren sollten. Die Verhaltensreaktion ist hierbei umso stärker, je gefährlicher das herannahende Fahrzeug wahrgenommen wird. Bei Annäherung einer potentiellen Gefahrenquelle setzt sich das Feinvermeidungsverhalten bei Rehen aus zwei Verhaltensweisen zusammen: Sichern und Flucht. Das Zeigen von Sicherungsverhalten deutet zunächst darauf hin, dass ein Reh einen Reiz (in diesem Fall das herannahende Fahrzeug) erfasst und als potentielle Gefahr wahrgenommen hat. Wird das Fahrzeug anschließend als nicht gefährlich eingestuft, so wird normalerweise das vorhergegangene Verhalten fortgeführt. Wird das herannahende Fahrzeug jedoch als Gefahr eingestuft, so findet eine Fluchtreaktion statt. Eine Fluchtreaktion findet ebenfalls statt, wenn der Reiz bereits so massiv wahrgenommen wird, dass das Sicherungsverhalten übersprungen und unmittelbar eine Fluchtreaktion eingeleitet wird. Fluchtreaktionen können weiter in kurzzeitige Fluchtreaktion über wenige Meter (meist gefolgt von Sicherungsverhalten) oder Fluchtreaktionen über lange Distanzen klassifiziert werden. Wenn ein Wildwarnreflektor über die von ihm ausgehenden Lichtreize bei herannahenden Fahrzeugen einen Einfluss auf das Rehverhalten hat, dann sollte dies in einer Verstärkung des gezeigten Feindvermeidungsverhaltens sichtbar sein. Dies bedeutet z.B., dass Rehe nach der Installation der Reflektoren mehr Sicherungsverhalten oder mehr Fluchtreaktionen bei herannahenden Fahrzeugen zeigen. Die Stärke des Feindvermeidungsverhaltens kann von unterschiedlichen Variablen beeinflusst werden. So ist z.B. davon auszugehen, dass Rehe mit abnehmender Distanz zur Straße stärker reagieren. Diese beeinflussenden Variablen wurden ebenfalls mit aufgenommen und in die Auswertung einbezogen.

Basierend auf dem oben aufgeführten theoretischen Konzept wurden in diesem Modul die folgenden Hypothesen untersucht:

$H_{2.1}$: Sind an einem Straßenabschnitt Wildwarnreflektoren montiert, dann reagieren Rehe auf herannahende Fahrzeuge mit erhöhtem Feindvermeidungsverhalten

Bei flüchtenden Rehen wird teilweise beobachtet, dass sie sich nicht direkt von der Straße wegbewegen, sondern zunächst auf die Straße zulaufen, um die andere Straßenseite zu erreichen und hierbei oft vor dem Auto die Straße queren. Durch den Lichtreiz des Wildwarnreflektors könnte diese risikoreiche Verhaltensweise zugunsten der Flucht weg von der Straße verändert werden.

Hierdurch könnten Wildwarnreflektoren eine Reduktion der Wildunfälle hervorrufen, ohne dass es zu einer Erhöhung des Feindvermeidungsverhaltens kommt (Hypothese $H_{2.1}$). Um dieses Wirkungsprinzip ebenfalls zu untersuchen, wurde $H_{2.1}$ durch folgende Hypothese ergänzt:

$H_{2.2}$: Sind an einem Straßenabschnitt Wildwarnreflektoren installiert, dann flüchten Rehe vermehrt von der Straße weg.

7.1 UNTERSUCHUNGSGEBIET

Die Untersuchung erfolgte zum einen an den Standorten Oberbruch, Gamshurst, Zierolshofen, Sand und Stetten von Modul 1, zum anderen an fünf zusätzlichen Straßenabschnitten in der näheren Umgebung von Freiburg (siehe Abb. 38):

- K5135 bei Weisweil (N 48.19, E 7.70)
- B31 Richtung Breisach (N 47.98, E 7.64)
- L122 bei Sölden (N 47.92, E 7.80)
- K4947 bei Niederweiler (N 47.79, E 7.65)
- K4984 bei Vögisheim (N 47.78, E 7.625)

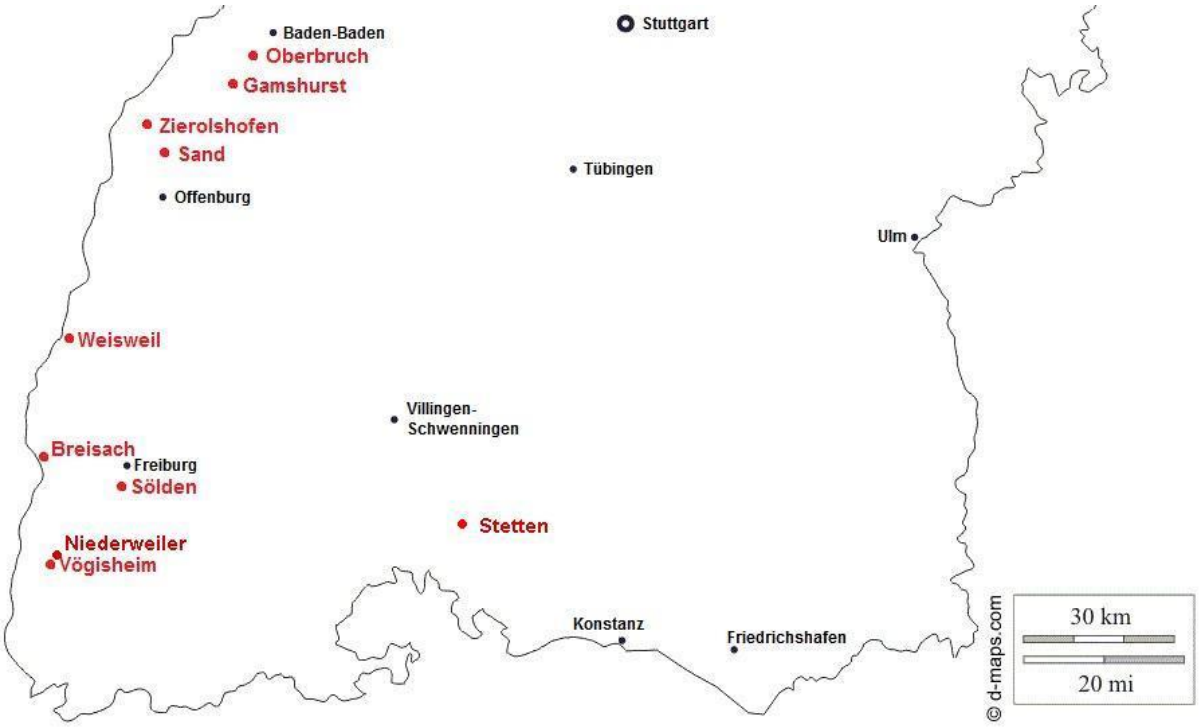


Abb. 38: Untersuchungsgebiet mit den Straßenabschnitten (in rot), an denen das Verhalten von Rehen auf Wildwarnreflektoren mit Hilfe von Wärmebildkameras dokumentiert wurde.

7.2 METHODE

7.2.1 Kameratechnik

Alle Körper, die eine Temperatur von über 0 Kelvin (-273°C = absoluter Nullpunkt) haben, senden Wärmestrahlung aus. Wärmebildkameras stellen im Gegensatz zu herkömmlichen Kameras diese Wärmestrahlen in Form von Differenzen in Temperaturgradienten visuell dar. Für die Verhaltensbeobachtungen kamen drei Wärmebild-Netzwerkkameras der Firma Axis mit der Bezeichnung Q 1921-E zum Einsatz. Der Einsatz von Wärmebildkameras hatte den Vorteil, dass keine Lichtquellen während der Nacht notwendig sind und in den Videos der verwendeten Wärmebildkameras keine personenbezogenen Daten erkennbar sind. Die Kameras wurden mit Tarnfarben-Klebeband versehen und mit einer Schwenkkopfhalterung mit Hilfe von Spanngurten an Bäumen am Straßenrand befestigt (Abb. 39). Die Stromversorgung erfolgte jeweils über eine Autobatterie mit 60 Ah. Wenn nach vier Tagen die Kapazität der Batterie erschöpft war, wurde sie gegen eine zweite getauscht. Die Speicherung der Videodateien erfolgte auf internen SD-Speicherkarten mit 64 GB Kapazität.

Abb. 39: Wärmebildkamera nach Installation.

Die Wärmebildkameras wurden entlang der Straßenabschnitte installiert, um das Verhalten von Rehen am Straßenrand auf herannahende Fahrzeuge im Vergleich ohne und mit Wildwarnreflektoren dokumentieren zu können. Die Kameras wurden alternierend an den ausgewählten Straßenabschnitten über unterschiedliche lange Zeiträume installiert (Abb. 38). Die Dokumentation des Rehverhaltens erfolgte insgesamt von Juni 2012 bis Juli 2014. Die Videoaufnahmen wurden anschließend in Zeitraffer mit 16-facher Geschwindigkeit durchgesehen und alle Ereignisse selektiert, in denen es zu einer Begegnung zwischen Rehen und Fahrzeugen während der Nachtzeit kam. Analog zu Modul 1 wurde die bürgerliche Dämmerung (Sonnenstand unter 6° unter dem Horizont) als Schwelle zur Nachtzeit definiert.

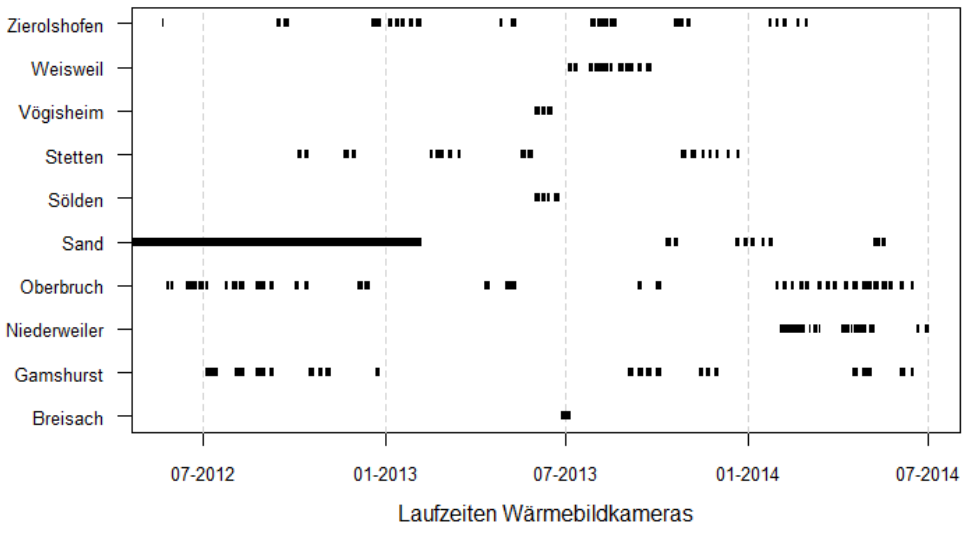


Abb. 40: Laufzeiten der Wärmebildkameras an den zehn Untersuchungs-standorten über den Zeitraum von Juni 2012 bis Juli 2014.

7.2.2 Verhaltensklassifikation

Das Rehverhalten wurde nach einem standardisierten Protokoll klassifiziert (vgl. Martin & Bateson 2009). Zuerst wurde jedem Reh, welches den Überwachungsbereich betrat, eine ID zugewiesen, um aufeinanderfolgende Fahrzeugkontakte einzelnen Rehindividuen zuordnen zu können. Vor Eintreffen eines Fahrzeugs wurde zunächst das Verhalten des Rehs in „Äsen", „Sichern" und „Fortbewegung" klassifiziert. Eine Beschreibung der einzelnen Verhaltensweisen ist im Ethogramm in Abb. 41 dargestellt.

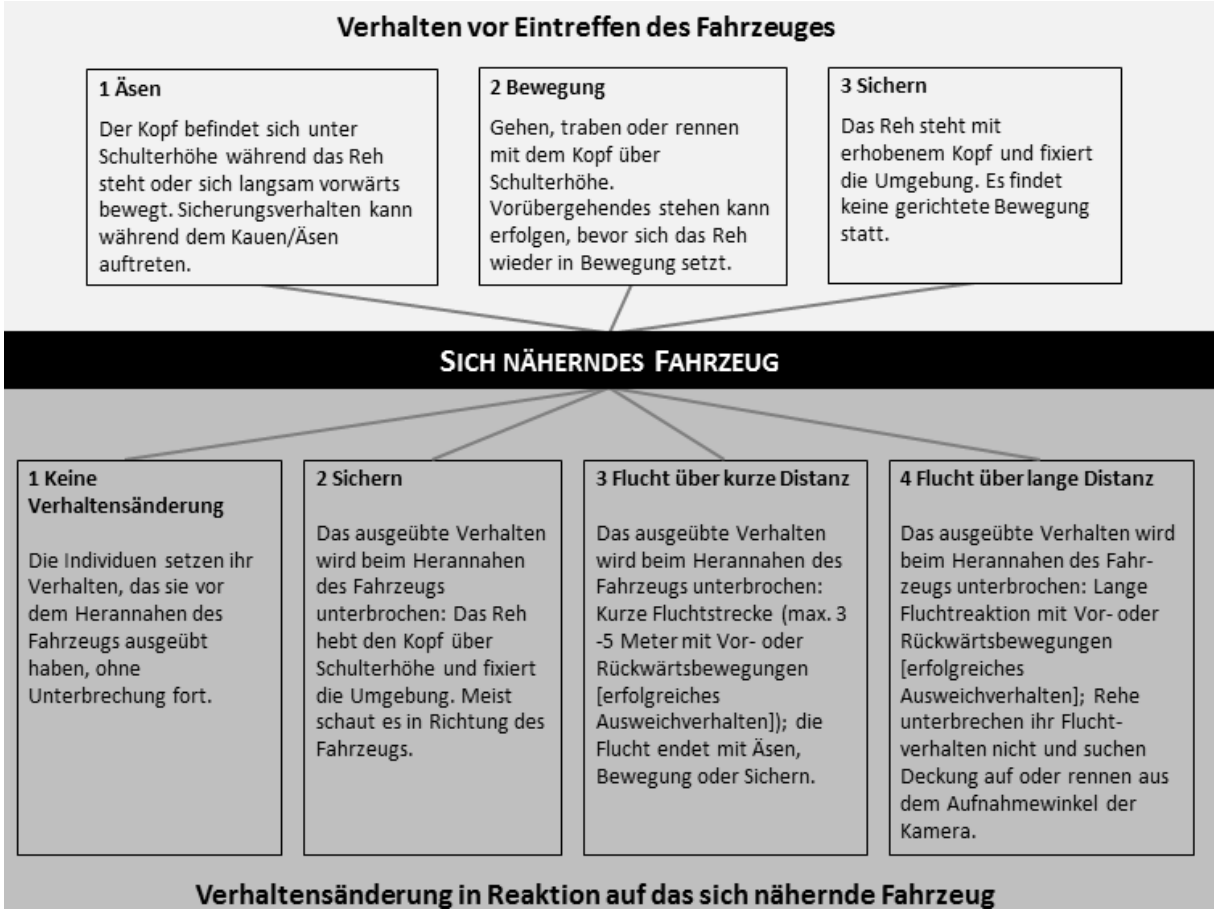


Abb. 41: Ethogramm zur Klassifizierung des Rehverhaltens am Straßenrand.

Bei Herannahen des Fahrzeugs wurde anschließend die Verhaltensreaktion des Rehs in vier Klassen eingestuft: „keine Reaktion", „Sichern", „Flucht über kurze Distanz" und „Flucht über lange Distanz". Wenn ein Reh mehrere Verhaltensreaktionen nacheinander zeigte, so wurde die stärkste Verhaltensreaktion klassifiziert. Zeigte das Reh z.B. erst Sicherungsverhalten und anschließend eine Fluchtreaktion, dann wurde das Ereignis als Fluchtreaktion klassifiziert. Eine Fluchtreaktion wurde zusätzlich in: „Flucht von der Straße weg" und „Flucht in Richtung Straße" unterschieden. Bei Reaktionseintritt wurde die Distanz vom Reh zur Straße gemessen. Zeigte das Reh keine Verhaltensänderung, dann wurde die kürzeste Distanz zwischen Reh und Straße während des gesamten Ereignisses gemessen. Standen während des Ereignisses mehrere Rehe zusammen (maximale Distanz < 50 m), dann wurde immer nur das Reh bewertet, welches als erstes reagierte. Die anderen Rehe wurden nicht mit einbezogen, da bei ihnen nicht ausgeschlossen werden konnte,

dass ihre Reaktion aufgrund der Reaktion des zuerst reagierenden Rehs erfolgte. Die Gesamtzahl an Rehen wurde als erklärende Variable in der statistischen Auswertung mit aufgenommen. Für den Fall, dass mehrere Fahrzeuge hintereinanderfuhren, erfolgte eine erneute Bewertung des Verhaltens erst wieder für die Situation, wenn das folgende Fahrzeug einen Abstand von mindestens 100 m betrug. Für den Fall, dass zwei Fahrzeuge sich auf beiden Fahrspuren näherten, erfolgte die Beurteilung des Verhaltens auf das Fahrzeug, das sich auf der zugewandten Fahrspur sich näherte. Der Fahrzeugtyp wurden Auto, Transporter, Lastkraftwagen/Bus, und Motorrad/Roller unterschieden. Bei jedem Ereignis wurde zusätzlich der Habitattyp in dem sich das Reh befand in Wald, Offenland mit einer Vegetationshöhe größer 50 cm, Offenland mit einer Vegetationshöhe kleiner 50 cm und Acker dokumentiert. Die Präsenz von Reflektoren am Straßenabschnitt wurde dem Datensatz am Ende hinzugefügt, um eine Beeinflussung der Verhaltensklassifizierung zu verhindern. Zusätzlich wurde die biologische Jahreszeit nach Krop-Benesch et al. (2013) in Trächtigkeit, Aufzuchtzeit, Brunft und Winterruhe bei jedem Ereignis hinzugefügt, da Rehe im Jahresverlauf ihre Verhaltensmuster ändern.

7.3 AUSWERTUNG

Für statistische Analysen wurde die freie Software R v. 3.1.2 genutzt (R Core Team 2016). Um eindeutige Beurteilungen des Verhaltens zu erzielen, wurden für die Analysen nur Tiere mit einer maximalen Distanz von 100 m zur Kamera berücksichtigt, da bei weiter entfernten Rehen das Verhalten aufgrund der geringen Kameraauflösung oft nicht mehr eindeutig erkannt werden konnte. Bei den Standorten Breisach, Gamshurst, Sölden, Vögisheim und Weisweil konnten entweder keine oder sehr ungleich verteilte Beobachtungen mit und ohne Reflektor erzielt werden. Verhaltensbeobachtungen von diesen Standorten wurden daher nicht in der statistischen Auswertung berücksichtigt, um kein Ungleichgewicht (Bias) zu erhalten.

Die Reaktionen von Rehen auf herannahende Fahrzeuge und mögliche Effekte der Wildwarnreflektoren wurden mit Hilfe von Regressionsmodellen ($H_{2.1}$: Ordinale Gemischte Regressionsmodelle (CLMM) und $H_{2.2}$: Verallgemeinerte lineare gemischte Modelle (GLMM)) untersucht. Hierbei wurden folgende Prädiktoren untersucht: Präsenz des Reflektors, logarithmierte Distanz des Individuums zur Straße, Fahrzeugtyp, Habitattyp, Größe der Rehgruppe und die Jahreszeit. Da der untersuchte Reflektor aufgrund der Reflektionseigenschaften nur einen sehr geringen Wirkungsbereich entlang der Straße hat, wurde zusätzlich die Interaktion zwischen Reflektorpräsenz und der Distanz zur Straße mit in das Modell aufgenommen. Der jeweilige Standort und das Rehindividuum wurden als Zufälligen Effekt (random effect) mit in das Modell aufgenommen.

7.4 ERGEBNISSE DES PROJEKTMODULS

Die Verteilung der Ereignisse an den einzelnen Standorten war sehr heterogen zwischen den einzelnen Standorten sowie im Jahresverlauf (Abb. 42).

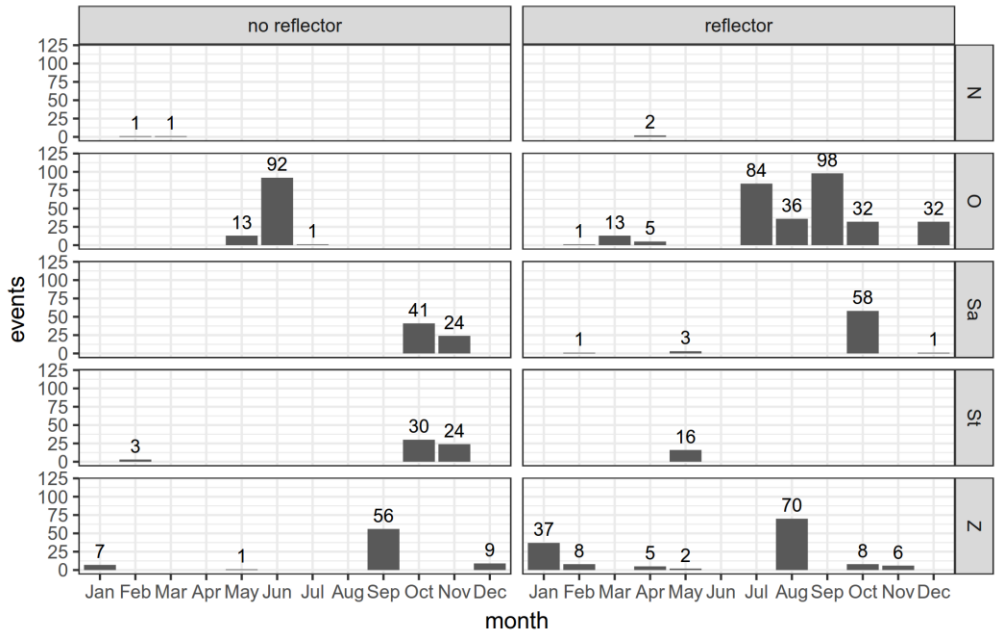


Abb. 42: Anzahl an Reh-Fahrzeugereignissen, die in die Analyse einflossen, aufgeschlüsselt nach Monaten, Standorten (N = Niederweiler, O = Oberbruch, Sa = Sand, St = Stetten, Z = Zierolshofen) und kein Reflektor montiert / Reflektor montiert.

Für Hypothese $H_{2.1}$ (Zunahme stärkerer Verhaltensänderungen wie Sichern oder Fluchtverhalten bei der Präsenz von Reflektoren), zeigte sich, dass der blaue Halbkreisreflektor keinen Einfluss auf das Verhalten von Rehen hatte (s. Tabelle 6). Ebenso war die Interaktion zwischen Wildwarnreflektor und der Distanz der Tiere zur Straße nicht signifikant, so dass auch im Nahbereich der Straße kein Effekt des Reflektors zu erhöhtem Feindvermeidungsverhalten nachgewiesen werden konnte. Ein signifikanter Prädiktor für ein Auftreten stärkerer Verhaltensreaktionen war die Distanz der Tiere zur Straße. Je näher sich ein Tiere zur Straße befand, desto höher die Wahrscheinlichkeit, dass sie mit Fluchtverhalten reagierten (Abb. 44 A). Nahm die Distanz zur Straße zu, zeigten die Tiere dagegen häufiger keine Reaktion oder nur Sicherungsverhalten. Generell traten selten Ereignisse in der Verhaltensklasse „Flucht über kurze Distanz“ auf.

Neben der Distanz zur Straße hatten folgende Variablen einen signifikanten Einfluss auf das Rehverhalten (s. Tabelle 6, Verhaltensänderungen):

- Rehverhalten vor Eintreffen eines Fahrzeugs: Wenn ein Tier Bewegungs- oder Sicherungsverhalten zeigte, war die Wahrscheinlichkeit größer, dass es mit Fluchtverhalten auf das herannahende Fahrzeug reagierte (s. Abb. 44 B, oberstes Feld).
- Art des Fahrzeugs: Lastkraftwagen oder Busse erzeugten signifikant stärkere Verhaltensreaktionen wie andere Fahrzeugklassen (s. Abb. 44 C, oberstes Feld).
- Biologische Jahreszeit: die Wahrscheinlichkeit der Reaktion mit Fluchtverhalten war in Jahreszeiten höher, die geprägt sind von den Winterruhe (Eiruhe) und der Jungenaufzucht (Frühjahr) als in anderen Jahreszeiten (s. Tabelle 6).

Tabelle 6: Ergebnisse der Regressionsmodelle für Verhaltensänderungen (links) und Bewegung weg von der Straße (rechts). Die Tabelle zeigt die Schätzer der Effektgrößen, den Standardfehler und die p-Werte für die einzelnen Prädiktoren. * deutet auf Signifikanz mit α = 0.05 hin, d.h. diese Variablen hatten einen Einfluss auf Rehe (Beispiel siehe unten). VerhB/VerhS: Bewegen oder Sicherungsverhalten verglichen mit Äsen; FahrzgT/FahrzgL/FahrzgM: Fahrzeug Auto verglichen mit Transporter, LKW/Bus und Zweiräder; HabitatW1/HabitatW2/HabitatA: Habitat Wald verglichen mit Wiese < 50 cm Höhe, Wiese > 50 cm Höhe und Acker; JahreszeitJ/JahreszeitB/JahreszeitE: biologische Jahreszeit (Trächtigkeit) verglichen mit Jungenaufzucht, Brunft und Winterruhe [Eiruhe] (vgl. mit Krop-Benesch et al. 2013); Gruppe: Anzahl der Rehe pro Gruppe (Spanne 1-5 Tiere); Reflektor: Abwesenheit des Wildwarnreflektors verglichen mit Anbringung; Log_Distanz: logarithmierte Distanz zwischen einzelnem Reh und Straße; Reflektor*Distanz: Interaktion zwischen Präsenz Wildwarnreflektor und logarithmierter Distanz zur Straße; SE: Standardfehler; P: P-Wert.

	Verhaltensänderungen			**Bewegung weg von Straße**		
	Schätzer	**SE**	**P**	**Schätzer**	**SE**	**P**
IC				-0.119	0.717	0.868
VerhB	0.995	0.227	< 0.001*	0.640	0.269	0.017*
VerhS	1.271	0.261	< 0.001*	0.812	0.334	0.015*
FahrzgT	-0.038	0.279	0.980	-0.556	0.385	0.149
FahrzgL	1.457	0.416	< 0.001*	1.260	0.512	0.014*
FahrzgM	0.104	0.575	0.856	-0.157	0.703	0.824
HabitatW1	0.464	0.320	0.147	0.589	0.371	0.112
HabitatW2	0.278	0.389	0.475	0.348	0.450	0.440
HabitatA	0.357	0.461	0.439	0.171	0.550	0.756
JahreszeitJ	-1.244	0.532	0.019*	-0.892	0.600	0.137
JahreszeitB	0.203	0.551	0.711	0.901	0.646	0.163
JahreszeitE	-1.020	0.430	0.018*	-0.887	0.487	0.069
Gruppe	0.004	0.160	0.980	0.002	0.185	0.991
Reflektor	0.013	0.322	0.968	0.247	0.362	0.496
Log_Distanz	-0.799	0.175	< 0.001*	-1.067	0.220	< 0.001*
Reflektor*Log_Distanz	-0.383	0.200	0.056	-0.081	0.244	0.739

Beispiel: FahzgL (= Lkws und Busse) hat einen signifkanten Effekt, ob Tiere Verhaltensänderungen zeigen, verglichen zu Pkws (ist die Bezugsgröße, daher nicht aufgelistet), während Transporter (FahrzgT) oder Zweiräder (FahrzgM) keinen Einfluss auf das Rehhalten erzielten.

Abb. 43:
Ein Reh am Standort Oberbruch, nach Kontakt mit einem Fahrzeug. Es reagierte mit Sicherungsverhalten.

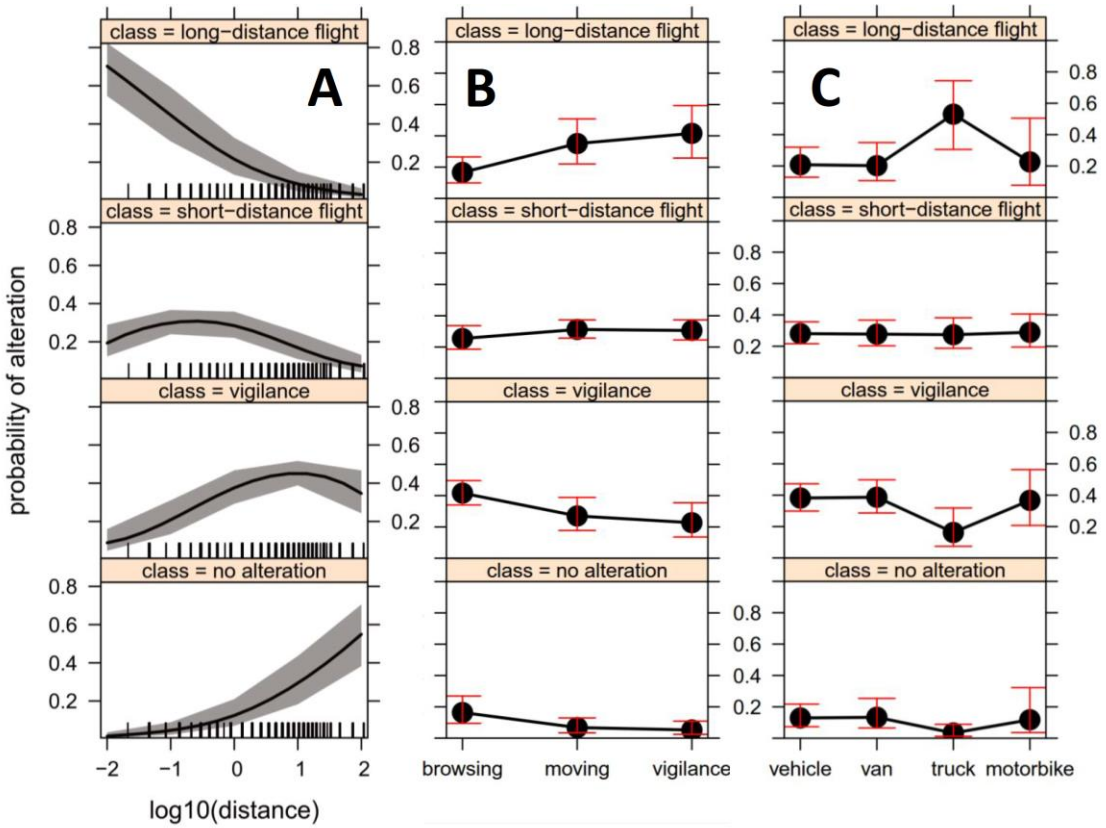


Abb. 44: Statistische Modellergebnisse dargestellt als Wahrscheinlichkeit (Y-Achse: 0 – 0,8 „probability of alteration"), dass eine Verhaltensänderung bei Rehen stattfindet für A) Distanz zur Straße, B) Verhalten bevor das Fahrzeug eintraf und C) Fahrzeugklasse. Für jede der drei Beispiele werden die vier Verhaltensklassen (class) „Keine Verhaltensänderung" (no alteration), „Sichern" (vigilance), „Flucht über kurze Distanz" (short-distance flight) und „Flucht über lange Distanz" (long-distance flight) dargestellt. Für A) ist auf der X-Achse die Distanz zur Straße aufgeführt (log-transformiert, zentriert und skaliert [Distanz reicht von 0 m (-2) bis 45 m (+2)]), B). In B) befindet sich auf der X-Achse die drei Verhaltensklassen bevor das Fahrzeug eintraf (äsen [browsing], bewegen[moving] oder sichern[vigilance]) und in C) sind auf der X-Achse die vier Fahrzeugklassen (Pkw [vehicle], Van [van], Lkw [truck], Motorrad [motorbike]) aufgeführt. Konfidenzintervalle in A) sind grau dargestellt.

Bei der Untersuchung von Hypothese $H_{2.2}$ (Zunahme von Verhalten mit Bewegung weg von der Straße), zeigte sich, dass der blaue Halbkreisreflektor ebenfalls keinen Einfluss auf das Verhalten von Rehen hatte und nicht zu häufigeren Fluchten von der Straße weg führte (s. Ergebnisse für erfolgreiches Ausweichen, Tabelle 6). Dagegen hatten, konsistent zu den Ergebnissen von $H_{2.1}$, die Distanz vom Reh zur Straße, das Rehverhalten beim Eintreffendes Fahrzeugs und der Fahrzeugtyp einen signifikanten Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit, dass eine Fluchtreaktion von der Straße weg ausgelöst wurde.

Detaillierte Informationen zur Methodik sowie Ergebnissen des Untersuchungsmoduls siehe Brieger, F., Hagen, R., Kröschel, M., Hartig, F., Petersen, I., Ortmann, S. & Suchant, R. (2017): Do roe deer react to wildlife warning reflectors? A test combining a controlled experiment with field observations. European Journal of Wildlife Research, 63, 72.

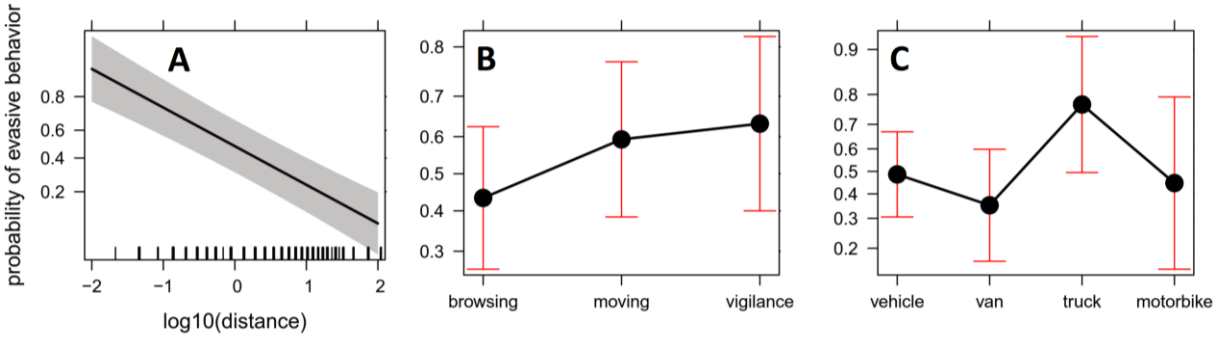


Abb. 45: Wahrscheinlichkeit, dass Tiere mit Bewegung weg von der Straße reagierten in Abhängigkeit A) zur Entfernung zur Straße [Distanz reicht von 0 m (-2) bis 45 m (+2)], B) zum Verhalten bevor das Fahrzeug eintraf und C) zur Fahrzeugklasse. Konfidenzintervalle in A sind grau dargestellt.

7.5 DISKUSSION UND BEWERTUNG

Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Präsenz von Wildwarnreflektoren (blauer Halbkreisreflektor) kein erhöhtes Feindvermeidungsverhalten bei Rehen ausgelöst wird ($H_{2.1}$) und es ebenfalls nicht zur mehr Fluchtereignisse von der Straße weg kommt ($H_{2.2}$), so dass von keiner wildunfallreduzierenden Verhaltensänderung durch die Präsenz von Reflektoren auszugehen ist.

Wenn Rehe sich in unmittelbarer Nähe zur Straße aufhalten, müssten sie das „Leuchten“ der blauen Halbkreisreflektoren aufgrund ihrer hohen Sensitivität im blauen Spektralbereich *(Ahnelt et al.* 2006; Schiviz et al. 2008) wahrnehmen. Dies hätte zur Folge, dass sie vor allem mit verstärktem Fluchtverhalten in unmittelbarer Straßennähe reagieren müssten. Die Daten der Untersuchung zeigen jedoch, dass der Effekt der Wildwarnreflektoren in Verbindung mit Entfernung zur Straße nicht signifikant ist (s. Tabelle 6) und bei Rehen nicht häufiger ein Verhalten mit Bewegung weg von der Straße erzeugt wurde.

Die Ergebnisse legen dar, dass mehrere Faktoren einen Einfluss auf das Rehverhalten haben. Ein wesentlicher Aspekt ist das Verhalten der Tiere, bevor sich ein Fahrzeug am Standort näherte. Waren Tiere in Bewegung oder zeigten sie bereits Sicherungsverhalten, reagierten sie signifikant häufiger mit Verhaltensänderungen wie Flucht. Ein weiterer wichtiger Faktor stellt die Fahrzeugklasse dar. Näherten sich großvolumige Fahrzeuge wie Busse oder Lkws, reagierten Rehe signifikant häufiger mit Sicherungs- oder Fluchtverhalten. Dies ist insofern erklärbar, dass diese Art von Fahrzeugen eine intensivere Geräuschkulisse und Erscheinung hervorrufen als Pkws oder Lieferwagen (Vans).

Interessante Erkenntnisse lieferten Beobachtungen, die zeigten, dass vereinzelte Rehe Busse und Lkws nicht als Gefahr einstuften. So äste ein Tier im Abstand von weniger als 1 m am Straßenrand und entfernte sich nicht, obwohl ein Reisebus unmittelbar an dem Tier vorbeifuhr. Zu dem Zeitpunkt waren die blauen Halbkreisreflektoren an den Leitpfosten montiert und das Tier stand direkt im Wirkungsbereich der Reflektoren.

Die Ergebnisse dieses Untersuchungsmoduls stellen eine wichtige Ergänzung der Ergebnisse des Untersuchungsmoduls 1 (Straßenquerungen mit GPS-Telemetrie) dar. Während mit GPS-besenderten Rehen Langzeiteffekte untersucht werden konnten, ermöglichte die Technik der Wärmebildkameras eine Analyse der unmittelbaren Wirkung von Straßenverkehr und Wildwarnreflektoren auf das Verhalten von Rehen. Besonders im Hinblick auf Wildwarnreflektoren liefern sie einen wichtigen Beitrag in der Diskussion um die Wirkung und Effizienz von Wildwarnreflektoren, da der methodische

Ansatz ein Novum im Forschungsfeld der Wildunfallprävention ist und in diesem Projekt erstmals im deutschsprachigen Raum zur Anwendung kam. Zwar gibt es persönliche Beobachtung aus der Jägerschaft zu Rehen, wie die Tiere auf Wildwarnreflektoren und Straßenverkehr reagieren, doch handelt es sich hauptsächlich um Einzelbeobachtungen. Wenn die Wirksamkeit von Wildwarnreflektoren beurteilt wird, wurden dazu bisher meistens die Wildunfallzahlen vor und nach Ausbringung der Reflektoren verglichen. Nehmen Wildunfallzahlen ab, wird dies automatisch den Wildwarnreflektoren und damit ihrer Wirkung zugeschrieben, obwohl andere Faktoren der maßgebliche Grund für sind, dass eine Abnahme der Wildunfälle stattgefunden hat. Als Beispiel könnte eine geringe Aktivität der Tiere aufgrund ihres biologischen Verhaltens (s. Modul 1) dazu führen, dass die Tiere weniger häufig die Straße queren und damit weniger Wildunfälle passieren, jedoch die Reduktion nicht durch die Installation von Wildwarnreflektoren hervorgerufen wurde. In diesem Modul wurde dagegen 16.000 h Videomaterial mit rund 1.100 Reh-Fahrzeugereignissen ausgewertet, die eine statistisch abgesicherte Aussage ermöglichen.

Die Ergebnisse dieses Moduls spiegeln Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen wieder, die untersuchten, ob Wildwarnreflektoren Verhaltensänderungen bei Cerviden hervorrufen. D'Angelo *et al.* (2006) testete vier verschiedene Reflektorfarben, von denen keines eindeutige Verhaltensreaktionen auslöste. Waring, Griffis & Vaughn (1991) zeigten in ihrer Studie, dass rote Wildwarnreflektoren keine Verhaltensänderungen bei Weißwedelhirschen hervorriefen. Ujvári, Baagøe & Madsen (1998) fanden heraus, dass ein Fluchtverhalten bei frei lebenden Damhirschen erzeugt wurde, dieses aber signifikant nach wenigen Tagen abnahm. Im Gegensatz dazu konnte Riginos *et al.* (2015) heraus, dass bei roten Wildwarnreflektoren das Fluchtverhalten weg von der Straße bei Weißwedelhirschen um 30 % zunahm. Der Anteil an Fluchtverhalten wurde jedoch gesteigert, als die Reflektoren im Rahmen des wissenschaftlichen Versuchsdesigns mit weißen Tüten verblendet wurden.

Die Unterschiede in den bisher durchgeführten wissenschaftlichen Studien beruhen u.a. auf die unterschiedlichen Untersuchungsansätze. Während in der vorliegenden Studie ausschließlich auf Reh-Fahrzeug-Ereignisse geschaut wurde, können die Unterschiede daher kommen, dass 1. echter Fahrzeugverkehr nicht in die Untersuchung integriert wurde (Ujvári, Baagøe & Madsen 1998; D'Angelo *et al.* 2006); 2. das Wildtierverhalten nicht systematisch methodisch erfasst wurde (Waring et al. 1991); 3. das Straßenquerungsverhalten im Allgemeinen untersucht wurde, sowohl mit als auch ohne das Vorkommen von Straßenverkehr (Waring, Griffis & Vaughn 1991; Riginos *et al.* 2015); 4. das Verhalten der Wildtiere am Straßenrand aus parkenden Fahrzeugen observiert wurde (Waring et al. 1991), was einen Einfluss auf das Verhalten haben (vergleich Altmann 1974; Martin & Bateson 2009); 5. Verhaltenskategorien nicht miteinander vergleichbar sind (in dieser Studie lag der Fokus auf dem Fluchtverhalten sowie dem Verhalten mit Bewegung weg von der Straße.

Da es sich bei dem blauen Halbkreisreflektor um einen retroreflektieren Reflektortyp handelt, wird das Scheinwerferlicht des herannahenden Fahrzeuges zurück zur Lichtquelle geworfen (s. Schilderwerk Beutha (2017) und der Reflektor ist als „leuchtendes" Objekt wahrnehmbar. Aufgrund dieser Tatsache kann vermutet werden, dass Fahrzeugführende den Wildwarnreflektor wahrnehmen und instinktiv wachsamer sind, was sich letztendlich darin äußern kann, dass Wildtiere im Straßenrandbereich leichter entdeckt werden und dies zu reduzierten Wildunfällen führen kann. Die Auswertung der Verkehrsdaten zeigte jedoch, dass sich die Geschwindigkeit des Straßenverkehrs erhöhte, wenn Wildwarnreflektoren an den Standorten montiert waren verglichen mit Zeiträumen ohne Reflektoren (s. Anhang 13.1).

8 EXPERIMENTELLE WILDWARNREFLEKTORVERSUCHE (MODUL 3)

Modul 3 hatte das Ziel, unter kontrollierten Gehegebedingungen die Verhaltensreaktion von Rehen auf verschiedene Wildwarnreflektormodelle zu untersuchen. Die Durchführung erfolgte in Anlehnung an Modul 2 und unterlag demselben theoretischen Konzept des Feindvermeidungsverhalten bei Rehen. Der Fokus dieser Untersuchung lag darin, die Ergebnisse der Freilanduntersuchung in Modul 2 unter kontrollierten Bedingungen zu validieren und Faktoren wie u.a. anthropogene Einflüsse (Wanderer, Spaziergänger) oder landwirtschaftliche Aktivitäten etc., die einen Einfluss auf das Rehverhalten haben können, auszuschließen. Im Versuch wurden die Hypothesen des Moduls 2 in angepasster Form untersucht:

$H_{3.1}$: Wenn Wildwarnreflektoren montiert sind, dann reagieren Rehe auf Lichtereignisse, die ein Fahrzeug simulieren, mit erhöhtem Feindvermeidungsverhalten.

$H_{3.2}$: Sind Wildwarnreflektoren montiert, dann flüchten Rehe vermehrt von den Straßenleitpfosten weg.

8.1 METHODE

Die Untersuchung der Wirkungsweise von Wildwarnreflektoren auf das Verhalten wurde in zwei Gehegen der Feldforschungsstation in Niederfinow des Leibniz-Instituts für Zoo- und Wildtierforschung (IZW) Berlin durchgeführt (Abb. 46). Insgesamt wurden 35 Rehe (14 ♂, 21 ♀) über einen Zeitraum von zwei Jahren mit dem Versuchsdesign konfrontiert (s. Anhang 13.3). Dazu wurde in beiden Gehegen eine Straßensituation mit Straßenleitpfosten nachgebaut, die das Gehege in zwei Teile unterteilten. Dies diente dazu sicherzustellen, dass die Tiere, die die Versuchsanlage durchkreuzten, mit der Wirkung von Wildwarnreflektoren konfrontiert wurden.

8.1.1 Versuchsaufbau

Abbildungen Abb. 46 bis Abb. 48 zeigen den Aufbau des experimentellen Versuchs für ein Gehege. In Verlängerung der Straßenleitpfosten, die im Abstand von 6,5 m zueinander postiert waren, befand sich die Lichtquelle (Arbeitsscheinwerfer „Torero 5760“ der Firma Hella KGaA Hueck & Co), eingebettet in eine Röhre, um das Licht auf die Straßenleitpfosten/Reflektoren zu fokussieren. Im Abstand von 2 m vor den Leitpfosten wurde eine Lichtschranke (Modell „WS45-D260“ der Firma Sick AG) zur Aktivierung des Scheinwerfers installiert. Die technische Ausstattung umfasste zusätzlich eine in den Schaltkreis integrierte Zeitschaltuhr (Modell „MFZ 12 DX-UC“ der Firma Eltako GmbH), um eine regelmäßige Aktivierung der Lichtquelle zu unterbinden und einer Gewöhnung der Tiere vorzubeugen. Eine Software in Kombination mit einer Zeitschaltuhr (Modell „TR 610 Top2“der Firma Theben AG) ermöglichte die Programmierung der Zeitschaltuhr, in dem Zeitfenster individuell festgelegt wurden, damit keine permanente Aktivierung des Scheinwerfers nach Durchschreiten der Rehe durch die Lichtschranke erfolgte. Die Zeitfenster wurden zufällig auf die Dämmerungs- und Nachtstunden von 18.15 Uhr bis 6 Uhr gelegt, was eine Verschiebung des Sonnenuntergangs und Sonnenaufgangs im Jahresverlauf berücksichtige.

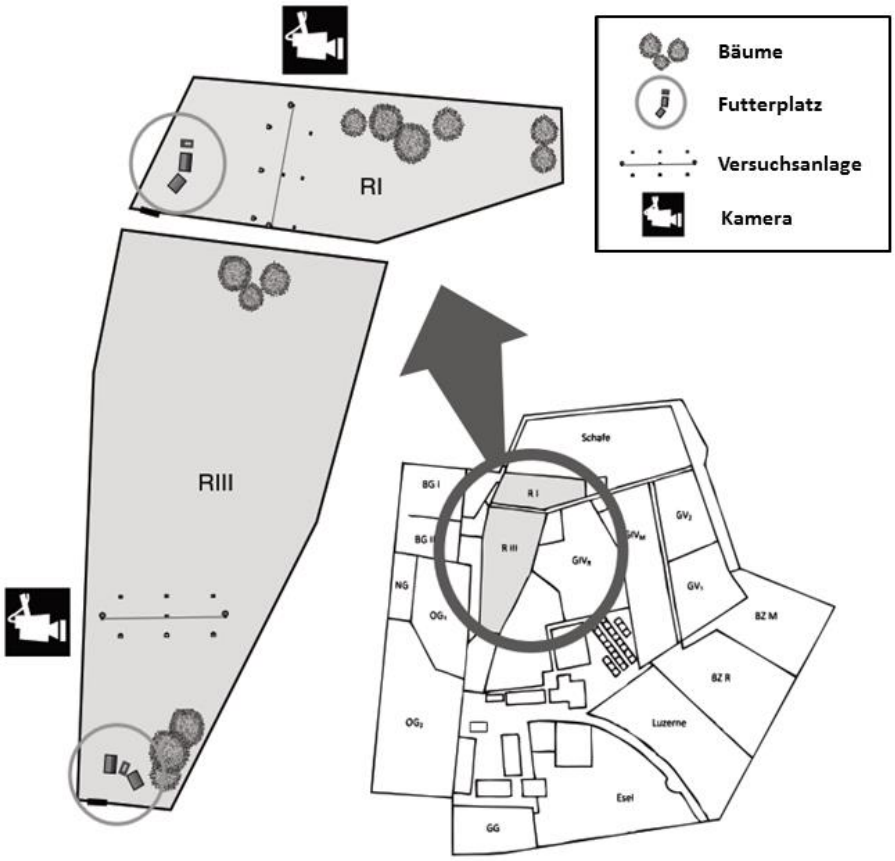


Abb. 46: Übersicht der Versuchsgehege der Feldforschungsstation Niederfinow des IZW mit den beiden Gehegen RI (oben) und R III (unten). Die Versuchsanlagen sind in beiden Gehegen schematisch angedeutet.

Markierungspflöcke wurden im Abstand von 2 m vor der Lichtschranke positioniert, um das Verhalten der Tiere vor Durchschreiten der Lichtschranke sowie die Dauer des Durchschreiten dokumentieren zu können. Die Energieversorgung des Scheinwerfers und der Lichtschranke lieferten 12V Akkus (Modell „Bleigel LCX1224 APG“ der Firma Panasonic), die zum Schutz in Zarges Aluminiumboxen eingebettet waren. An jedem Gehege wurde eine Überwachungskamera, Modell „M12D-Sec-DNight D43/N43“ der Firma Mobotix AG, in Kombination mit einem Infrarotscheinwerfer, Modell „IR-880/48“ der Firma STS Vertrieb & Verwaltung GmbH, installiert. Die Videosequenzen wurden in regelmäßigen Abständen von der internen SD-Karte in den Mobotix-Kameras heruntergeladen und für die spätere Auswertung gespeichert.

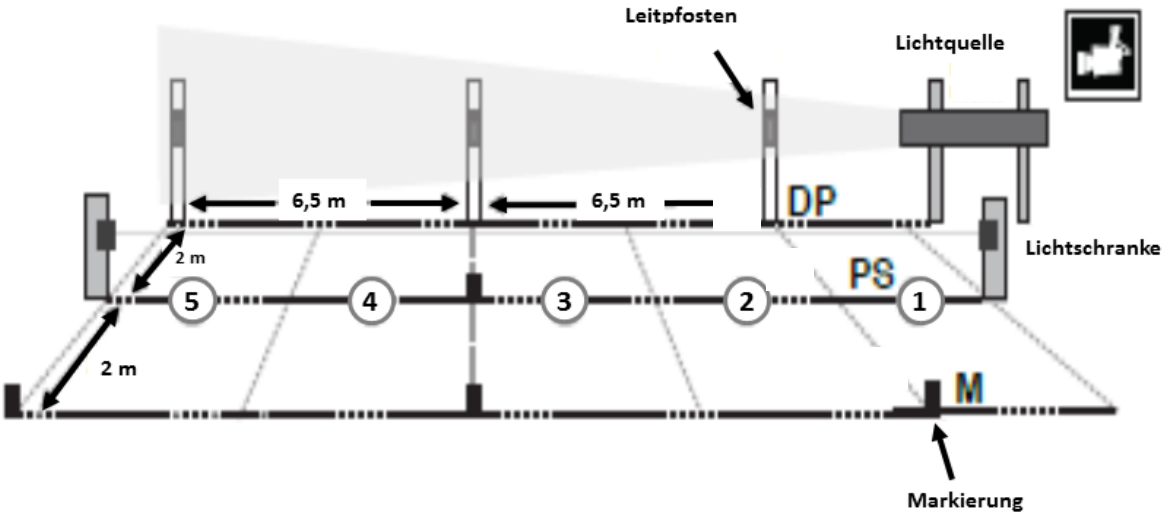


Abb. 47: Darstellung der experimentellen Versuchsanordnung für ein Gehege. Die Tiere durchschreiten von der Markierungslinie M kommend die Lichtschranke auf der Linie PS, die mit einer Lichtquelle verbunden ist (Linie DP). Infolge zu zuvor unregelmäßig festgelegten Zeitpunkten wurden in der Lichtphase die Leitpfosten sowie in der Licht+Reflektorphase die Leitpfosten mit den montierten Wildwarnreflektoren angestrahlt. Mit einer Infrarotkamera sowie eines Infrarotschweinwerfers wurden die Ereignisse aufgezeichnet. Die Zahlen zeigen den Standpunkt der Tiere zu den Reflektoren an und sind ein Hilfsmittel im Rahmen der Beurteilung des Verhaltens.

Abb. 48: Versuchsaufbau in Gehege RIII. Oben links am Bildrand ist die Infrarotkamera sowie der Infrarotscheinwerfer zu erkennen. Links unten die Lichtschranke mit entsprechender 12 V-Batterie in einer Box und rechts vorne die in einer Röhre eingebaute Lichtquelle. An den Straßenleitpfosten sind keine Wildwarnreflektoren montiert.

Daten wurden jeweils in Kontrollphasen ohne Beleuchtung sowie ohne Reflektor, Experimentalphasen mit I) Beleuchtung sowie II) Beleuchtung + Reflektor aufgenommen. Der Datenaufnahme ging eine Gewöhnungszeit an die Versuchsanlage von einer Woche voraus. Daten wurden pro Gehege in sechs zeitlich folgenden Phasen über einen Zeitraum von zwei Jahren erhoben

(s. Anhang 13.3). Während der jeweils ersten und dritten Phase (N1, N2) wurde das Normalverhalten der Tiere ohne Aktivierung der Versuchsanlage aufgezeichnet. In den Beleuchtungs- und Reflektorphasen (L1, L2, R1, R2) wurden die Tiere wahlweise mit Licht des Scheinwerfers bzw. Licht des Scheinwerfers sowie Reflektoren konfrontiert (Abb. 49). Es wurden drei Reflektormodelle getestet: der „blaue Halbkreisreflektor“ (www.halbkreisreflektor.de) und der „Generalwildwarner“ in blau und weiß (www.beilharz.eu/de/wildwarnreflektor.html).

Abb. 49: Bildausschnitt der Infrarotkamera. Ein Reh ist durch die Lichtschranke links im Vordergrund gelaufen, woraufhin die Lichtquelle aktiviert wurde und die Straßenleitpfosten mit Wildwarnreflektoren angeleuchtet werden.

Um Aussagen zum Verhalten auf individueller Ebene treffen zu können, war eine eindeutige Markierung der Rehe notwendig. Hierzu gab es im Vorfeld keinerlei Erfahrung, weshalb mit verschiedenen Techniken experimentiert wurde. Erst zur zweiten Hälfte des ersten Versuchsdurchlaufs konnten mit Hundehalsbändern, die unterschiedlich abgeklebt und damit individuelle Markierungen ermöglichten, ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden (Abb. 50).

Abb. 50: Individuell markierte Rehe mit Hundeshalsbändern zur erleichterten Identifizierung.

Die Dokumentation des Verhaltens erfolgte durchgehend in den Dämmerungs- und Nachtstunden. Die Aktivierung des Scheinwerfers erfolgte dabei zufällig, um einen Gewöhnungseffekt durch permanente Stimuli zu vermeiden. Die Dauer der vier Versuchsdurchläufe von jeweils sechs Wochen gewährleistete eine Verteilung der jeweiligen Versuchsphasen auf je fünf Tage. Aufgrund von Technikausfällen beinhalten nicht alle Phasen fünf Tage. Wenn möglich, wurde

der ausgefallene Zeitraum (Versuchstag/-woche) am Ende der Phase wiederholt oder vorgezogen. Dadurch können die vier Versuchsdurchläufe Unterschiede in den Versuchsabläufen oder in der Dauer aufweisen.

8.1.2 Verhaltensklassifikation

Das Rehverhalten wurde wie in den Freilanduntersuchungen nach einem standardisierten Protokoll klassifiziert (vgl. Martin et al. 1993). Zuerst wurde die Identität jedes Rehs, welches von links in die Versuchsanlage trat (Markierungslinie M), festgestellt. Vor Durchschreiten der Lichtschranke wurde zunächst das Verhalten in „Äsen“, „Sichern“ und „Fortbewegung“ klassifiziert. Eine Beschreibung der einzelnen Verhaltensweisen ist im Ethogramm in Abb. 51 dargestellt. Nach Durchschreiten der Lichtschranke wurde anschließend die Verhaltensreaktion des Rehs in vier Klassen eingestuft: „keine Reaktion“, „Sichern“, „Flucht über kurze Distanz“ und „Flucht über lange Distanz“ (Abb. 51; entsprechend Verhaltensklassifikation in Kap. 7.2.2). Die Rehindividuen wurden als erklärende Variable in der statistischen Auswertung mit aufgenommen. Darüber hinaus wurden das Geschlecht, die Altersklasse, die Untersuchungsphase, die Größe der Rehgruppe und das Gehege dokumentiert. Die Präsenz von Reflektoren in den Gehegen wurde dem Datensatz am Ende hinzugefügt, um eine Beeinflussung der Verhaltensklassifizierung zu verhindern. Zusätzlich wurde die biologische Jahreszeit nach Krop-Benesch et al. (2013) in Tragzeit, Aufzuchtszeit, Brunft und Winter-ruhe bei jedem Ereignis hinzugefügt, da Rehe im Jahresverlauf ihre Verhaltensmuster ändern.

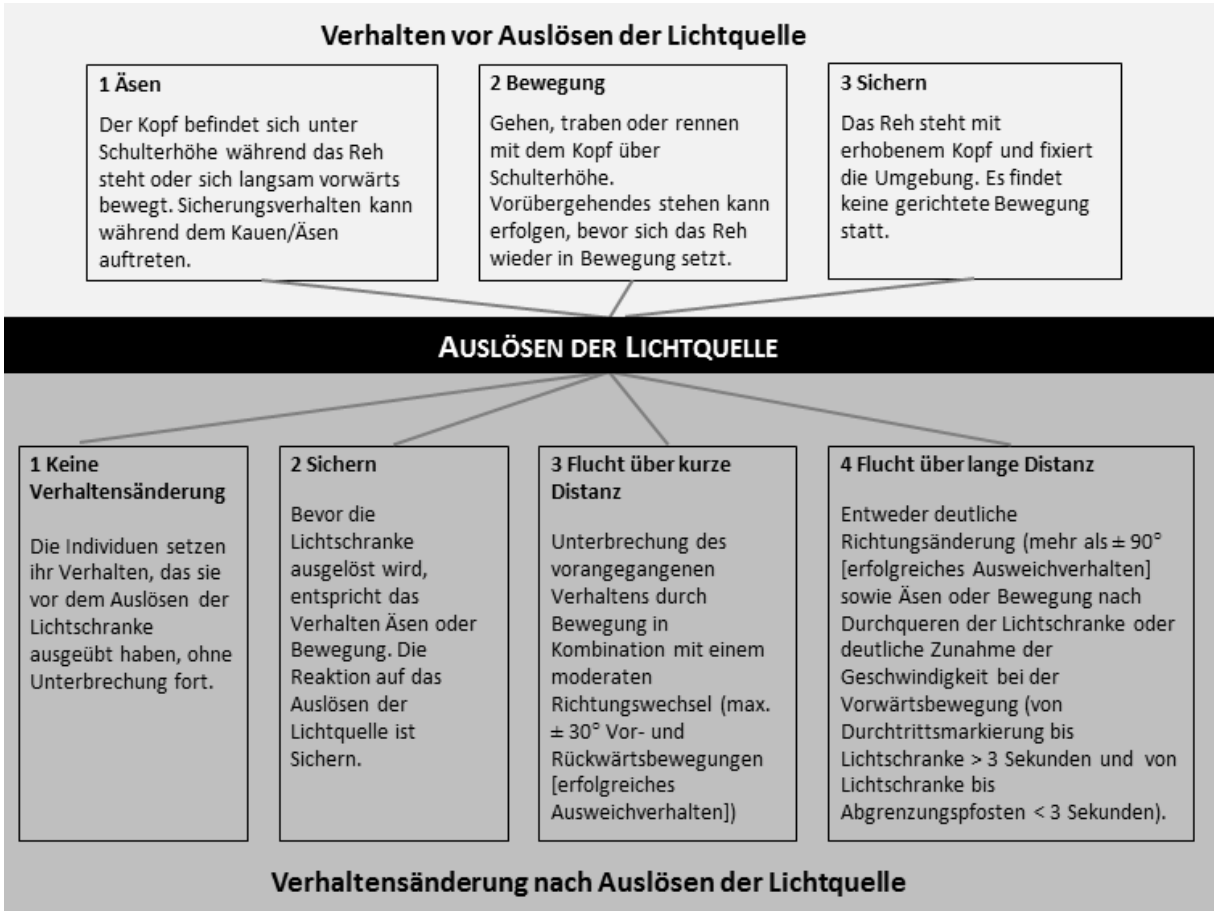


Abb. 51: Ethogramm zur Klassifizierung des Rehverhaltens im Gehegeversuch.

8.2 AUSWERTUNG

Für statistische Analysen wurde die freie Software R v. 3.1.2 genutzt (R Core Team 2016). Um eine individuelle Unterscheidung der Tiere in der Auswertung gewährleisten zu können, fanden nur Datenpunkte von adulten Tieren Anwendung, da Kitze im Versuch nicht individuell markiert waren. Damit beschränkte sich die Anzahl der Versuchstiere letztendlich auf 32 Rehe (13 ♂, 19 ♀). Weiterhin wurden nur Datenpunkte miteinbezogen, welche in der Dunkelheit aufgenommen wurden, um eine wirksame Sichtbarkeit der Beleuchtung zu gewährleisten.

Aufgrund einer zu geringen Anzahl an Ereignissen für den weißen Wildwarnreflektor der Firma Beilharz (basierend auf 3 Tieren), konnte dieses Modell in der Analyse nicht weiter betrachtet werden. In einem ersten Schritt wurde das Sicherungsverhalten der Tiere in den verschiedenen Untersuchungsphasen mit blauen Halbkreisreflektor als auch blauen Beilharzreflektor untersucht (s. Abb. 53 sowie Tabelle 7). In einem zweiten Schritt wurden Effekte des blauen Halbkreisreflektors mit Blick auf die Hypothesen ($H_{3.1}$ und $H_{3.2}$) mit Hilfe von Regressionsmodellen untersucht (s. Tabelle 8). Für diesen Teil der Analyse konnte der Beilharzreflektor blau aufgrund einer zu geringen Stichprobe nicht berücksichtigt werden.

8.3 ERGEBNISSE DES PROJEKTMODULS

Die Verteilung der Ereignisse zeigt Abb. 52 für die experimentellen Phasen „Kein Licht“ (die Lichtquelle wird beim Durchqueren der Lichtschranke nicht aktiviert, „Licht“ (die Lichtquelle wird beim Durchqueren der Lichtschranke aktiviert) in Verbindung mit Wildwarnreflektoren „nicht montiert“ und an Straßenleitpfosten „montiert“.

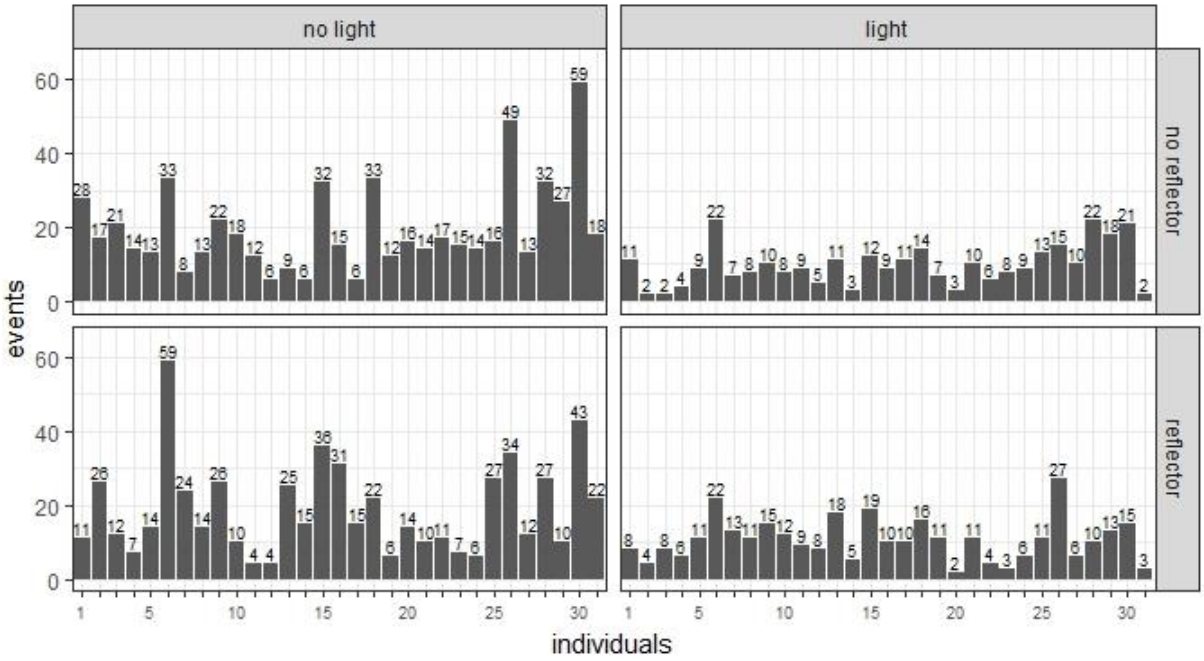


Abb. 52: Anzahl an Gesamtereignissen pro Individuum, die in die Analyse einflossen, aufgeschlüsselt nach den experimentellen Phasen „kein Licht“, „Licht“ sowie „kein Reflektor“ und „Reflektor“.

Wurde das Licht des Scheinwerfers aktiviert (Phase L), reagierten die Tiere deutlich häufiger mit Sicherungsverhalten (Abb. 53). Im Vergleich dazu sicherten die Tiere in den Phasen, in denen das Licht nicht aktiviert war (Phase N, NL und NR), deutlich seltener. Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse, dass das Sicherungsverhalten durch die Reflektoren nicht gesteigert werden konnte. Weder der blaue Reflektor von Beilharz noch der blaue Halbkreisreflektor führten dazu, dass die Rehe häufiger Sicherungsverhalten zeigten als in der Lichtphase L, in der keine Reflektoren montiert waren. Die Tiere sicherten in Phasen mit Reflektoren im geringeren Umfang.

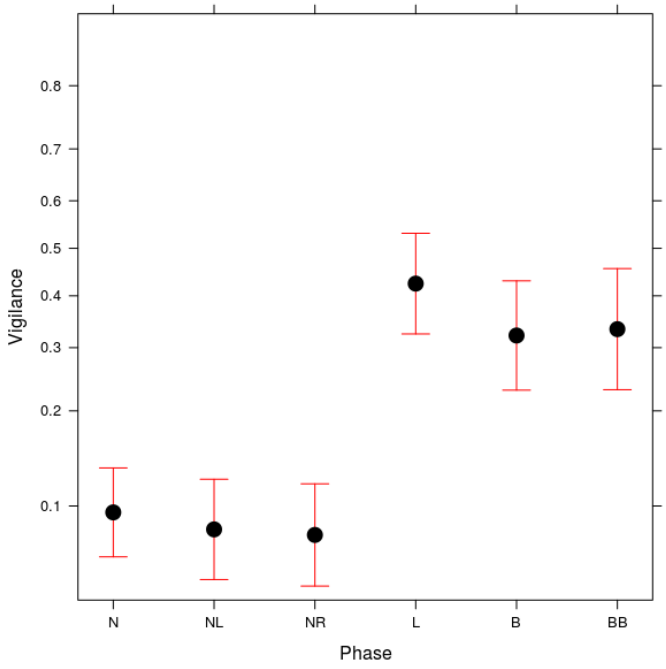


Abb. 53:
Wahrscheinlichkeit in Prozent (0-80 %), dass Rehe mit Sicherungsverhalten reagiert haben. In Versuchsphasen, in denen das Licht nicht aktiviert wurde (N [Gewöhnungsphase], NL [kein Licht während der Lichtphase], NR [kein Licht während der Licht+ Reflektorphase]) zeigten die Rehe selten Sicherungsverhalten. Wurde die Lichtquelle aktiviert, nahm die Wahrscheinlichkeit deutlich zu, dass die Tiere Sicherungsverhalten zeigten (L [Lichtphase], B [Licht in Kombination mit blauem Halbkreisreflektor], BB [Licht in Kombination mit blauem Beilharzreflektor]).

Tabelle 7: Ergebnisse des Regressionsmodells für Sicherungsverhalten (glmer mit Tier-ID als zufälligen Effekt, family = binomial (logit); Referenz ist Phase N). Die Tabelle zeigt die Schätzer der Effektgrößen, den Standardfehler und die p-Werte für die einzelnen Untersuchungsphasen.* deutet auf Signifikanz mit $\alpha = 0.05$ hin, d.h. diese Phasen hatten einen Einfluss auf das Rehverhalten.
Phase NL: kein Licht während der Lichtphase, Phase L: Aktivierung des Lichtes während der Lichtphase, Phase B: Licht in Kombination mit blauem Halbkreisreflektor, Phase BB: Licht in Kombination mit blauem Beilharzreflektor; SE: Standardfehler; P: P-Wert.

	Estimate	**SE**	**z-value**	**Pr(>|z|)**
Phase NL	-0.14495	0.21976	-0.660	0.50952
Phase L	1.95084	0.22537	8.656	< 0.001***
Phase B	1.50833	0.24295	6.208	< 0.001***
Phase BB	1.56250	0.26276	5.947	< 0.001***

Für Hypothese $H_{3.1}$ (Zunahme stärkerer Verhaltensänderungen wie Sichern oder Fluchtverhalten), zeigte sich, dass der blaue Halbkreisreflektor keinen Einfluss auf das Verhalten von Rehen hatte (s. Variable „Reflektor“ in Tabelle 8). Ebenso war die Interaktion zwischen Wildwarnreflektor und dem Licht nicht signifikant, was bedeutet, dass der Effekt der Lichtquelle durch Kombination mit dem Reflektor nicht verstärkt wurde. Ein signifikanter Prädiktor für ein Auftreten stärkerer Verhaltensreaktionen war das Licht. Vorhersagen des Modells verdeutlichen, dass nach Aktivierung

der Lichtquelle der wichtigste Prädiktor ist, ob die Tiere mit einer stärkeren Verhaltensreaktion reagierten. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Tiere mit Sicherungsverhalten reagierten, nahm deutlich zu, wenn die Tiere die Lichtquelle auslösten. Darüber hinaus wurde deutlich, dass das Verhalten der Tiere bevor die Lichtschranke durchschritten wurde, eine Rolle spielte, ob stärkere Verhaltensreaktionen ausgelöst wurden. Zeigten die Tiere vor Durchschreiten der Lichtschranke Sicherungsverhalten, war die Wahrscheinlichkeit größer, dass das Tier mit Sicherungsverhalten nach Aktivierung der Lichtquelle reagierten (s. Variable VerhS, Tabelle 8).

Für Hypothese $H_{3.2}$ (Zunahme von Verhalten mit Bewegung weg von den Straßenleitpfosten) zeigte sich, dass der blaue Halbkreisreflektor ebenfalls keinen Einfluss auf das Verhalten von Rehen hatte und zu keinem Verhalten mit Bewegung weg von den Straßenleitpfosten und der Lichtquelle führte (s. Variable Reflektor als Interaktion mit Licht, Tabelle 8 [Bewegung weg von Leitpfosten]). Des Weiteren zeigten die Ergebnisse, dass auch die anderen untersuchten Variablen keinen Einfluss auf das Rehverhalten hatten.

Detaillierte Informationen zur Methodik sowie Ergebnissen des Untersuchungsmoduls siehe Brieger, F., Hagen, R., Kröschel, M., Hartig, F., Petersen, I., Ortmann, S. & Suchant, R. (2017): Do roe deer react to wildlife warning reflectors? A test combining a controlled experiment with field observations. European Journal of Wildlife Research, 63, 72.

Tabelle 8: Ergebnisse der Regressionsmodelle für Verhaltensänderungen (links) und erfolgreiches Zurückweichen (rechts). Die Tabelle zeigt die Schätzer der Effektgrößen, den Standardfehler und die p-Werte für die einzelnen Prädiktoren. * zeigt Signifikanz mit $\alpha = 0.05$ an. VerhB/VerhS: Bewegen oder Sicherungsverhalten verglichen mit Äsen; GeschlM: Geschlecht Männchen verglichen mit Geschlecht Weibchen; JahreszeitE: biologische Jahreszeit (Brunft) verglichen mit Winterruhe [Eiruhe] (vgl. mit Krop-Benesch et al. 2013); Gruppe: Anzahl der Rehe pro Gehege (Spanne 3-6 Tiere); Reflektor: Abwesenheit des Wildwarnreflektors verglichen mit Anbringung; Licht: Effekt des Lichtes; Reflektor*Licht: Interaktion zwischen Präsenz Wildwarnreflektor und Licht; SE: Standardfehler; P: P-Wert

	Verhaltensänderungen			**Bewegung weg von Leitpfosten**		
	Schätzer	**SE**	**P**	**Schätzer**	**SE**	**P**
IC				-45.615	25801.076	0.999
VerhB	-0.334	0.292	0.253	18.252	24659.226	0.999
VerhS	-0.992	0.405	0.014*	19.655	24659.226	0.999
GeschlM	0.039	0.151	0.797	0.189	1.025	0.854
JahreszeitE	-0.228	0.23	0.321	1.194	1.068	0.264
Gruppe	-0.131	0.144	0.360	0.397	0.545	0.466
Reflektor	-0.122	0.170	0.474	0.057	11299.194	1.0
Licht	1.256	0.164	< 0.001*	19.592	7590.644	0.998
Reflektor*Licht	0.055	0.232	0.811	0.461	11299.194	1.0

8.4 DISKUSSION UND BEWERTUNG

Die Analyse der Verhaltensreaktionen im Rahmen der Gehegeversuche ergab einen signifikanten Effekt der Beleuchtung auf die Verhaltensreaktion der Rehe. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Tiere mit Sicherungsverhalten reagierten, war bei Aktivierung des Scheinwerferlichtes signifikant höher. Erfolgte die Kombination aus Scheinwerferlicht und Wildwarnreflektor, war kein signifikanter Effekt

der Wildwarnreflektoren (blauer Halbkreisreflektor und blauer Beilharzreflektor im ersten Schritt als auch ausschließlich blauer Halbkreisreflektor im zweiten Schritt) auf das Sicherungsverhalten über den des Lichtstimulus hinaus sichtbar. Weiterhin zeigten die Tiere kein erhöhtes Fluchtverhalten mit weg gerichteter Bewegung von den Straßenleitpfosten in Phasen, wenn Wildwarnreflektoren mit Licht beschienen wurden.

Die Ergebnisse dieses Moduls stellen wiederum eine wichtige Ergänzung der Ergebnisse der Freilanduntersuchung mit Wärmebildkameras dar und zeigen, dass Wildwarnreflektoren auch unter kontrollierten Bedingungen und damit dem Ausschluss einer Reihe von Faktoren, die einen Einfluss auf die Wirksamkeit von Wildwarnreflektoren haben können, keinen Effekt auf das Verhalten von Rehen erzielten. Als Kritikpunkt könnte angeführt werden, dass die Untersuchung mit Gehegerehen durchgeführt wurde. Dieser Aspekt kann jedoch widerlegt werden. Die Tiere werden zu Forschungszwecken in der Feldstation des IZWs gehalten, die ein natürliches und artgerechtes Verhalten erforderlich machen. Zu diesen Zwecken werden die Tiere nicht handaufgezogen und vor den Mitarbeitenden bzw. den Arbeitsabläufen in der Station abgeschirmt, so dass sie ein natürliches Verhalten wie Feindvermeidungsverhalten zeigen, wenn sich Personen den Gehegen nähern. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse uneingeschränkt mit den Ergebnissen der anderen Projektmodule vergleichbar.

Die Untersuchungsergebnisse entsprechen Ergebnissen älterer experimentellen Gehege-versuchen, die sich mit der Wirkungsweise von Wildwarnreflektoren beschäftigt haben. Diese zeigten, dass Reflektoren 1. keinen Effekt (weiße Wildwarnreflektoren) oder nur einen geringen Effekt (rote Wildwarnreflektoren) auf das Sicherungs- oder Fluchtverhalten auf Kängurus hatten (Ramp & Croft 2006) und 2.rote Wildwarnreflektoren das Verhalten von Weißwedelhirschen nicht änderten (Zacks 1986). Zacks (1986) begründet dies damit, dass nicht das Verhalten der Tiere, sondern das der Fahrzeugführer beeinflusst wird. Diese Hypothese teilen weitere Autoren, wie z.B. Pafko & Kovach (1996). Allerdings gab es bisher keine Studie, die den Einfluss von Wildwarnreflektoren auf das Verhalten von Fahrzeugführern untersucht hatte. Hierzu wird jedoch auf den bereits erwähnten Aspekt der erhöhten Fahrgeschwindigkeiten an den Straßenabschnitten in Modul 1 verwiesen, nachdem Wildwarnreflektoren montiert wurden (s. Anhang 13.1).

Die Ergebnisse des Projektmoduls legen nahe, dass in der Unfallprävention kein direkter Verhaltenseffekt der Reflektoren von einer für die Verkehrssicherheit relevanten Größe anzunehmen ist. Jedoch war ein klarer Effekt von Beleuchtung auf das Verhalten der Tiere im Experiment festzustellen. Hieraus könnte sich ein Potential für Licht als Werkzeug in der Wildunfallprävention ergeben, z.B. in Form modifizierter Autoscheinwerfer, die durch ihre spezielle Bauweise den Straßenrandbereich direkt ausleuchten und damit zu einer erhöhten Wachsamkeit bei Rehen führen, wenn diese sich in dem Straßenrandbereich aufhalten.

9 LICHTTECHNISCHE ÜBERPRÜFUNG VON WILDWARNREFLEKTOREN (MODUL 4)

Das Lichtlabor des Lichttechnischen Institutes des Karlsruher Instituts für Technologie wurde im Frühjahr 2013 beauftragt, frei käufliche Reflektormodelle (Stand Frühjahr 2013) hinsichtlich ihrer physikalischen Wirkprinzipien zu untersuchen.

Im Versuch wurden zehn verschiedene Reflektormodelle auf ihre Eigenschaften hin untersucht (Abb. 54, Tabelle 9). Hierbei kamen sowohl ablenkende Reflektoren zum Einsatz, die das Licht der Fahrzeugscheinwerfer nach dem Ablenkungsprinzip über spiegelnde Flächen in einen schmalen Winkelbereich orthogonal zur Fahrbahn ablenken, sowie Retroreflektoren, welche mit Hilfe von retroreflektierenden Folien das Licht zur Quelle zurück werfen. Zusätzlich kam ein Referenzreflektor aus weißem Löschpapier zum Einsatz, der dazu diente, die gewonnenen Messergebnisse zu bewerten.

Abb. 54:
Übersicht der zehn getesteten Wildwarnreflektormodellen. Ganz links befindet sich der Referenzreflektor, bestehend aus weißem Löschpapier. Es folgen drei Modelle in je zwei Farbvarianten, die dem Typus *Ablenkende Reflektoren* zugeordnet werden konnten sowie vier Modelle, die dem Typus *Retroreflektor* entsprachen. Letztendlich wurden acht Reflektormodelle im Test vermessen.

9.1 METHODE

Die räumliche Abstrahlcharakteristik der Reflektoren wurde mit Hilfe eines Goniometers vermessen. Hierbei wurden die Reflektoren mit einem Projektor beleuchtet und die entstehende Reflektion winkelabhängig aufgenommen. Aus mechanischen Gründen wurde der Aufbau so gewählt, dass die geometrischen Verhältnisse zwischen Reflektor und Lichtquelle konstant waren und nur der Beobachtungswinkel relativ zur Normalen des Reflektors verändert wurde. Bei der in der Messung nachgebildeten Straßensituation handelte es sich um den geometrisch günstigsten Fall einer graden Straße. Dies bedeutet, dass die Beleuchtungsrichtung nahezu parallel zur Straße liegt (Abb. 55).

Tabelle 9: Übersicht der untersuchten Modelle. Die Nummerierung richtet sich nach der Aufstellung der Objekte in Abb. 54.

Nummer	Bezeichnung	Typ | Geometrie	Bemerkung
Referenz	weißes Löschpapier auf Winkeln im 45° zur Fahrbahnachse	Diffuser Reflektor | Ebene 45°	Dieser „Reflektor“ ist ein nahezu perfekter Lambert’scher Reflektor und wird zu Vergleichszwecken hier vermessen. Die Normale der Fläche ist 45° gegenüber der Beleuchtungsachse geneigt, um einen möglichst hohen Anteil an Reflektion orthogonal zur Beleuchtungsachse zu erhalten.
1	WEGU GFT | weiß	Spiegelnder Reflektor | Ebene 45° mit Facetten	Reflektor mit Facettenspiegel und Kissenoptiken zur Bündelung des Lichtkegels. Die spiegelnde Schicht ist auf der Rückseite der Optik angebracht.
2	Swarowski | Swareflex weis	Spiegelnder Reflektor | Ebene 45° mit Facetten	Reflektor mit Facettenspiegel und Kissenoptiken zur Bündelung des Lichtkegels. Ähnliches optisches Konzept wie 1 und 2 nur mit kleineren Facettenspiegeln.
3	Swarowski | Swareflex | rot	Spiegelnder Reflektor | Ebene 45° mit Facetten	Baugleicher Reflektor wie 3 nur mit rot eingefärbter Kunststoffoptik.
4	Beilharz | blau	Spiegelnder Freiformreflektor | Freiform	Baugleicher Reflektor wie 5 nur mit leicht blau eingefärbter Kunststoffoptik.
5	Berg Werbetechnik | blau	Retroreflektor | Halbkreis	Reflektor mit blauer Retroreflektionsfolie mit halbrundem Querschnitt. Querschnittsform ergibt sich aus der aufgespannten Folie. Kein Kunststoffkörper zur Formgebung unter der Folie.
6	Ziegler Metall | weiß	Retroreflektor | Halbkreis	Reflektor mit Retroreflektionsfolie mit halbrundem Querschnitt. Träger aus Aluminium mit zu einer Hälfte blauer und zur anderen Hälfte weißer Folienbeklebung.
7	Beutha Schilderwerke | blau	Retroreflektor | Halbkreis	Reflektor mit Retroreflektionsfolie mit halbrundem Querschnitt. Träger aus Kunststoff mit blauer Folien Beklebung.
8	Carsten Vollmer CaVo Schilder | blau	Retroreflektor | Ebene 45°	Reflektor mit Retroreflektionsfolie mit keilförmigem Querschnitt. Träger aus Kunststoff mit blauer Folien Beklebung.

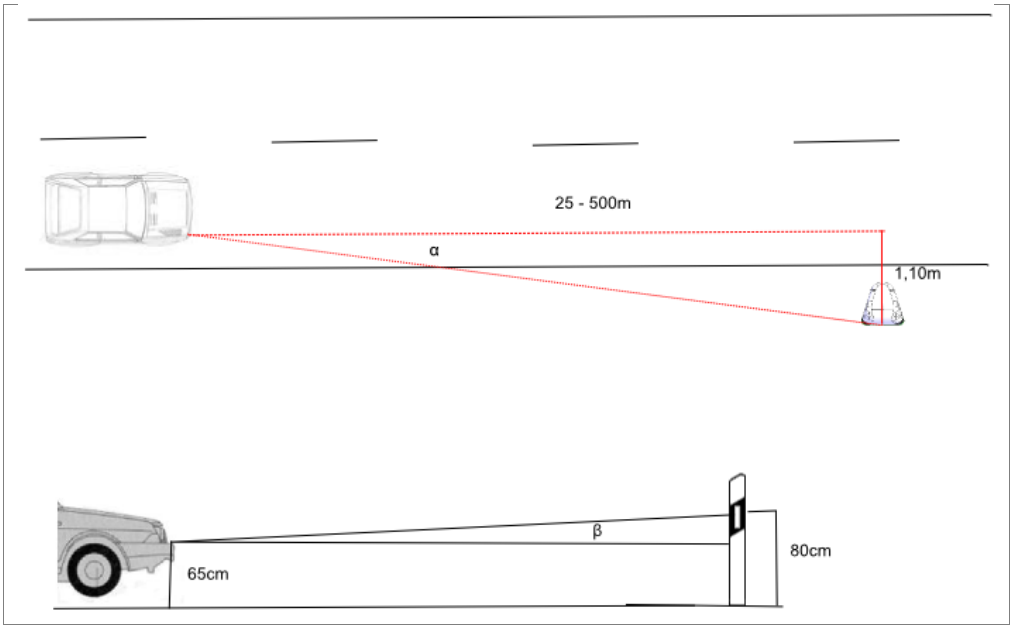


Abb. 55: Geometrische Beziehung bei der Beleuchtung des Straßenleitpfostens.

Geht man davon aus, dass das Wild ausreichend früh gewarnt werden soll, so muss dies in einem Abstand größer 50 m vor dem Fahrzeug passieren. Dies ergibt sich aus der auf einer Landstraße angenommen Verkehrsgeschwindigkeit von über 70 km/h und einer typischen Reaktionszeit im Bereich von einer Sekunde. Diese Mindestentfernung von 50 m in Relation zum angenommenen Abstand zwischen Fahrzeugmitte und Leitpfosten führt zu maximalen Ablenkungswinkeln α von kleiner 2°. Dieser geringe Winkel zwischen Fahrzeug und Pfosten wird mit Vergrößerung des Abstandes zwischen Fahrzeug und Pfosten immer geringer und geht gegen Null, so dass die Beleuchtungsrichtung immer nahe der Parallelen zur Fahrbahnachse liegt.

Von deutlich größerer Bedeutung zur Bewertung der Wirkung des Reflektors ist die räumliche Variation des Ablenkungswinkels in Relation zur Beleuchtungsachse. Dieser Winkelbereich wird mit Hilfe des Goniometers gezielt variiert und die relativen Lichtstärken in Abhängigkeit des Beobachtungswinkels aufgenommen. Somit ergibt sich bei konstanter Beleuchtung ein relatives Maß für die winkelabhängige Reflexionseigenschaft des untersuchten Wildwarnsystems. Als Lichtquelle wurde eine Hg-Kurzbogenlampe mit einer Farbtemperatur von ca. 6500 K verwendet. Die Farbwiedergabe der Quelle ist entsprechend hoch, so dass die Lichtstärken der farbigen Reflektoren vergleichbare Ergebnisse lieferten.

Es wurden die Lichtstärken des reflektierten Lichtes der Wildwarnreflektoren gemessen, die alle auf die Lichtstärke des Projektors normiert wurden. Diese Normierung führt zu einer relativen Vergleichbarkeit der Mess- und Simulationsergebnisse untereinander. Der Lichtkegel des Projektors wurde mir Hilfe von Optiken und Blenden so weit wie möglich parallel ausgerichtet und der entstehende Beleuchtungsfleck wurde so groß gewählt, dass der Reflektor in seiner vollen Breite ausgestrahlt wurde. Die volle Höhe der Reflektoren konnte aus technischen Gründen nicht realisiert werden. Bei allen Reflektoren wurde an einem Teilstück auf einer Höhe von 400 mm exemplarisch gemessen und der Rest abgedeckt (s. Abb. 546). Vor den Messungen wurden alle optisch nicht aktiven Flächen des Aufbaus und des Messobjektes mit schwarzem Kartonpapier oder schwarzem, hochabsorbierenden Bühnenmolton bedeckt.

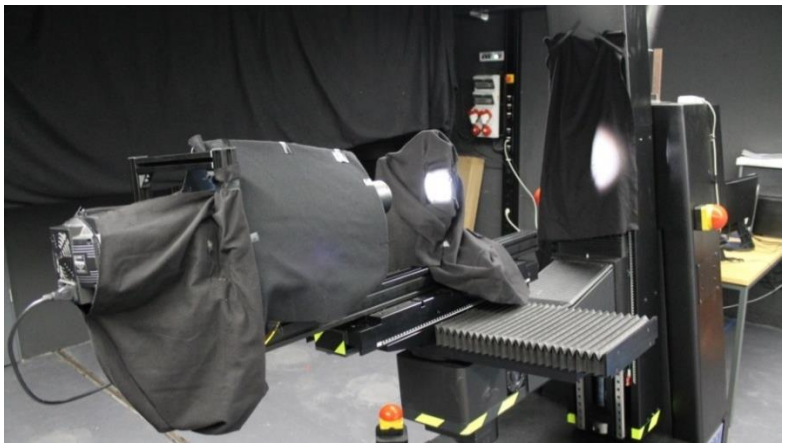


Abb. 56:
Aufbau des Projektors auf dem Goniometer mit Abdeckung.

Da alle Reflektoren konstruktiv symmetrisch zur Vertikalachse waren, wurden aufgrund der Symmetrieeigenschaften die Messungen für nur einen Halbraum durchgeführt. Die Messergebnisse wurden dann in der Auswertung an der optischen Achse gespiegelt. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte als einfache Projektion mit linearer Interpolation der gemessenen Lichtstärken auf einer virtuellen Schirmebene. Die Simulationen wurden in der Softwareumgebung Matlab erstellt. Die Größe des Schirms wurde willkürlich festgelegt und dessen angenommene Größe orientierte sich an

den in der Praxis relevanten Größen. Die Höhe des Schirms betrug 2 m. Der Schirm wurde für eine richtungsunabhängige Interpretation als Zylinderfläche angenommen. Der Mittelpunkt des Zylinders war der Lichtschwerpunkt des Reflektors; der Radius des angenommen Zylinders betrug 5 m (s. Anhang 13.4). Für eine absolute Bewertung der Sichtbarkeit in der realen Umgebung müssten hier neben der Reflexionseigenschaft des Reflektors noch die auftretenden Lichtstärken des Fahrzeuges bekannt sein. Somit sind alle gezeigten Ergebnisse nur relativ untereinander vergleichbar. Ob diese Reflektoren in der realen Umgebung signifikant auffallen, kann somit nicht abschließend gezeigt werden. Hierzu wären weitergehende Untersuchungen nötig.

9.2 ERGEBNISSE DES PROJEKTMODULS UND BEWERTUNG

Aus dem Vergleich der verschiedenen Reflektormodelle ergaben sich folgende allgemeine Muster. Im Allgemeinen wiesen die spiegelnden Reflektoren eine höhere Lichtstärke gegenüber den Retroreflektoren auf. Dies ist zum Teil auf Unterschiede in der Konstruktion zurückzuführen; so sind manche ablenkende Modelle (z.B. Swareflex, WEGU) mit Spiegelflächen ausgestattet, wohingegen die potentielle Wirksamkeit der Retroreflektoren auf einer retroreflektierenden Folie basiert. Generell war das Rückstrahlmuster der Retroreflektoren diffuser, was jedoch auf einen Fehler im Untersuchungsaufbau am Lichttechnischen Institut des KIT in Karlsruhe zurückzuführen ist. Durch die Konstruktion des Lichtprojektors ergibt sich ein toter Winkel in der Messung der Lichtstärke, welcher genau mit dem Hauptwirkungsbereich mancher Retroreflektoren zusammenfällt (< 10°; Beutha max. 1.5°). Der größte erfassbare Ablenkwinkel ist konstruktiv durch das Gehäuse des Projektors begrenzt. Aus der seitlichen Abdeckung des Projektors ergibt sich ein nicht messbarer Bereich, welcher einen Winkel zwischen optischer Achse des Projektors und der Beobachtungsrichtung von 10° abdeckt, so dass ein Winkelbereich von maximal 80° gegenüber der Orthogonalen der virtuellen Fahrbahn erreicht wird. Somit wurde der horizontale Messbereich auf |-80° - +80°| beschränkt.

Eine abschließende Bewertung der verschiedenen Reflektormodelle ist aufgrund der methodischen Mängel unmöglich. Ein allgemeines vorsichtiges Fazit mag lauten, dass die Lichtstärke, welche durch die Reflektoren erzeugt wird, zu gering ist im Vergleich mit der Lichtstärke der Scheinwerfer und von diesen überstrahlt werden. Das heißt, dass der von den Reflektoren erzeugte Lichtreiz in den meisten Fällen keinen ausreichend starken zusätzlichen Einfluss auf die Tiere ausüben kann. Ein solcher Einfluss wäre aber für eine erhöhte Wachsamkeit und eine Senkung des Kollisionsrisikos nötig. Des Weiteren zeigt sich eine höhere Lichtstärke bei weißen gegenüber farbigen Modellen. Die Ergebnisse decken sich mit den aufgeführten Untersuchungen zu möglichen Verhaltenseffekten von blauen Wildwarnreflektoren, welche nahelegen, dass der durch die Reflektoren erzeugte Stimulus nicht ausreichend stark ist, um verkehrsrelevante Verhaltensänderungen nach sich zu ziehen.

Lichttechnische Untersuchungen des Lichttechnischen Institutes der Technischen Universität Dresden zeigen, dass die physikalischen Reflexionseigenschaften der Wildwarnreflektoren sehr gering bis nicht vorhanden sind. Die mittlere Reflexionswirkung im zentralen Abstrahlbereich der getesteten Reflektormodelle ist um den Faktor 30-100 geringer als die retroreflektierende Wirkung der Nachtkennzeichen an den Leitpfosten (Schulze & Polster 2017). Daher kam die Untersuchung zum Schluss, dass die Hypothese der Hersteller widerlegt werden kann, dass Wildwarnreflektoren Lichtreize bzw. einen „Lichtzaun“ erzeugen.

10 LICHTWAHRNEHMUNG VON REHEN (MODUL 5)

Das Ziel des Moduls bestand darin, unter kontrollierten Bedingungen die Verhaltensreaktion von Rehen auf Lichtreize verschiedener Wellenlängen (‚verschiedene Farben') zu untersuchen. Hiermit sollte eine Aussage über die dem Wirkungskonzept der Wildwarnreflektoren zugrunde liegende vermeintliche Signalwirkung der Farbe Blau auf das Verhalten von Rehen getroffen werden. Im Versuch wurden die folgenden Hypothesen untersucht:

- $H_{5.1}$: Fresszeiten sind signifikant kürzer an blau beleuchteten Futterboxen gegenüber unbeleuchteten Futterboxen.
- $H_{5.2}$: Blau beleuchtete Futterboxen werden signifikant gemieden zu Gunsten von unbeleuchteten Boxen.
- $H_{5.3}$: Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen warm-weißer und blauer Beleuchtung in den genannten Verhaltensreaktionen.

10.1 METHODE

Der Versuch wurde in vier Versuchsgehegen der Feldforschungsstation Niederfinow des Leibniz-Instituts für Zoo- und Wildtierforschung (IZW) Berlin durchgeführt (Abb. 57).

Zur Untersuchung der Wirkung von Licht unterschiedlicher Spektralbereiche auf das Verhalten der Tiere, wurden am IZW in vier Gehegen 19 Rehe (4 ♂, 11 ♀, 4 Kitze) mit verschiedenfarbigem Licht konfrontiert. Dazu wurden bestehende Futterraufen, die sich jeweils in einfacher Ausführung in den beiden Gehegen befanden, mit drei separaten Boxen baulich verändert und jeweils zu den Seiten hin lichtundurchlässig präpariert (Abb. 58). Oberhalb der Futterschüssel wurde pro Box mittig eine LED-Lampenfassung angebracht, in die die jeweils benötigten LED-Leuchten flexibel eingesetzt werden konnten. Das den Tieren *ad libitum* zur Verfügung stehende Futter konnte somit bei Einsatz der Leuchten nur durch Eintauchen des Kopfes in den Lichtkegel aufgenommen werden.

Daten wurden jeweils in Kontrollphasen ohne Beleuchtung und Experimentalphasen mit Beleuchtung aufgenommen. Der Datenaufnahme ging eine Gewöhnungszeit an die Futterbox von einer Woche voraus. Daten wurden pro Gehege in vier aufeinander folgenden Phasen erhoben (siehe Anhang 13.45). Während der jeweils ersten und dritten Phase (N1, N2) wurde das Normalverhalten der Tiere ohne Einsatz von Leuchten aufgezeichnet. In den Lichtphasen (L1, L2) wurden jeweils zwei Futterboxen der Raufe nach einem festgelegten, rotierenden Schema (Anhang 13.4) in der Abend- und Morgendämmerung durch eine blaue bzw. warm-weiße LED Lampe für eine Dauer von mindestens drei Stunden mit Hilfe einer Zeitschaltuhr durchgehend beleuchtet (Abb. 58). Das tägliche Rotieren der Leuchten diente zum Ausschluss möglicher individueller Präferenzen hinsichtlich einer Seite der Futterraufe als Ursache für die Futterboxnutzung an die Futterboxen. Nachts wurden die Leuchten ausgeschaltet, um einen Gewöhnungseffekt durch permanente Stimuli zu vermeiden. Die Dauer der Versuchsphasen von jeweils sechs Tagen gewährleistete eine Verteilung der jeweiligen Boxenbeleuchtung auf je zwei Tage. Wenn möglich, wurden ausgefallene Versuchstage am Ende der Phase wiederholt.

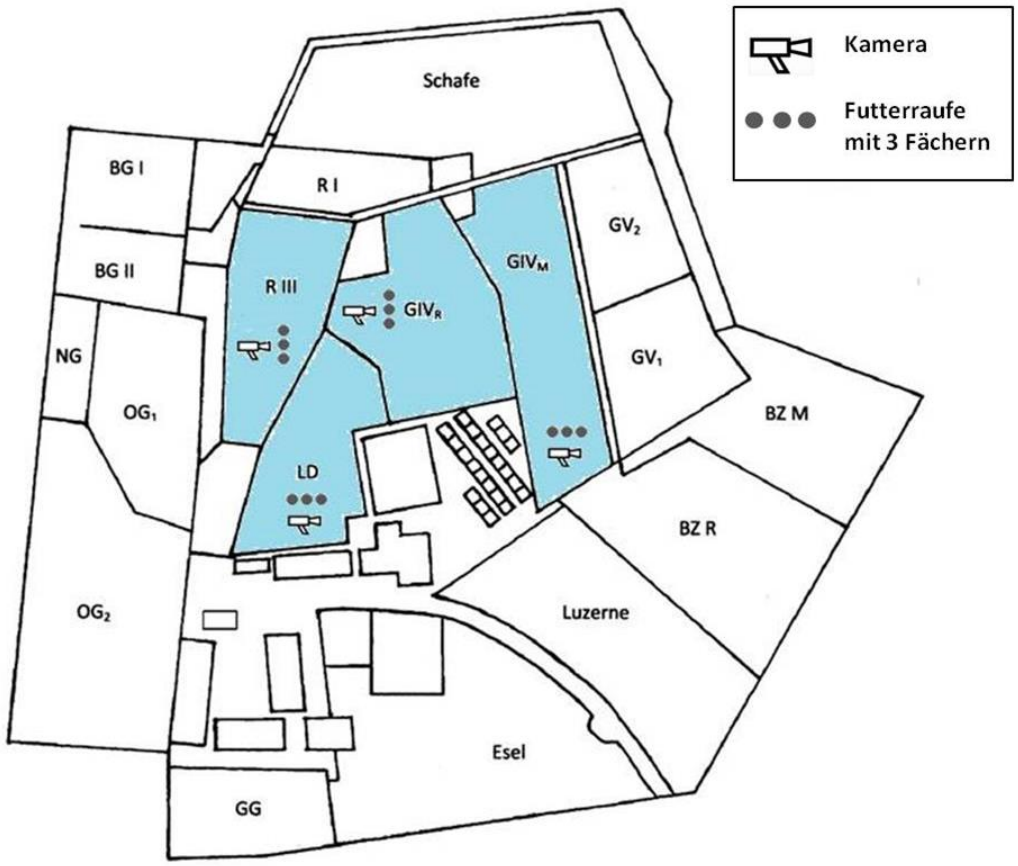


Abb. 57: Übersicht der Versuchsgehege der Feldforschungsstation Niederfinow des IZW. Gehege, in denen das Fütterungsexperiment durchgeführt wurde, sind blau hinterlegt.

Abb. 58:
Präparierte Futterraufe mit drei separierten Futterboxen in der Testphase. Die Futterboxen wurden im Wechsel jeweils blau, weiß oder nicht ausgeleuchtet.

10.2 AUSWERTUNG

Für statistische Analysen wurde die freie Software R v. 3.1.2 genutzt (R Core Team 2016). Um eine individuelle Unterscheidung der Tiere in der Auswertung gewährleisten zu können, fanden nur Datenpunkte von adulten Tieren Anwendung, da Kitze im Versuch nicht individuell erkennbar markiert waren. Damit beschränkte sich die Anzahl der Versuchstiere auf 15 Rehe (4 ♂, 11 ♀). Weiterhin wurden nur Datenpunkte miteinbezogen, welche in der Dunkelheit aufgenommen wurden, um eine wirksame Sichtbarkeit der LED Beleuchtung zu gewährleisten.

Effekte der Beleuchtung auf die Fressdauer an den Futterraufen ($H_{5.1}$ und $H_{5.3}$) wurden mit Hilfe von Regressionsmodellen untersucht. In der Hauptsache wurden mögliche Effekte des Beleuchtungsregimes (kein Licht, blaues Licht, weißes Licht) untersucht, jedoch wurde auch für mögliche Störvariablen korrigiert, darunter die Seite der Futterbox in der Raufe an der gefressen wurde (innen, außen) sowie die experimentelle Phase (Anhang 13.45). Effekte des Beleuchtungsregimes auf Präferenzen bei der Futterboxnutzung ($H_{5.2}$ und $H_{5.3}$) wurden ebenfalls mit Regressionsmodellen untersucht, wobei für diese Fragestellung eine binäre Antwortvariable (Entscheidung für bzw. gegen eine Box) zur Anwendung kam. In diesem Fall wurde das Beleuchtungsregime zusammen mit der Seite der Futterbox (innen, außen) als Prädiktor mit einbezogen.

Abb. 59: Bildausschnitt der Überwachungskamera. Ein Rehbock ist an die linke Futter-box herangetreten und frisst. Die linke Box ist blau beleuchtet, die mittlere warmweiß und die rechte Box ist unbeleuchtet.

10.3 ERGEBNISSE DES PROJEKTMODULS

Die Analyse der Fressdauer an Futterboxen mit unterschiedlicher Beleuchtung ergab einen signifikanten Effekt der Beleuchtung. Die Fresszeiten waren signifikant kürzer an beleuchteten Boxen gegenüber einer unbeleuchteten Box, unabhängig von der Wellenlänge des Lichtes. Dies galt sowohl für Licht des blauen Spektralbereichs als auch für weißes Licht (Abb. 60; Tabelle 10). Fresszeiten unterschieden sich nicht signifikant zwischen den beiden Beleuchtungstypen (Abb. 60 links).

Die Auswertung der Präferenzen in der Futterboxnutzung ergab ebenfalls einen signifikanten Effekt des Beleuchtungsregimes (Abb. 60; Tabelle 11). Beleuchtete Boxen wurden im Experiment nicht-beleuchteten Boxen vorgezogen, wobei eine signifikante Präferenz für blau beleuchtete Futterboxen

gegenüber nicht beleuchteten Boxen festgestellt wurde. Es wurde ebenfalls eine Präferenz für die weiß beleuchtete Box gegenüber der unbeleuchteten festgestellt, diese war jedoch nicht signifikant. Es konnten keine signifikanten Unterschiede im Effekt zwischen den beiden Beleuchtungstypen festgestellt werden. Die einzelnen Beleuchtungsarten wurden mit folgenden Wahrscheinlichkeiten ausgewählt: blau: p = 0.37; weiß: p = 0.34; keine: p = 0.29 (∑p = 1). Die Entscheidung für eine blaue Box war damit ca. 1.5 Mal (1.456) so wahrscheinlich wie die Entscheidung für die unbeleuchtete Box (Abb. 60 rechts).

Detaillierte Informationen zur Methodik sowie Ergebnissen des Untersuchungsmoduls siehe Brieger, F., Kämmerle, J.-L., Martschuk, N., Ortmann, S. & Hagen, R. (2017): No evidence for a 'warning effect' of blue light in roe deer. Wildlife Biology, 2017, wlb.00331.

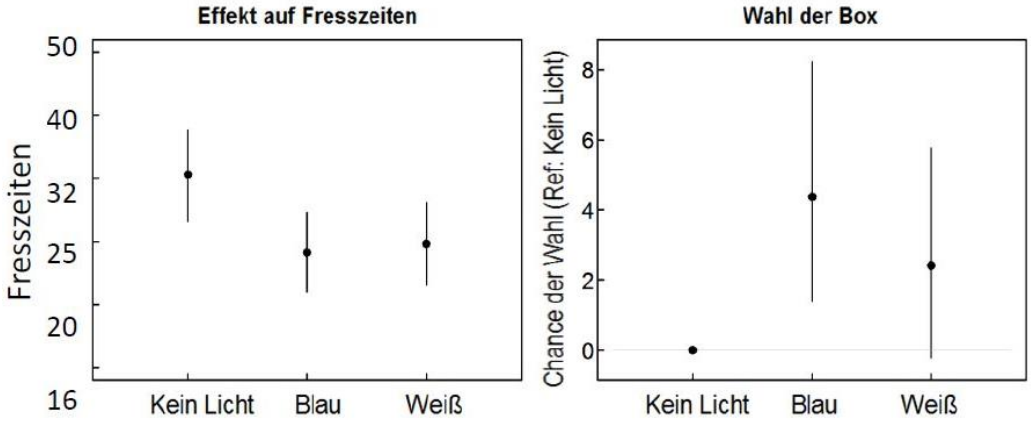


Abb. 60: Effekte verschiedener Beleuchtungen auf die Fresszeiten an den Futterboxen im Experiment sowie auf die Wahl der Futterboxen. Es wurde ein klarer Effekt von Beleuchtung auf das Verhalten der Tiere festgestellt (links; an nicht beleuchtete Futterboxen wurde deutlich länger gefressen), jedoch gab es im Experiment keine Unterschiede zwischen den beiden Licht-Typen (rechts; Rehe wählten ähnlich häufig blau und warm-weiß beleuchtete Futterboxen verglichen mit der unbeleuchteten Box).

Tabelle 10: Ergebnisse der Analyse der Fresszeiten an beleuchteten Futterboxen mit Hilfe von linearen gemischten Modellen. IC: Model Intercept (keine Beleuchtung in der äußeren Futterbox); Blau: blaue Beleuchtung; Weiß: weiße Beleuchtung; BoxI: innere Futterbox; P: Versuchsphase (N = Kontrolle; L = Experminent); β: Parameterschätzung; SE: assoziierter Standardfehler; Anmerkung: Fresszeiten sind logarithmiert zur Basis 10.

Fresszeit		IC	Blau	Weiß	BoxI	PL2	PN1
Log10	β	1.506	-0.123	-0.109	-0.155	-0.060	0.005
	SE	0.106	0.040	0.040	0.024	0.032	0.039

Tabelle 11: Ergebnisse der Analyse der Futterboxwahl an beleuchteten Futterboxen mit Hilfe von generalisierten linearen gemischten Modellen. IC: Model Intercept (keine Beleuchtung in der äußeren Futterbox); Blau: blaue Beleuchtung; Weiß: weiße Beleuchtung; BoxI: innere Futterbox; P: Versuchsphase (L = Experminent); β: Parameterschätzung; SE: assoziierter Standardfehler.

Boxwahl		IC	Blau	Weiß	BoxI	PL2
	β	-0.907	0.363	0.216	0.026	0.000
	SE	0.105	0.101	0.103	0.088	0.082

10.4 DISKUSSION UND BEWERTUNG

Basierend auf den Ergebnissen dieses Projektmoduls kann eine Verhaltensreaktion der Tiere auf Lichtreize festgestellt werden. Dies deckt sich mit dem schon in der experimentellen Evaluation der Reflektoren festgestellten Effekte von Licht auf die Wachsamkeit der Tiere. Eine kürzere Fressdauer an den beleuchteten Boxen deutet möglicherweise auch auf eine erhöhte Wachsamkeit der Tiere unter Einfluss von Licht hin. Licht des blauen Spektralbereichs konnte jedoch nicht als Signalfarbe für Rehe eingestuft werden, da kein Unterschied zwischen den Verhaltensreaktionen auf blaues und weißes Licht festgestellt werden konnte. Diese Aussage wird durch die beobachtete Präferenz der blau beleuchteten Futterbox über die dunkle Box im Experiment unterstützt. Vielmehr scheint bei den Tieren eine allgemeine Verhaltensreaktion auf einen Lichtreiz - unabhängig vom Spektralbereich - vorzuliegen.

Eine besondere Wirksamkeit von Licht des blauen Spektralbereichs für die Verkehrssicherheit erscheint aufgrund der Projektergebnisse darum unwahrscheinlich. Eine generelle Wirksamkeit von Lichtreizen in der Wildunfallprävention kann jedoch mit Bezug auf die nachgewiesene negative Verhaltensreaktion nicht ausgeschlossen werden. Fraglich ist, ob die Intensität des durch einen Wildwarnreflektor erzeugten Lichtreizes ausreichend stark ist um eine derartige Wirksamkeit nach Vorbild der Projektergebnissen zu unterstellen. Es ist wahrscheinlich, dass das ‚Eintauchen' des Kopfes in einen Lichtkegel - wie es der Versuchsaufbau von den Tieren verlangte - einen unterschiedlichen Umweltreiz als das Aufblitzen eines Wildwarnreflektors darstellt.

11 SYNTHESE PROJEKTERGEBNISSE

Im Forschungsprojekt „Effektivität von optischen Wildunfallpräventionsmaßnahmen“ wurden Wildwarnreflektoren (Modell: blauer Halbkreisreflektor) auf ihre Wirkungsweise und Wirksamkeit hin untersucht. Hierbei lag der Hauptfokus auf möglichen, durch die Wildwarnreflektoren bedingten Verhaltensreaktionen von Rehen. Im Allgemeinen wurde die Hypothese bearbeitet, dass Wildwarnreflektoren Verhaltensänderungen auslösen, welche wiederum einen positiven Einfluss auf das Kollisionsrisiko und damit die Verkehrssicherheit haben. Es wurden sowohl direkte Reaktionen (d.h. während dem Kontakt von Fahrzeug und Tier bzw. während einer Straßenquerung) wie auch langfristige Reaktionen (d.h. langfristige Änderungen im Straßenquerungsverhalten) untersucht.

In keinem der Projektmodule konnte eine durch den blauen Halbkreisreflektor bedingte, für die Verkehrssicherheit relevante Verhaltensänderung bei den Tieren festgestellt werden. Das Ausbringen der Wildwarnreflektoren hatte keinen Einfluss auf die Häufigkeit von Straßenquerungen im Jahresverlauf an den ausgewählten Standorten. Zusätzlich wurde kein für die Verkehrssicherheit relevanter Effekt auf den Zeitpunkt von Straßenquerungen an den Standorten festgestellt. Sowohl Häufigkeit wie auch der Zeitpunkt des Auftretens unterlagen klaren zeitlichen Schwankungen, welche auf die Biologie der Art zurückzuführen sind. Tierbeobachtungen in Gehege und Freiland wiesen zwar auf eine Verhaltensänderung als direkte Reaktion auf die Lichtquelle der Fahrzeuge hin, verschiedene Wildwarnreflektoren beeinflussten diese Reaktion jedoch nicht im stärkeren Maß. Dieses Ergebnis wurde durch die Ergebnisse der am IZW durchgeführten Farbexperimente gestützt, die ebenfalls eine Reizwirkung von Licht offen legten, die jedoch unabhängig vom Spektralbereich war. Die Farbe Blau konnte nicht als Warnfarbe für Rehe eingestuft werden, wenngleich das Sehvermögen der Tiere in diesem Spektralbereich besonders ausgeprägt ist. Die Lichtexperimente am Lichttechnischen Institut am KIT zeigte trotz methodischer Schwächen, dass der von den Reflektoren ausgesendete Lichtreiz nicht stark genug ist, um zusätzlich zum Scheinwerfer des Fahrzeuges signifikant auf Tiere, die sich im Straßenrandbereich aufhalten, einzuwirken. In der Summe konnte keine Änderung im Verhalten der Tiere als Reaktion auf Wildwarnreflektoren festgestellt werden.

Da in dieser Studie keine Veränderung im Verhalten von Rehen als Reaktion auf Wildwarnreflektoren festzustellen war, mag die gemeinhin berichtete Senkung der Wildunfallzahlen nach Ausbringen von Wildwarnreflektoren auf andere Faktoren zurückzuführen sein. Hierbei sind eine Vielzahl von Faktoren denkbar, darunter temporäre Änderungen im Straßenquerungsverhalten aufgrund z.B. eines Wechsels in der Ackervegetation, temporäre Reduktion der Geschwindigkeit des Straßenverkehrs in Zeiten, wenn Rehe besonders aktiv sind, Änderungen in der Populationsdichte der Zielart am Standort, unterschiedliche Jagdpraktiken, Wetter sowie Veränderungen in der Straßenrandvegetation (Ng, Nielson & St. Clair 2008; Huijser et al. 2009; Langbein, Putman & Pokorny 2011).

Eine weitere, potentiell entscheidende Komponente ist ein Einfluss der Reflektoren auf das Verhalten der Fahrzeugführer am Standort. So ist es denkbar, dass das Aufleuchten der blauen Halbkreisreflektoren, die retroreflektierend sind, vom Fahrzeugführer unbewusst als ungewohnter Reiz in der Verkehrsumgebung war genommen wird und sich hierdurch die Aufmerksamkeit des Fahrers erhöht. Da Kollisionen bedingt durch das Verhaltensmuster der Rehe vornehmlich in der Dunkelheit auftreten, kann eine erhöhte Aufmerksamkeit und die damit einhergehende kürzere Reaktionszeit (d.h. längerer Bremsweg) für das Vermeiden von Kollisionen entscheidend sein. Jedoch

zeigen die Ergebnisse der Verkehrsdaten im Rahmen von Modul 1 (Querungsverhalten im Straßenbereich), dass sich die Fahrgeschwindigkeit im Mittel über alle Standorte signifikant erhöhte (wenn auch nur um rund 1,3 km/h), wenn blaue Halbkreisreflektoren montiert waren. Dies könnte damit begründet werden, dass Wildwarnreflektoren zu einem erhöhten Sicherheitsgefühl bei den Fahrzeugführenden beitragen, wenn Reflektoren an den Straßenleitpfosten von den Fahrzeugführenden gesehen werden.

Aus den in diesem Projekt gewonnenen Ergebnissen ergeben sich die folgenden Empfehlungen. Basierend auf dem saisonalen Muster im Auftreten von Querungen lässt sich eine saisonale Schwankung im Kollisionsrisiko ableiten. Dies betrifft vor allem Zeiträume von hoher Bewegungsaktivität der Tiere wie z.B. während der Brunft. Präventionsmaßnahmen sollten daher durch saisonal dynamische Komponenten ergänzt werden, da die Erfahrung zeigt, dass permanente Warnhinweise wie z.B. das Verkehrszeichen 142 „Wildwechsel“ nach kurzer Zeit an Wirksamkeit einbüßen. Hierbei ist vor allem an saisonale Geschwindigkeitsbegrenzungen an Unfallschwerpunkten und zusätzliche Warnhinweise für die Fahrzeugführer wie Lichtsignale, die auf ein erhöhtes Kollisionsrisiko hinweisen, zu denken. Auch zeigt sich ein klarer Fokus der Querungsaktivität auf die Nachtstunden, was deshalb als Basis für gezielte Maßnahmen zur Senkung des Unfallrisikos dienen mag. Weiterhin wurden in anderen Ländern bisher gute Erfahrungen mit dynamischen Warnsystemen gemacht, die dem Fahrer die Anwesenheit von Wild im Straßenbereich signalisieren (Huijser & Hayden 2010; Huijser et al. 2015).

In der Summe erscheint der Fahrzeugführer als Komponente des Unfallrisikos effektiver beeinflusst werden zu können (s. Befragung in Schulze & Polster 2017) als das Verhalten von Wildtieren. Darum erscheinen auch Präventionsmaßnahmen, die sich auf das Verhalten des Fahrers, bzw. dessen Reaktionszeit (z.B. Seitenstreifen freihalten von Vegetation, elektronisch Wildwarnanlagen) richten, mehr Potential für die Senkung des Unfallrisikos zu besitzen als Maßnahmen, die auf Wildtiere ausgerichtet sind.

12 LITERATUR

Ahnelt, P.K., Schubert, C., Kübber-Heiss, A., Schiviz, A.N. & Anger, E. (2006): Independent variation of retinal S and M cone photoreceptor topographies: A survey of four families of mammals. Visual neuroscience, 23, 429–35.

Altmann, J. (1974): Observational study of behavior: sampling methods. Behaviour, 49, 227–266.

Armstrong, J.J. (1992): An Evaluation of the Effectiveness of Swareflex Deer Reflectors. Ontario Ministry of Transportation Research and Development Branch. ReportNo. MAT-91-12.

Benítez-López, A., Alkemade, R. & Verweij, P.A. (2010): The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis. Biological Conservation, 143, 1307–1316.

Benten, A., Ammer, C. & Bakaba, J.E. (2019): Überprüfung Der Wirksamkeit von „blauen, Akustischen Und Multi-Farbigen Reflektoren“ Zur Bekämpfung von Wildunfällen Auf Landstraßen. Projektbericht 56. 122 S. Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e.V.

Benten, A., Annighöfer, P. & Vor, T. (2018): Wildlife Warning Reflectors' Potential to Mitigate Wildlife-Vehicle Collisions—A Review on the Evaluation Methods. Frontiers in Ecology and Evolution, 6, 1–12.

Benten, A., Hothorn, T., Vor, T. & Ammer, C. (2018): Wildlife warning reflectors do not mitigate wildlife–vehicle collisions on roads. Accident Analysis and Prevention, 120, 64–73.

Boyd, R. J. (1966): “Deer mirrors” - do they work?. Colorado Department of Natural Resources, Division of Game, Fish, and Parks. Game Information Leaflet No. 44.

Brieger, F., Hagen, R., Vetter, D., Dormann, C.F. & Storch, I. (2016): Effectiveness of light-reflecting devices: A systematic reanalysis of animal-vehicle collision data. Accident Analysis and Prevention, 97, 242–260.

Brieger, F., Hagen, R., Kröschel, M., Hartig, F., Petersen, I., Ortmann, S. & Suchant, R. (2017a): Do roe deer react to wildlife warning reflectors? A test combining a controlled experiment with field observations. European Journal of Wildlife Research, 63, 72.

Brieger, F., Kämmerle, J.-L., Martschuk, N., Ortmann, S. & Hagen, R. (2017b): No evidence for a 'warning effect' of blue light in roe deer. Wildlife Biology, 2017, wlb.00331.

Bruinderink, G. & Hazebroek, E. (1996): Ungulate traffic collisions in Europe. Conservation Biology, 10, 1059–1067.

Bundesministerium für Verkehr und digitale In-frastruktur (2018): Statistisches Handbuch "Verkehr in Zahlen 2017/2018". 350 S. Weblinks aufgerufen am 12.10.2018 unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen-pdf-2017-2018.pdf?__blob=publicationFile
https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/infrastruktur-statistik.html

Calenge, C. (2006): The package “adehabitat” for the R software: A tool for the analysis of space and habitat use by animals. Ecological Modelling, 197, 516–519.

Coulon, A., Morellet, N., Goulard, M., Cargnelutti, B., Angibault, J.-M. & Hewison, A.J.M. (2008): Inferring the effects of landscape structure on roe deer (Capreolus capreolus) movements using a step selection function. Landscape Ecology, 23, 603–614.

Curtis, P.D. & Hedlund, J.H. (2005): Reducing deer-vehicle crashes. Wildlife Damage Management Fact Sheet Series.

D'Angelo, G.J., D'Angelo, J.G., Gallagher, G.R., Osborn, D.A., Miller, K. V. & Warren, R.J. (2006): Evaluation of wildlife warning reflectors for altering white-tailed deer behavior along roadways. Wildlife Society Bulletin, 34, 1175–1183.

Danielson, B., Hubbard, M. (1998): A Literature review for assessing the status of current methods of reducing deer accidents. A report prepared for The Task Force on Animal Vehicle Collisions, The Iowa Department of Transportation, and The Iowa Department of Natural Resources 1998.

Deutscher Jagdverband. (2017): DJV-Handbuch Jagd 2017. Deutscher Jagdverband e.V. (DJV) - Vereinigung der deutschen Landesjagdverbände für Wild, Jagd und Natur.

Deutscher Jagdverband. (2018): DJV-Handbuch Jagd 2018. Deutscher Jagdverband e.V. (DJV) - Vereinigung der deutschen Landesjagdverbände für Wild, Jagd und Natur.

Gesamtverband Deutsche Versicherer (2016): Wildunfälle erreichen Höchststand – alle zwei Minuten kracht es, http://www.gdv.de/2016/11/wildunfaelle-erreichen-hoechststand-alle-zwei-minuten-kracht-es/

Gordon, D. F. (1969): "Deer mirrors" – a clearer picture. Colorado Department of Natural Resources, Division of Game, Fish, and Parks. Game Information Leaflet No. 77.

Grenier, R.H. (2002): A study of the effectiveness of Strieter-Lite® wild animal highway warning reflector systems. Commissioned report for Strieter Corporation, 20.

Huijser, M.P., Duffield, J.W., Clevenger, A.P., Ament, R.J. & McGowen, P.T. (2009): Cost-benefit analyses of mitigation measures aimed at reducing collisions with large ungulates in the United States and Canada: a decision support tool. Ecology and Society, 14.

Huijser, M.P. & Hayden, L. (2010): Evaluation of the Reliability of an Animal Detection System in a Test-Bed.

Huijser, M.P., Mosler-Berger, C., Olsson, M.P.O. & Strein, M. (2015): Wildlife warning signs and animal detection systems aimed at reducing wildlife-vehicle collisions. Handbook of Road Ecology, 198–212.

Iglesias-Merchan, C., Horcajada-Sánchez, F., Diaz-Balteiro, L., Escribano-Ávila, G., Lara-Romero, C., Virgós, E., Planillo, A. & Barja, I. (2018): A new large-scale index (AcED) for assessing traffic noise disturbance on wildlife: stress response in a roe deer (Capreolus capreolus) population. Environmental Monitoring and Assessment, 190.

Ingebrigtsen, D.K. & Ludwig, J.R. (1986): Effectiveness of Swareflex Wildlife Warning Reflectors in Reducing Deer-Vehicle Collisions in Minnesota. Minnesota Department of Natural Resources Wildlife Report No. 3.

Jepsen, J.U. & Topping, C.J. (2004): Modelling roe deer (Capreolus capreolus) in a gradient of forest fragmentation: behavioural plasticity and choice of cover. Canadian journal of zoology, 82, 1528–1541.

Kämmerle, J.-L., Brieger, F., Kröschel, M., Hagen, R., Storch, I., Suchant, R. (2017): Temporal patterns in road crossing behaviour in roe deer at sites with wildlife warning reflectors PLoS ONE 12(9): e0184761. https://doi.org/10.1371/ journal.pone.0184761.

Klar, N., Herrmann, M. & Kramer-Schadt, S. (2009): Effects and Mitigation of Road Impacts on Individual Movement Behavior of Wildcats. Journal of Wildlife Management, 73, 631–638.

Kraftfahrtbundesamt (2018a): Informationen zum Verkehr in Kilometern der deutschen Kraftfahrzeuge im Jahr 2017.
Weblink aufgerufen am 12.10.2018 unter https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/verkehr_in_kilometern_node.html

Kraftfahrtbundesamt (2018b): Informationen zum Fahrzeugbestand in Deutschland. Pressemitteilung Nr. 6/2018 - Der Fahr-zeugbestand am 1. Januar 2018. Weblink aufgerufen am 12.10.2018 unter https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2018/Fahrzeugbestand/pm6_fz_bestand_pm_komplett.html

Krop-Benesch, A., Berger, A., Hofer, H. & Heurich, M. (2013): Long-term measurement of roe deer (Capreolus capreolus) (Mammalia: Cervidae) activity using two-axis accelerometers in GPS-collars. Italian Journal of Zoology, 80, 69–81.

Langbein, J., Putman, R. & Pokorny, B. (2011): Traffic collisions involving deer and other ungulates in Europe and available measures for mitigation. Ungulate Management in Europe: Problems and Practices (eds R. Putman, M. Apollonio, & R. Andersen), pp. 215–259. Cambridge University Press, Cambridge.

van Langevelde, F., van Dooremalen, C. & Jaarsma, C.F. (2009): Traffic mortality and the role of minor roads. Journal of environmental management, 90, 660–667.

Lima, S.L., Blackwell, B.F., Devault, T.L. & Fernández-Juricic, E. (2015): Animal reactions to oncoming vehicles: A conceptual review. Biological Reviews, 90, 60–76.

López-Olvera, J.R., Marco, I., Montané, J., Casas-Díaz, E., Mentaberre, G. & Lavín, S. (2009): Comparative evaluation of effort, capture and handling effects of drive nets to capture roe deer (Capreolus capreolus), Southern chamois (Rupicapra pyrenaica) and Spanish ibex (Capra pyrenaica). European Journal of Wildlife Research, 55, 193–202.

Mangold, L. (2012): Genauigkeitsanalyse von GPS-Halsbändern Im Wildtiermonitoring Und Das Potential Der Genauigkeitserhöhung Durch Postprocessing. Bachelorarbeit. Albert-Ludwigs Universität Freiburg.

Martin, P.R. & Bateson, P. (2009): Measuring Behaviour - An Introductory Guide, 3rd ed. Cambridge University Press, Cambridge.

Nettles, K. (1965): Mirrors to reduce deer-auto collisions. Outdoor Indiana, Vlll, 20–23.

Ng, J.W., Nielson, C. & St. Clair, C.C. (2008): Landscape and traffic factors influencing deer – vehicle collisions in an urban environment. Human-Wildlife Conflicts, 2, 34–47.

Olbrich, P. (1984): Untersuchung der Wirksamkeit von Wildwarnreflektoren und der Eignung von Wilddurchlässen. Zeitschrift für Jagdwissenschaft, 30, 101–116.

Pafko, F., B. Kovach (1996): Experience with deer reflectors. In G. L. Evink, P. Garrett, D. Zeigler, und J. Berry, Autoren. Proceedings of the International Conference on Ecology and Transportation. Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University.

Putman, R.J. (1997): Deer and road traffic accidents: options for management. Journal of Environmental Management, 51, 43–57.

R Core Team. (2016) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Ramp, D. & Croft, D.B. (2006): Do wildlife warning reflectors elicit aversion in captive macropods? Wildlife Research, 33, 583–590.

van der Ree, R., Heinze, D., McCarthy, M.A. & Mansergh, I. (2009): Wildlife tunnel enhances population viability. Ecology and Society, 14, 9.

Reeve, A.F. & Anderson, S.H. (1993): Ineffectiveness of Swareflex reflectors at reducing deer-vehicle collisions. Wildlife Society Bulletin, 21, 127–132.

Riginos, C., Graham, M. W., Davis, M., Smith, C., Johnson, A. (2015): Effects of Wildlife Warning Reflectors (“Deer Delineators”) on Wildlife-Vehicle Collisions in Central Wyoming, Final Report, No. FHWA-WY-15/03F. Wyoming Department of Transportation, Cheyenne, WY, USA.

Roedenbeck, I.A.E. (2007): Landscape-Scale Effects of Roads on Wildlife. Dissertation. Gießen: Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung und Institut für Tierökologie und Spezielle Zoologie.

Rudelstorfer, K. (1981): Wildwarnreflektoren-Wirkungsweise und Erfahrungen. Der Anblick 81(7), 266–268.

Schafer, J.A. & Penland, S.T. (1985): Effectiveness of Swareflex reflectors in reducing deer-vehicle accidents. The Journal of Wildlife Management, 49, 774–776.

Schemnitz, S.D. (1996): Capturing and Handling Wild Animals. Research and mamgement techniques for wildlife and habitats, 232–269.

Schilderwerk Beutha. (2017): Blauer Halbkreisreflektor-Folder, http://www.halbkreisreflektor.de/

Schiviz, A.N., Ruf, T., Kuebber-Heiss, A., Schubert, C. & Ahnelt, P.K. (2008): Retinal cone topography of artiodactyl mammals: influence of body height and habitat. Journal of Comparative Neurology, 507, 1336–1350.

Schulze, C., Polster, J.-U. (2017): Wirkungsweise von Wildwarnern. Heft 1127/2017. 96 S. In: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik. Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.

Seiler, A. (2004): Trends and spatial patterns in ungulate-vehicle collisions in Sweden. Wildlife Biology, 10, 301–313.

Sempéré, A., Sokolov, V.E. & Danilkin, A.A. (1996): Capreolus capreolus. American Society of Mammalogists, 538, 1–9.

Sivic, A. und Sielecki, L. E. (2001): Wildlife warning reflectors speciometric evaluation. Environmental Management Section Engineering Branch, B.C. Ministry ofTransportation and Highways.

Spellerberg, I.F. (1998): Ecological effects of roads and traffic: A literature review. Global Ecology and Biogeography Letters, 7, 317–333.

Steiner, W., Leisch, F. & Hackländer, K. (2014): A review on the temporal pattern of deer-vehicle accidents: impact of seasonal, diurnal and lunar effects in cervids. Accident Analysis and Prevention, 66, 168–181.

Streif, S., Kohnen, A., Kraft, S., Veith, S., Wilhelm, C., Sandrini, M., Würstlin, S. & Suchant, R. (2016): Die Wildkatze (Felis s. Silvestris) in Den Rheinauen Und Am Kaiserstuhl - Raum-Zeit- Verhalten Der Wildkatze in Einer Intensiv Genutzten Kulturlandschaft. Projektbericht, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg. 101 S.

Trothe, C., Meißner, M. & Herzog, S. (2016): Wildunfälle Verhindern – Was Hilft Wirklich ? Präventionsmaßnahmen Auf Dem Prüfstand. Projektbericht. Institut für Wildbiologie Göttingen und Dresden e.V.

Ueckermann, A. (1984): Untersuchung der Eignung von Wilddurchlässen und der Wirksamkeit von Wildwarnreflektoren. Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. Heft 426

Ujvári, M., Baagøe, H.J. & Madsen, A.B. (1998): Effectiveness of wildlife warning reflectors in reducing deer-vehicle collisions: a behavioral study. The Journal of wildlife management, 62, 1094–1099.

Voß, H. (2007): Unfallhäufungen Mit Wildunfällen - Modellversuch Im Oberbergischen Kreis. Gesamt-verband der deutschen Versicherungswirtschaft e.V. Forschungsbericht 01/07, 41 Seiten.

Waring, G.H., Griffis, J.L. & Vaughn, M.E. (1991): White-tailed deer roadside behavior, wildlife warning reflectors, and highway mortality. Applied Animal Behaviour Science, 29, 215–223.

Woodham, D. B. (1991): Evaluation of Swareflex wildlife warning reflectors. Colorado Department of Transportation Final Report No. CDOT-DTD-R-91-11 (http://www.coloradodot.info/programs/research/pdfs/1991-research-reports/swareflex.pdf/view).

Zacks, J.L. (1985): An Investigation of Swareflex Wildlife Warning Reflectors. U.S.Department of Transportation Federal Highway Administration. Report No.FHWA-MI-RD-85-04.

Zacks, J. L. (1986): Do white-tailed deer avoid red? An evaluation of the premise underlying the design of Swareflex wildlife reflectors. - Transp. Res. Rec. 1075, TRB, Natl. Res. Counc. Washingt. D.C., USA.

13 ANHANG

13.1 QUERUNGSVERHALTEN IM STRASSENBEREICH (MODUL 1)

Tabelle 12: Tabellarische Übersicht derjenigen Tiere, welche in der Auswertung der Querungshäufigkeiten berücksichtigt wurden. Das angeführte Alter (Jahre) wurde bei der Besenderung geschätzt. Die Schrittlänge gibt die gemittelte Entfernung in Meter zwischen zwei aufeinanderfolgenden GPS Positionen (Taktung = 15 min.) eines Tieres wieder. Die Gebiete sind Oberbruch (1), Gamshurst (2), Zierolshofen (3), Sand (4) und Stetten (5).

ID	Sex	Alter	Gebiet	Zeit am Sender	Größe des 90 % MCP (ha)	90 % / 95 % MCP	Ø der Schritt-länge	Anteil Wald in 90 % MCP	Gesamt-länge Straße (m) in MCP	Ø Anzahl Querungen/ Woche
1	W	2	4	79,9	27,75	,77	33,93	,46	538	3,63
3	M	2	4	38,4	19,57	,87	28,47	,11	950	5,55
5	M	1	4	23,7	36,95	,77	31,83	,50	750	1,5
6	W	1	4	49,3	33,17	,76	29,40	,27	770	1,51
8	W	1	2	29,7	41,03	,64	47,31	,25	880	1,42
11	W	1	1	66,7	16,50	,67	38,37	,74	375	3,91
14	M	2	1	113,1	23,85	,80	42,12	,57	739	15,43
18	W	2	1	61,8	37,10	,78	36,89	,38	1020	17
19	W	2	3	29,9	20,39	,79	42,51	,65	513	4,97
24	W	2+	3	108	86,54	,62	41,99	,32	1488	5,39
25	W	2	2	84	35,77	,73	51,04	,22	1181	12,9
26	W	2	2	105,3	52,23	,20	50,77	,21	1481	6,94
27	M	1	2	10	47,47	,87	58,48	,27	1469	7
29	M	2	5	31,6	28,83	,83	84,54	,89	790	15,32
32	W	2+	5	14,4	24,86	,89	56,57	,88	780	8
34	W	2+	2	25,1	29,81	,55	51,85	,36	844	5,58
36	M	1	3	76,9	97,39	,76	49,42	,39	1566	6,13
37	W	2+	3	48	31,54	,76	43,41	,25	826	4,94
38	W	2	3	48	121,21	,97	27,12	,10	1250	3,04
39	M	1	3	76,7	40,41	,70	54,00	,63	1106	14.32
43	W	2	5	54	23,14	,78	27,38	,87	804	11,82
45	M	2+	4	23,9	23,86	,73	56,19	,14	1250	8,12
47	M	1	5	35	41,76	,87	48,93	,72	2500	20,17
52	W	2	4	90,9	54,11	,31	38,81	,09	2211	8,04
53	W	2	4	60,9	20,91	,60	34,31	,15	900	2,32
54	M	1	3	17	37,75	,51	51,64	,70	891	7,26
57	M	1	4	45,1	81,19	,68	44,71	,05	2580	1,65
58	W	2	5	45,6	53,94	,49	35,01	,52	1360	1,94

Tabelle 13: Anzahl an GPS-Daten pro besendertes Reh, aufgeschlüsselt nach Geschlecht und Projektstandorten.

	Individuum	1	4	6	7	8	10	11	12	13	18	19	24	25	26	28	32	34	37	38	40	43	46	48	49	50	51	52	53	58	∑
weiblich	Gamshurst				33799	12763	26353		21118	19090				30922	44552			10471								42800					**241868**
	Oberbruch							28997			25829												39060				9386				**103272**
	Sand	50763	30545	32067																								41300	23748		**178423**
	Stetten															13642	3995				44161	21884		41680	25681					19992	**171035**
	Zierolshofen											11060	52910						18418	18352											**100740**
																															795338

	Individuum	3	5	14	15	22	27	29	30	31	35	36	39	45	47	54	57	59	∑
männlich	Gamshurst				37859		3922												**41781**
	Oberbruch			42014															**42014**
	Sand	33663	15672											9654			20399		**79388**
	Stetten							6488	6953	13672					15101			4529	**46743**
	Zierolshofen					27802					18	34485	31221			6690			**100216**
																			310142
																		∑	**1105480**

Tabelle 14: Anzahl Straßenquerungen pro besendertes Reh, aufgeschlüsselt nach Geschlecht und Projektstandorten.

	Individuum	1	4	6	7	8	10	11	12	13	18	19	24	25	26	28	32	34	37	38	40	43	46	48	49	50	51	52	53	58	∑
weiblich	Gamshurst				18	53	10		33	12				1056	809			162								12					**2165**
	Oberbruch							272			1134												158				0				**1564**
	Sand	299	0	78																								1892	345		**2614**
	Stetten															475	145				311	720		85	138					212	**2086**
	Zierolshofen											166	601						240	152											**1159**
																															9588

	Individuum	3	5	14	15	22	27	29	30	31	35	36	39	45	47	54	57	59	∑
männlich	Gamshurst				37		92												**129**
	Oberbruch			1768															**1768**
	Sand	741	36											540			426		**1743**
	Stetten							543	364	42					1195			40	**2184**
	Zierolshofen					153					1	502	1148			143			**1947**
																			7771
																		∑	**17359**

Wanderverhalten

Ein besendertes Tier (Paula; ID 33) absolvierte in der Zeit mit GPS-Halsband mehrere Ausflüge aus ihrem Streifgebiet. Der längste dauerte eine Woche und führte das Tier in der ersten Januarwoche 2012 bis über die Schweizer Grenze, um dann wieder umzukehren und in das alte Streifgebiet zurückzukehren. Weitere Ausflüge fanden statt, jedoch nicht mehr in dem Umfang wie der erste. In der Rheinebene wurde diese Art von Bewegungsmuster bei den besenderten Tiere nicht sichtbar. Hier erfolgte auf der Suche nach neuen Einständen die Abwanderung zweier männlicher Tiere.

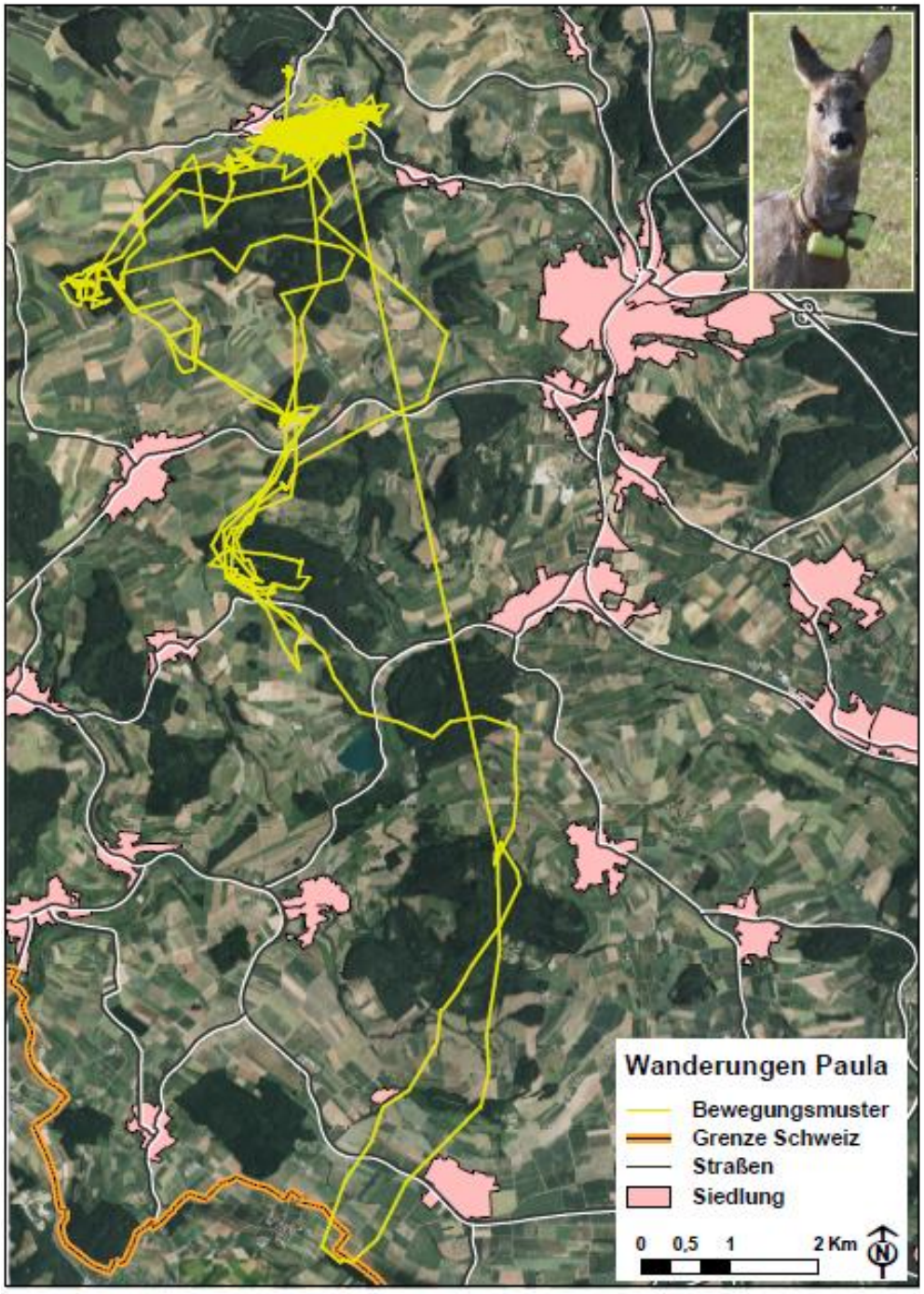


Abb. 61: Bewegungsmuster von Reh Paula (ID 33) in der Zeit der Besenderung (12/2011 bis zum Tod 09/2012). Die einzelnen GPS-Punkte (nicht dargestellt) sind mit gelben Linien miteinander verbunden.

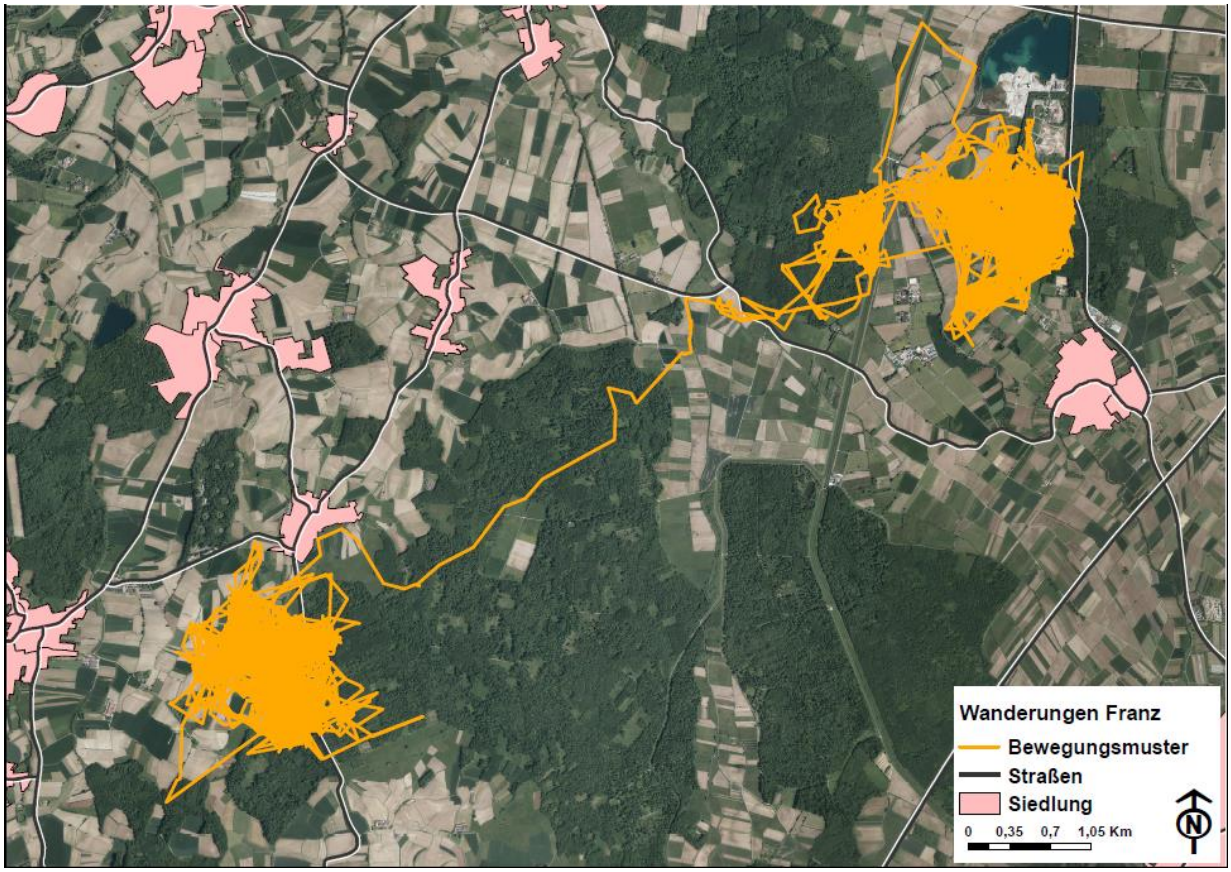


Abb. 62: Abwanderung von Bock Franz (ID 28) aus seinem ursprünglichen Gebiet, in dem er besendert wurde (links) in sein neues Streifgebiet rechts. Die Abwanderung erfolgte im Mai 2012.

Einfluss Reflektoren auf die Fahrgeschwindigkeiten

Auch wenn der Einfluss von Wildwarnreflektoren auf Verkehrsteilnehmer nicht im Fokus dieser Untersuchung stand, konnte mit Hilfe der Verkehrsdaten der Effekt von Wildwarnreflektoren auf die durchschnittlich gefahrene Geschwindigkeit untersucht. Hierzu wurden alle Fahrzeugereignisse selektiert, die in Dunkelheitsphasen stattfanden (da Reflektoren nur bei Dunkelheit wirksam sind). Als ‚in Dunkelheit' wurden alle Ereignisse gewertet, die respektive vor (morgens) oder nach (abends) der nautischen Dämmerung stattfanden. Weiterhin wurden nur Ereignisse von Fahrzeugen verwendet, die schneller als 30 km/h fuhren.

Die Fahrzeuggeschwindigkeit wurde in Generalisierten Additiven Modellen (GAMs) in Abhängigkeit der Tageszeit (Nacht-zentriert), des Datums sowie der Anwesenheit von WWR modelliert. Für die einzelnen Gebiete wurde ein Zufallseffekt (random intercept) berücksichtigt.

Die Ergebnisse zeigen eine mittlere Zunahme der Fahrzeuggeschwindigkeit über alle Standorte von rund 1,3 km/h nach Ausbringung der Reflektoren (Abb. 63, rechts). Dieser Unterschied ist signifikant, aber durch die hohe Anzahl an Daten (~1,5 Mio. Ereignisse) bedingt. Auch wenn der Unterschied gering ist, wird die häufig gestellte These widerlegt, dass Wildwarnreflektoren zur Verringerung der Fahrzeuggeschwindigkeit führen. Eine Begründung für die Zunahme der Geschwindigkeit könnte sein, dass Wildwarnreflektoren ein Sicherheitsgefühl bei den Verkehrsteilnehmenden erzeugen und diesen suggerieren, dass in einem Straßenabschnitt, der mit Reflektoren ausgestattet ist, die Gefahr eines Wildunfalls verringert wird.

Im Tagesverlauf nimmt die Geschwindigkeit des Verkehrs gegen 4 Uhr morgens deutlich ab, um dann wieder anzusteigen (Abb. 63, links). Welche Faktoren dazu führen, dass die Geschwindigkeit ab 22 Uhr kontinuierlich bis 4 Uhr morgens abnimmt, kann mehrere Gründe haben. Begrenzte Sichtverhältnisse und eine reduzierte Aufnahmefähigkeit, bedingt durch die frühen Morgenstunden, könnten als Gründe genannt werden. Im Jahresverlauf steigt die mittlere Geschwindigkeit in den Frühjahr- und Sommermonaten an und nimmt in den Herbst- und Wintermonaten ab (Abb. 63, Mitte). Hier sorgen die witterungsbedingten Straßenverhältnisse in den Herbst- und vor allem den Wintermonaten dazu, dass Verkehrsteilnehmende durchschnittlich langsamer fahren.

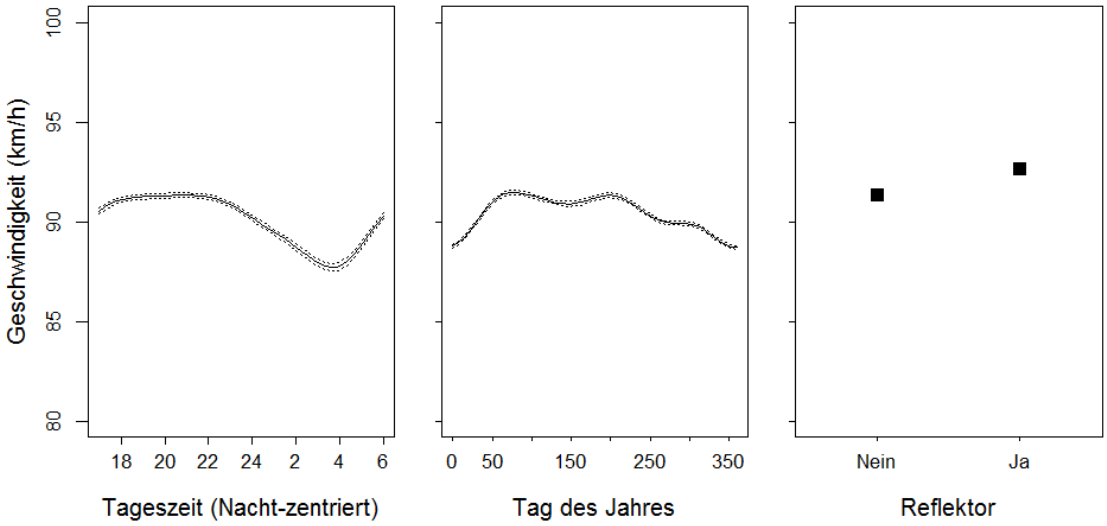


Abb. 63: Modellergebnisse des Generalisierten Additiven Modells mit Blick auf die Geschwindigkeit des Verkehrs im Tagesverlauf (links), im Jahresverlauf (Mitte) und zu Zeitpunkten der Montage von Wildwarnreflektoren (rechts).

Darstellung der Raumnutzung aller besenderten Rehe (unterschieden nach Standorten)

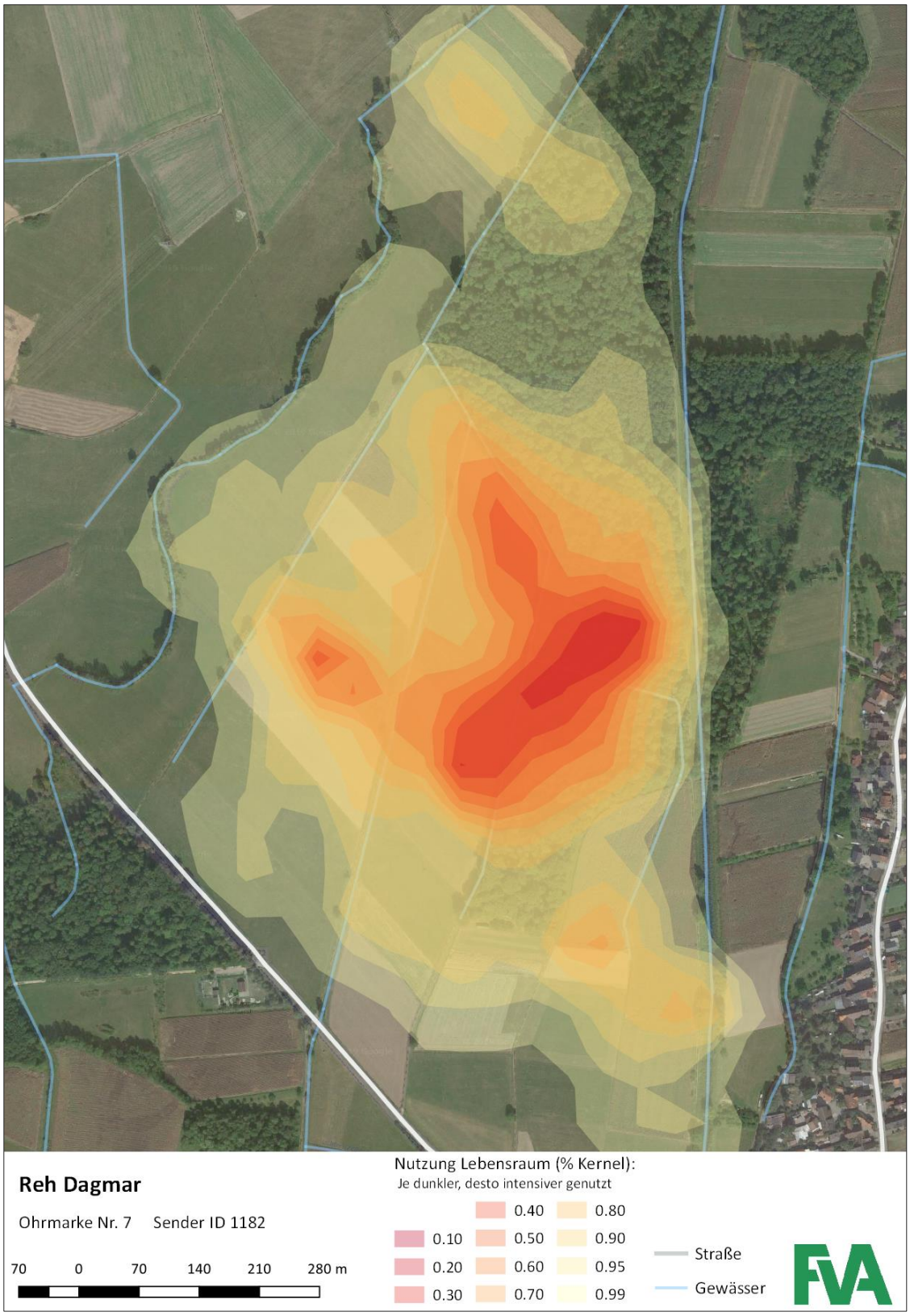


Abb. 64: Nutzung des Lebensraums von Reh Dagmar in Gamshurst. Kernel-Berechnung in Prozentstufen basierend auf den individuellen GPS-Daten. Intensiv rot gefärbte Bereiche der Landschaft wurden vom Tier am häufigsten aufgesucht.

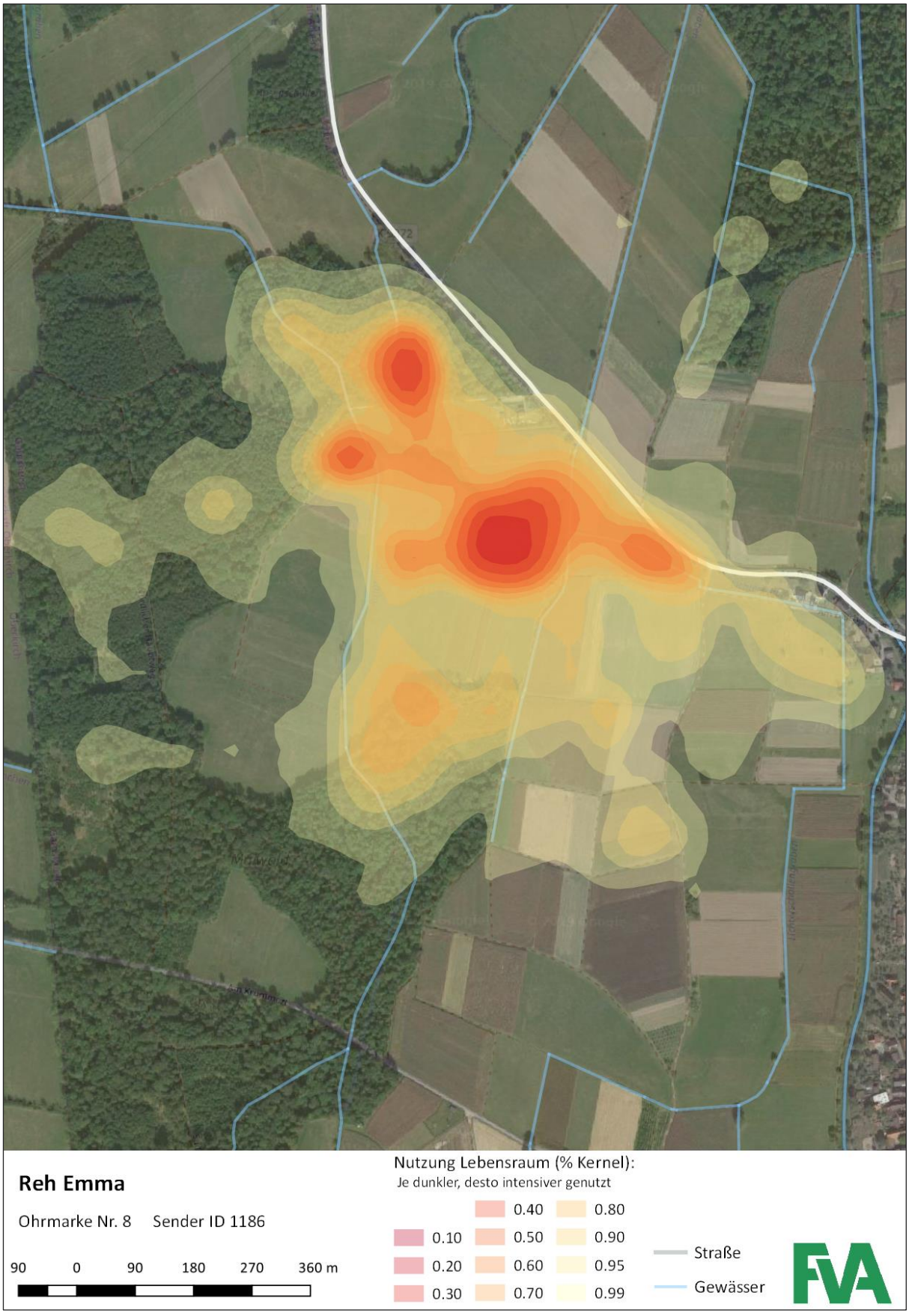


Abb. 65: Nutzung des Lebensraums von Reh Emma in Gamshurst.

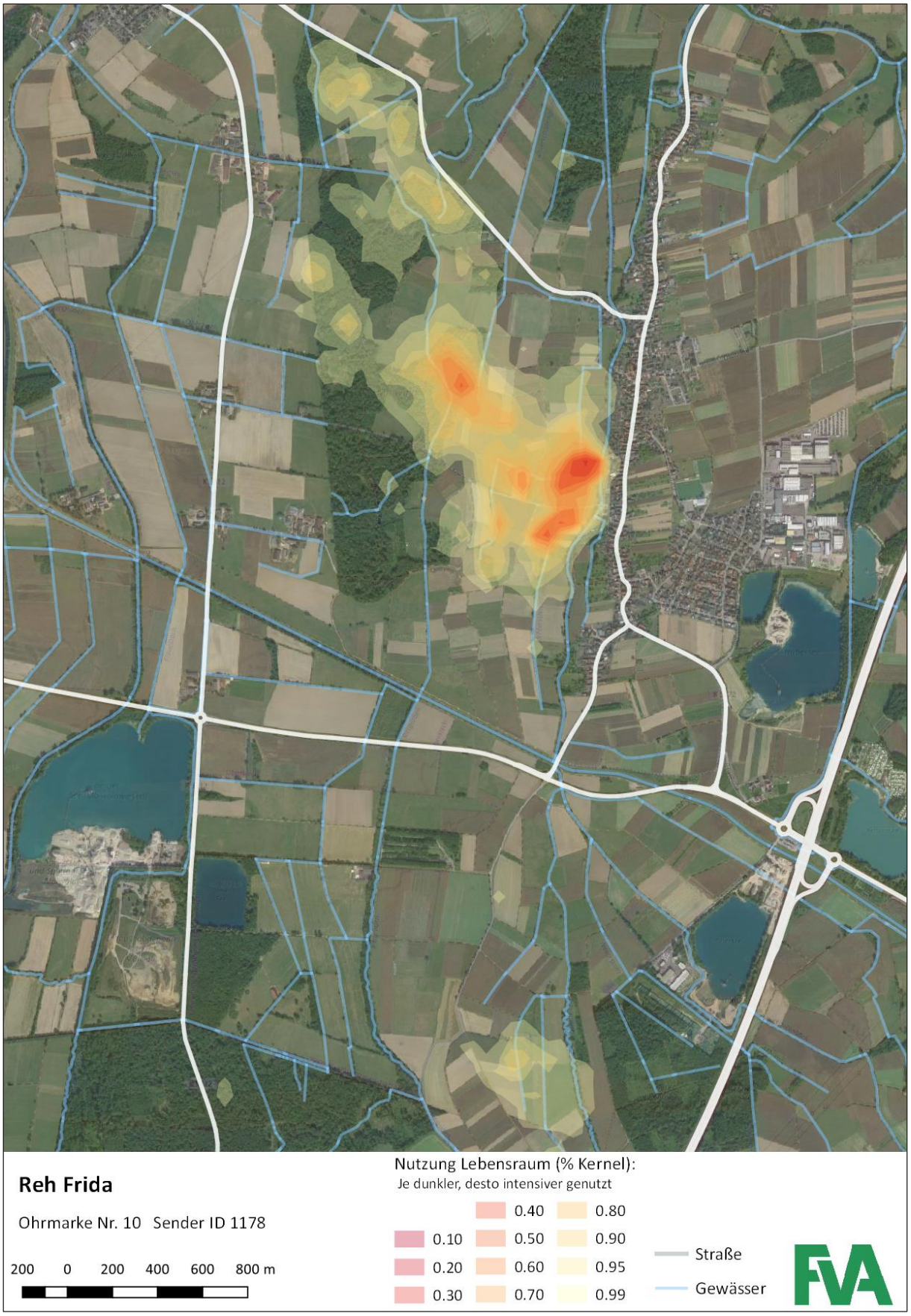


Abb. 66: Nutzung des Lebensraums von Reh Frida in Gamshurst.

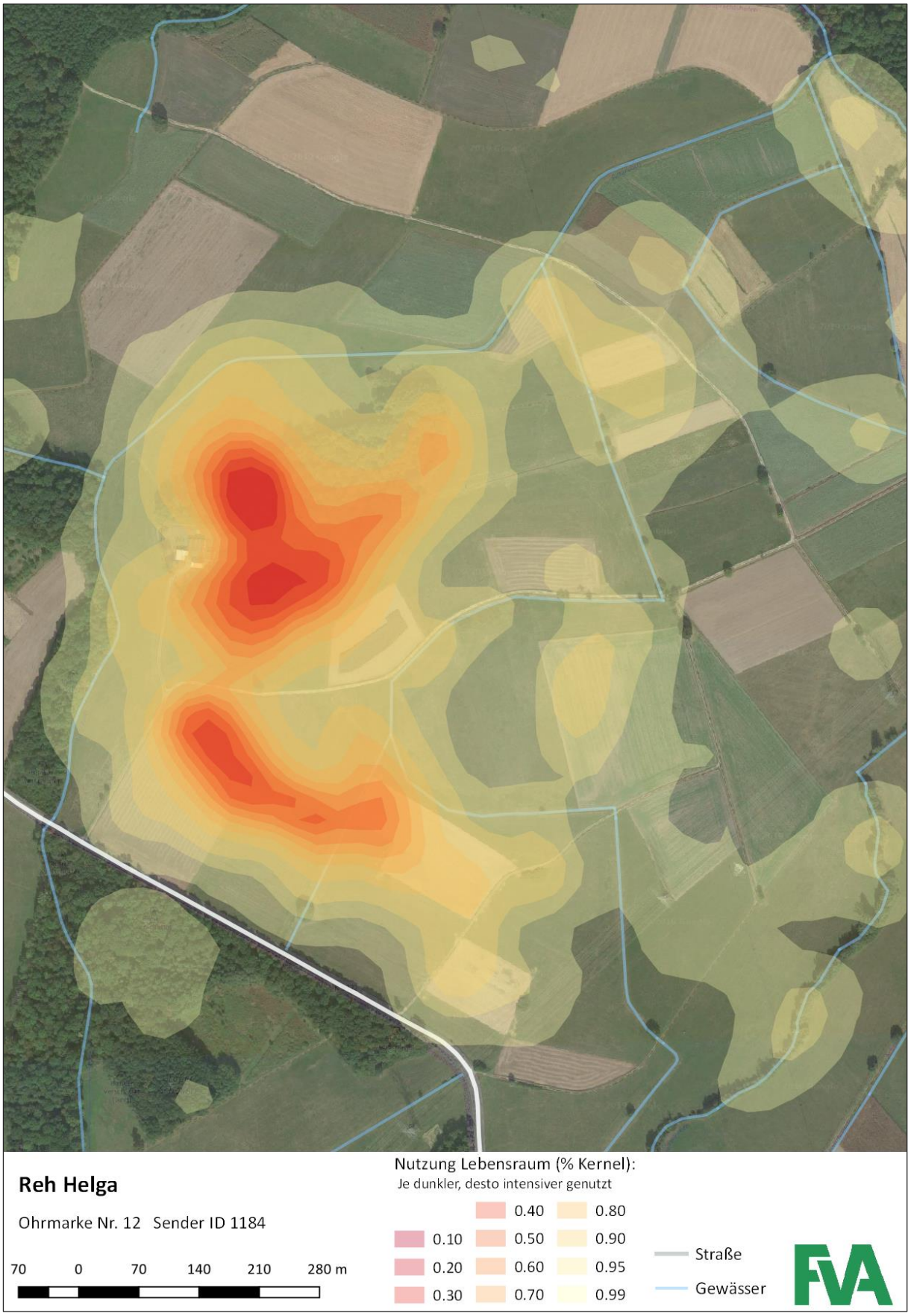


Abb. 67: Nutzung des Lebensraums von Reh Helga in Gamshurst.

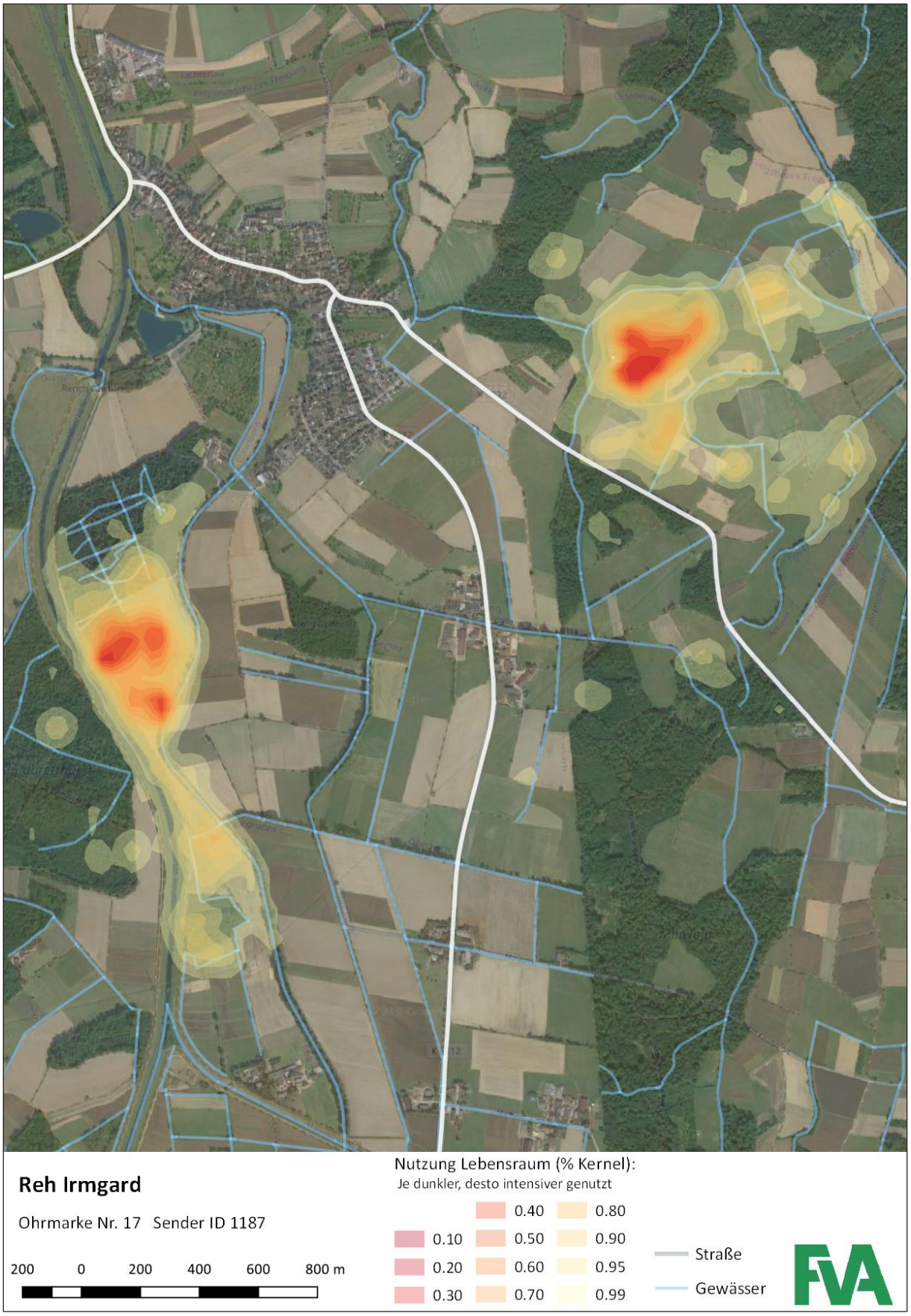


Abb. 68: Nutzung des Lebensraums von Reh Irmgard in Gamshurst.

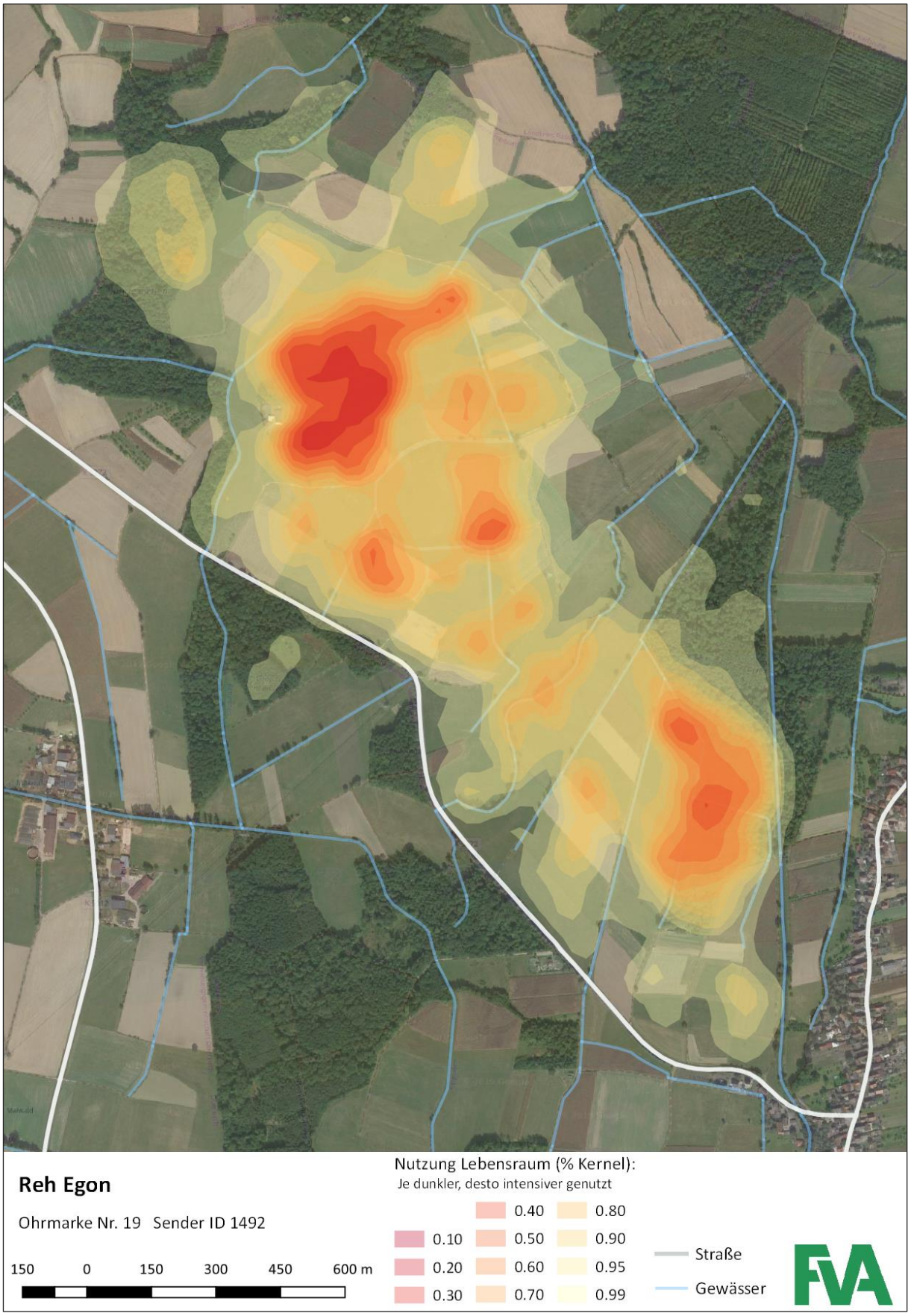


Abb. 69: Nutzung des Lebensraums von Reh Egon in Gamshurst.

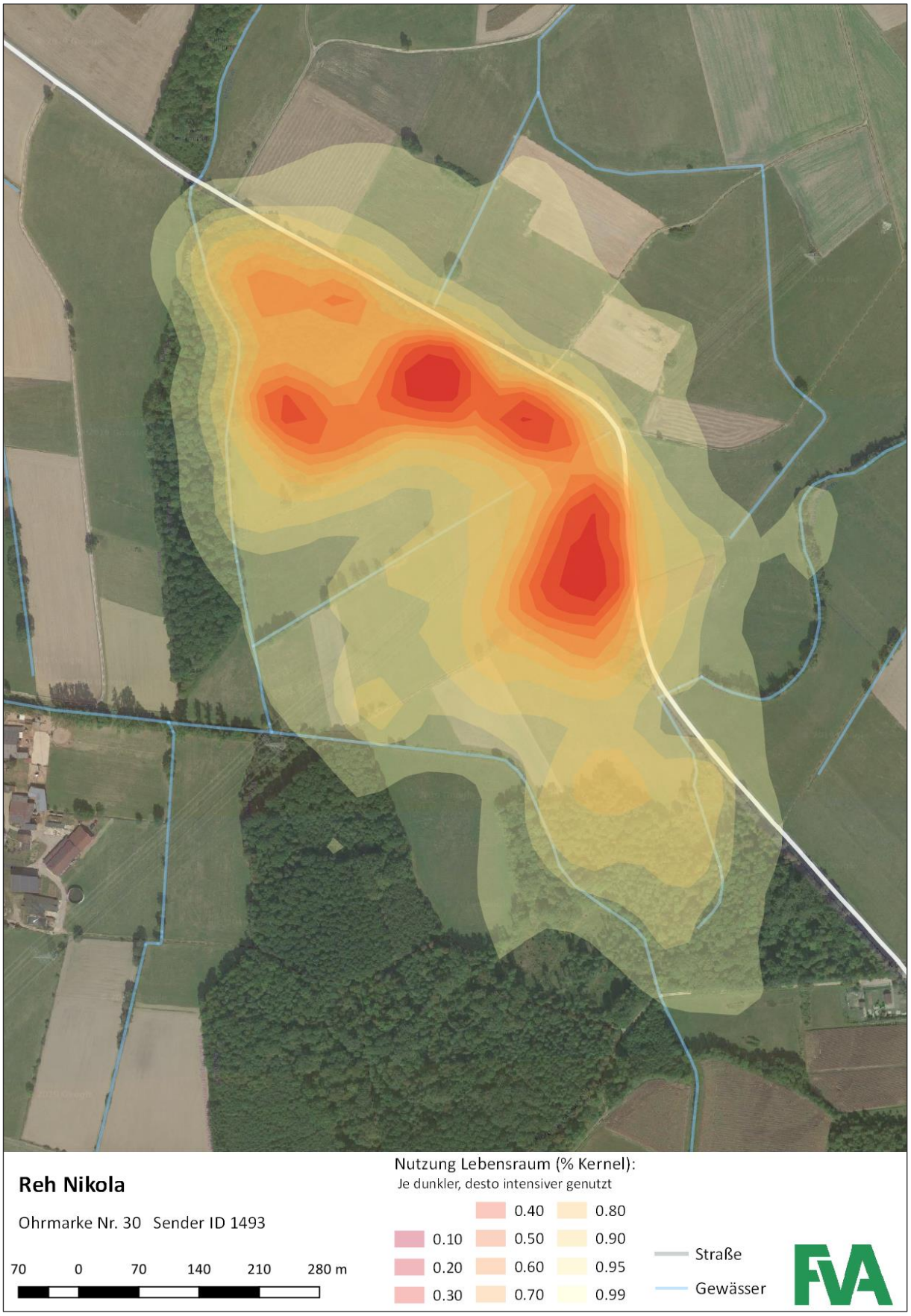


Abb. 70: Nutzung des Lebensraums von Reh Nikola in Gamshurst.

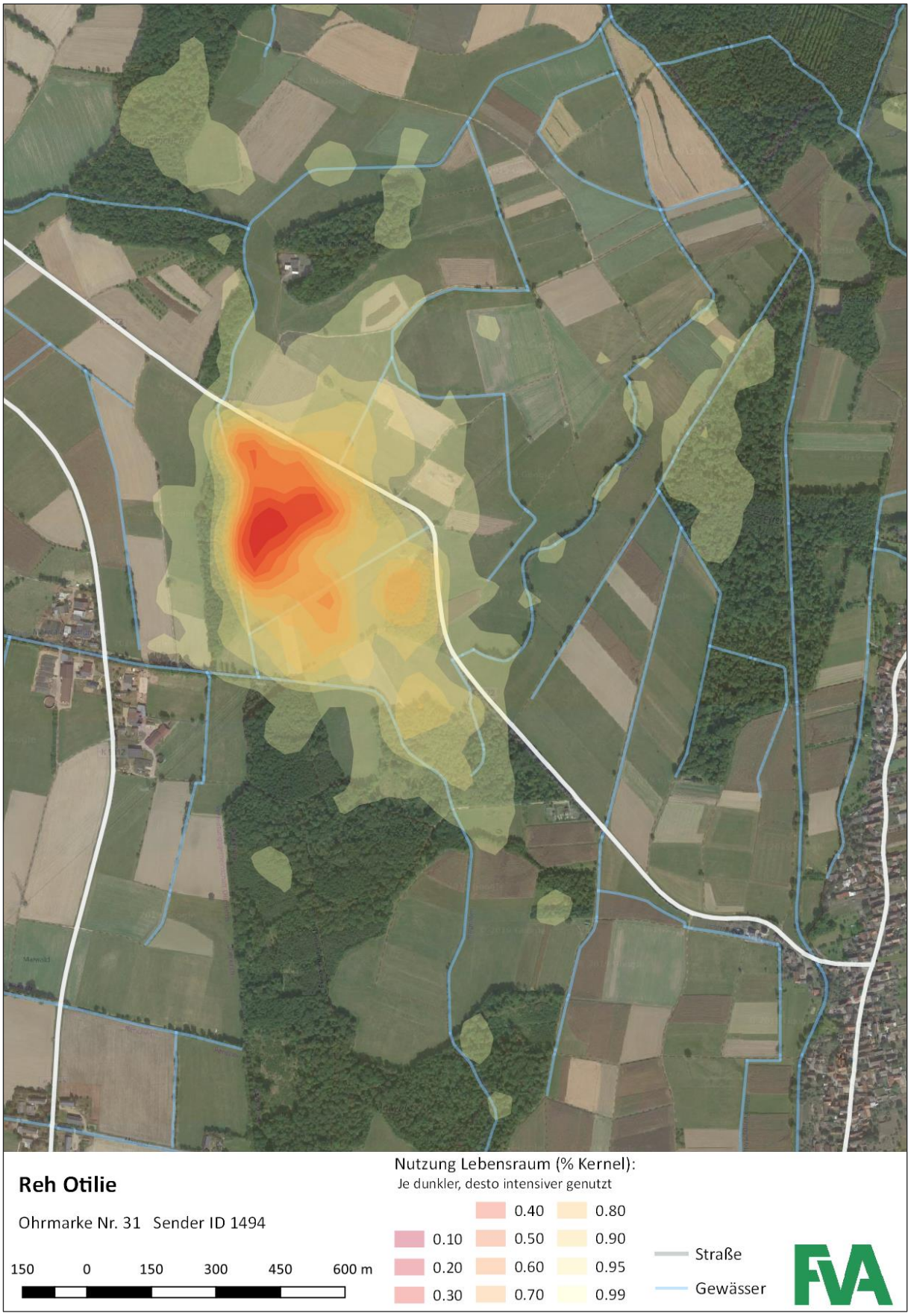


Abb. 71: Nutzung des Lebensraums von Reh Otilie in Gamshurst.

Abb. 72: Nutzung des Lebensraums von Reh Günther in Gamshurst.

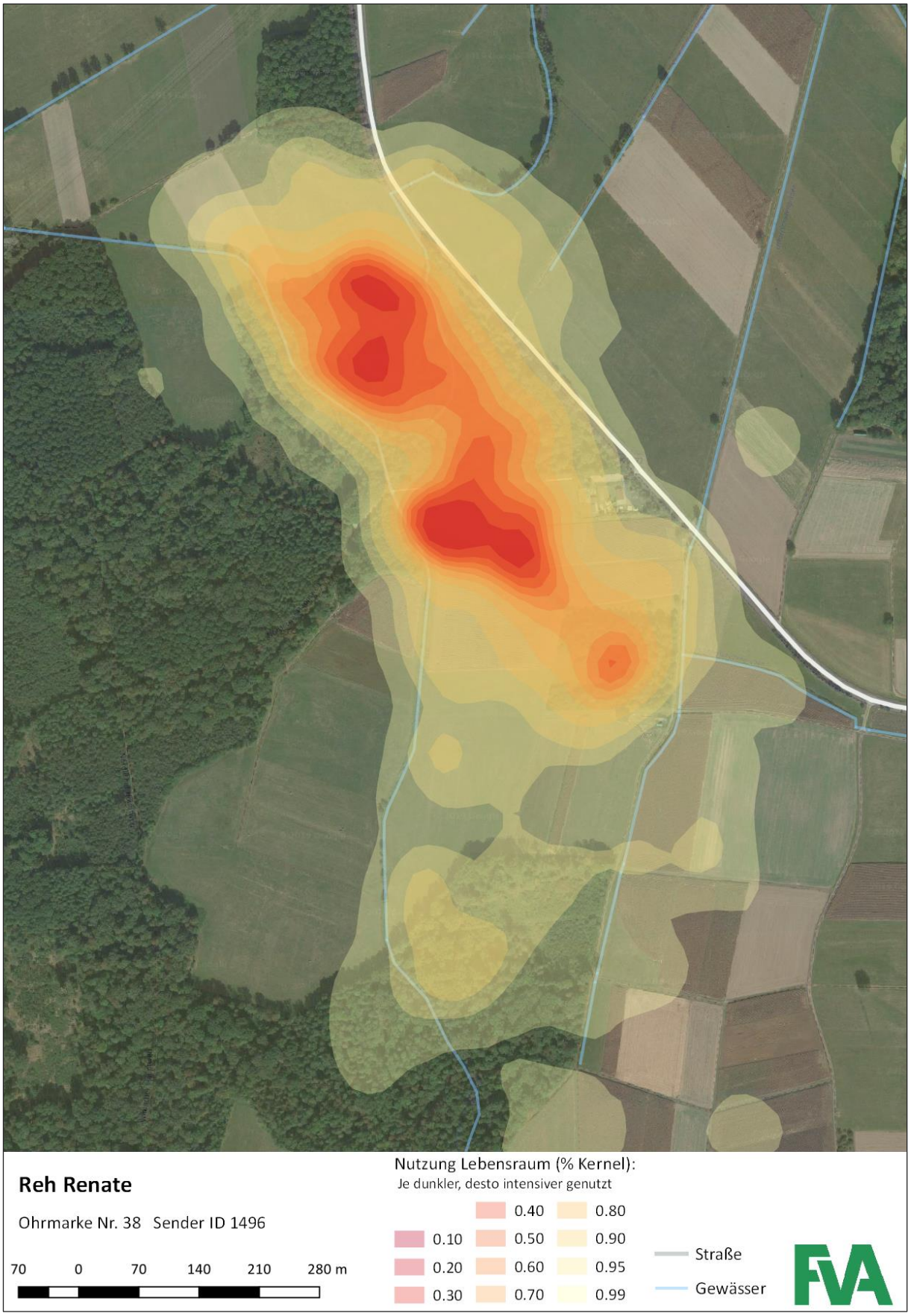


Abb. 73: Nutzung des Lebensraums von Reh Renate in Gamshurst.

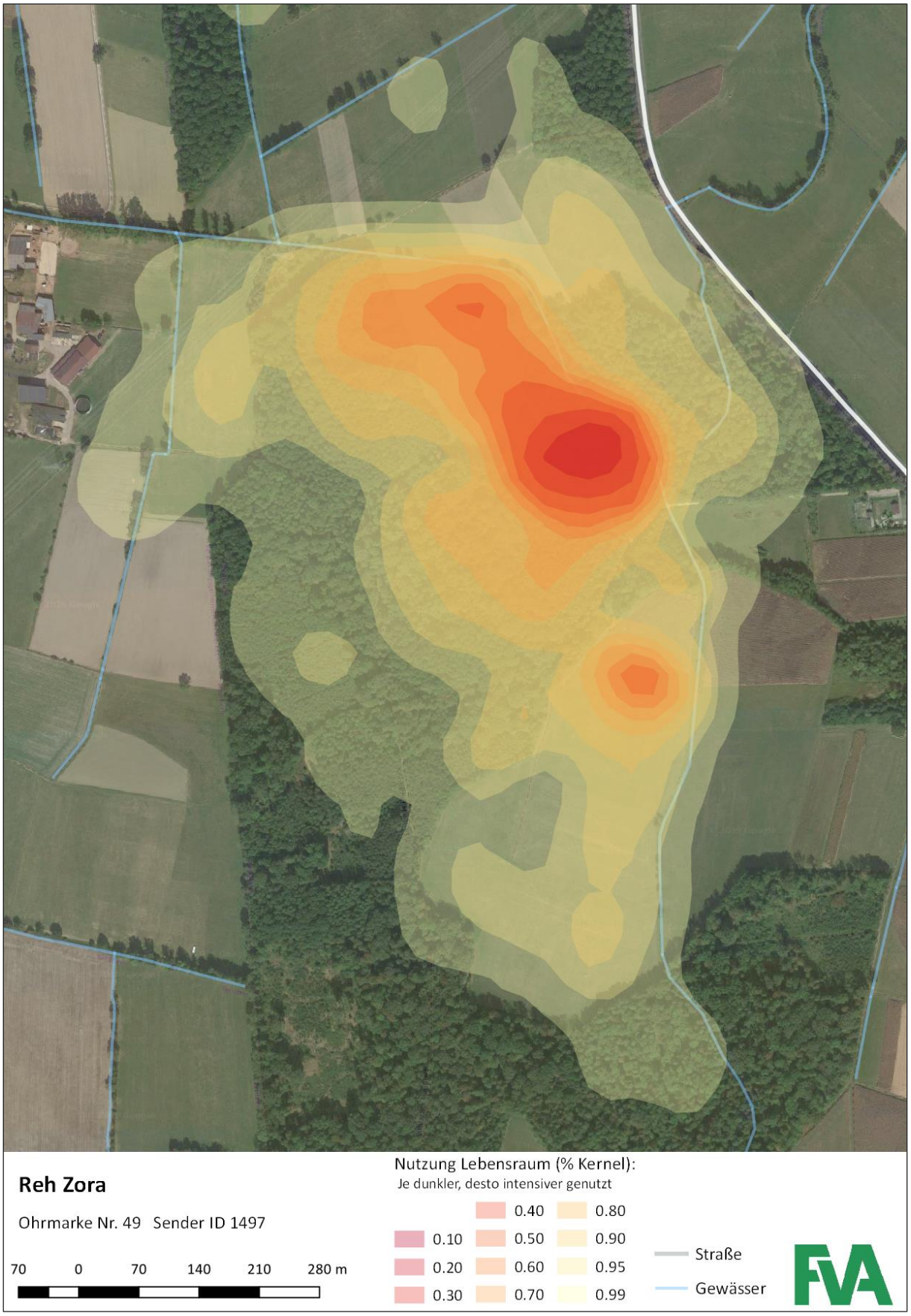


Abb. 74: Nutzung des Lebensraums von Reh Zora in Gamshurst.

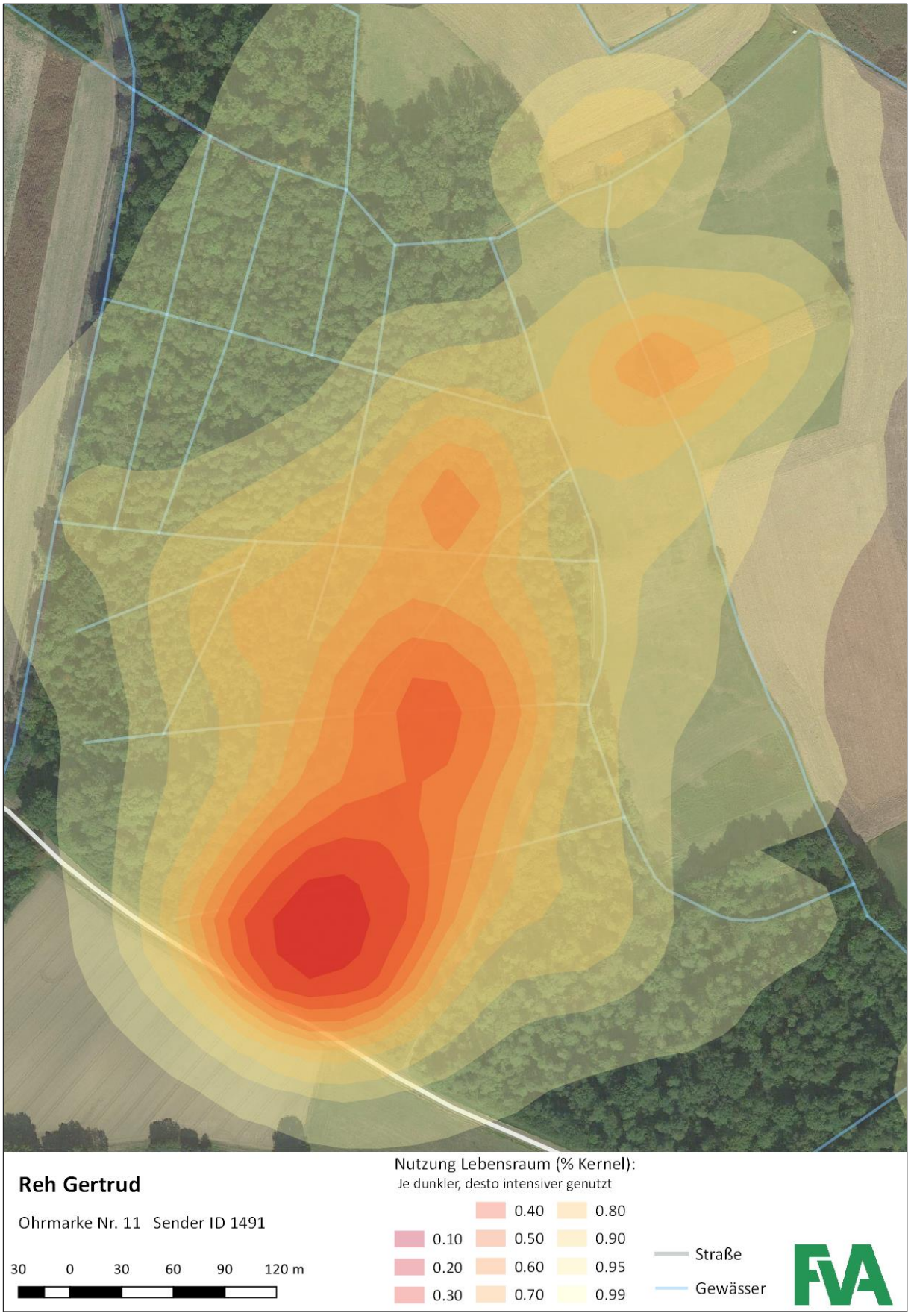


Abb. 75: Nutzung des Lebensraums von Reh Gertrud in Oberbruch.

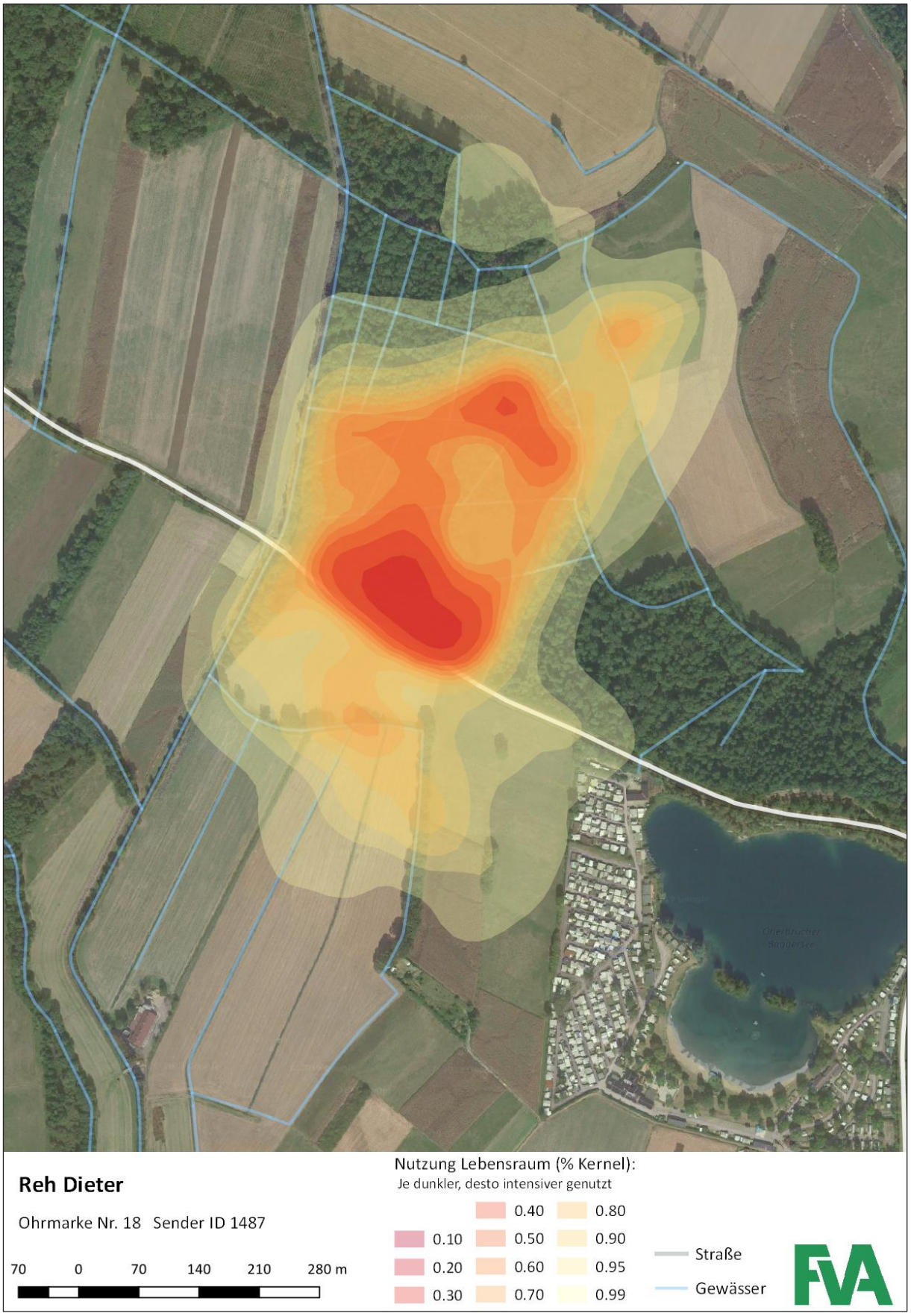


Abb. 76: Nutzung des Lebensraums von Reh Dieter in Oberbruch.

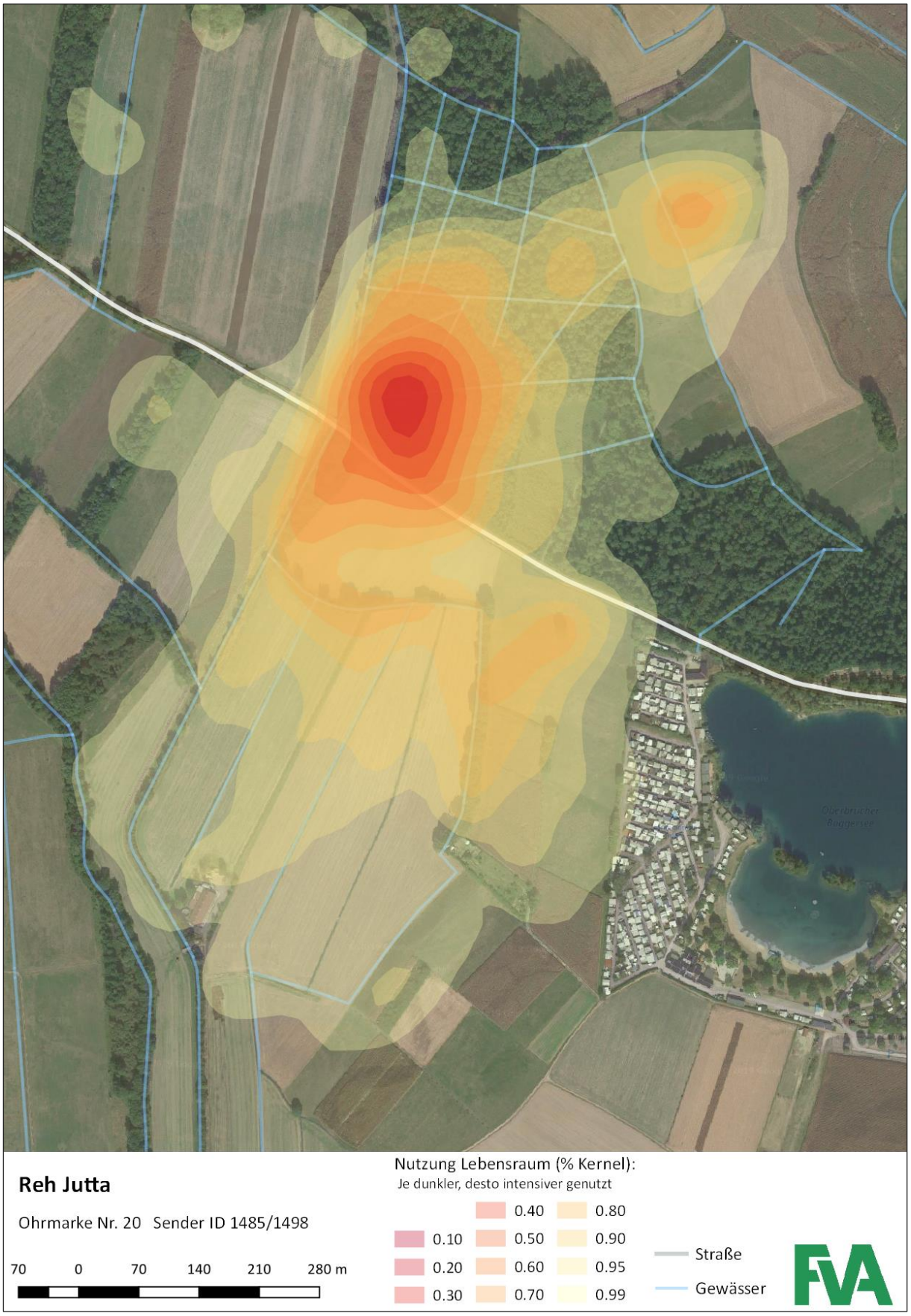


Abb. 77: Nutzung des Lebensraums von Reh Jutta in Oberbruch.

Abb. 78: Nutzung des Lebensraums von Reh Waltraud in Oberbruch.

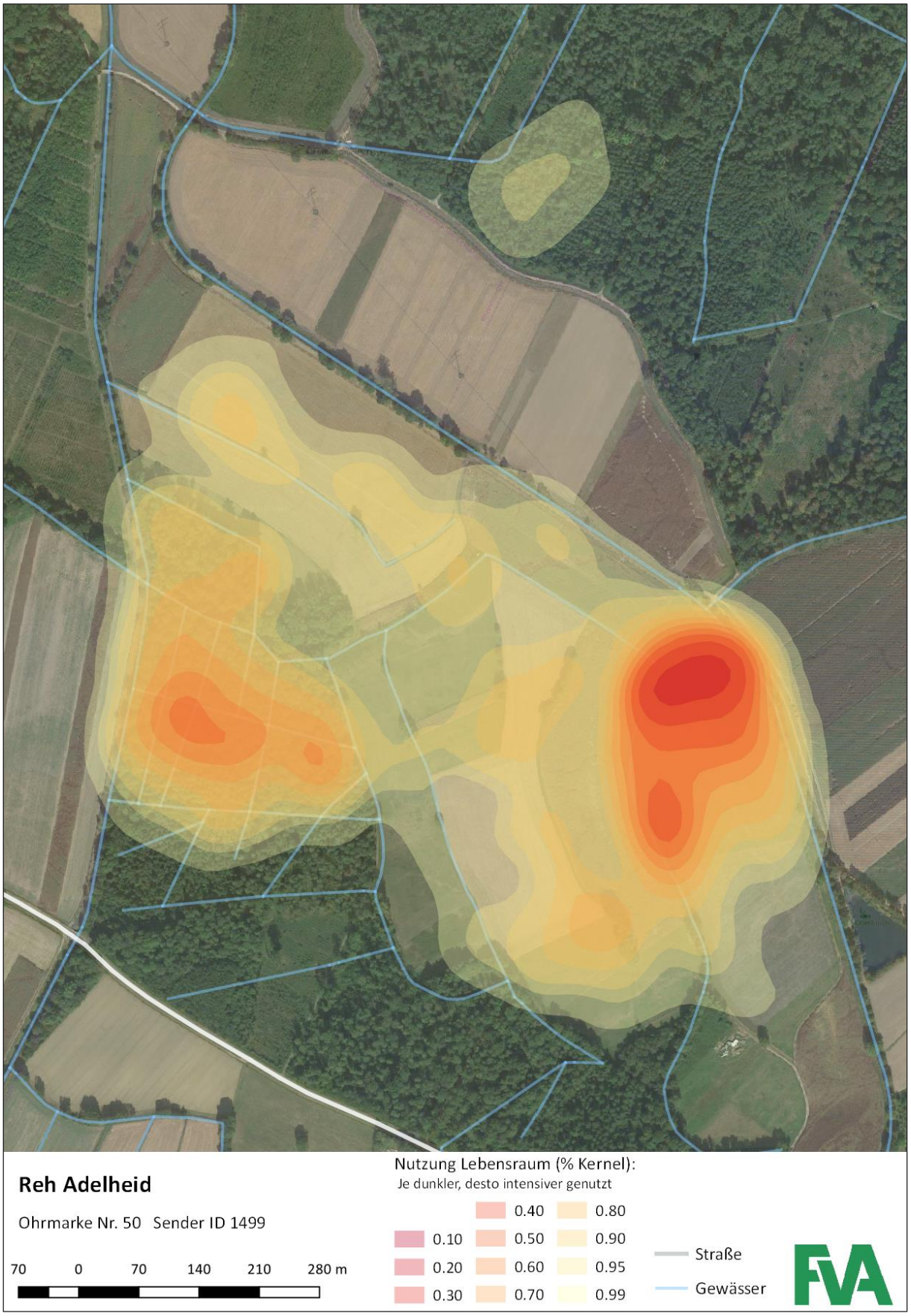


Abb. 79: Nutzung des Lebensraums von Reh Adelheid in Oberbruch.

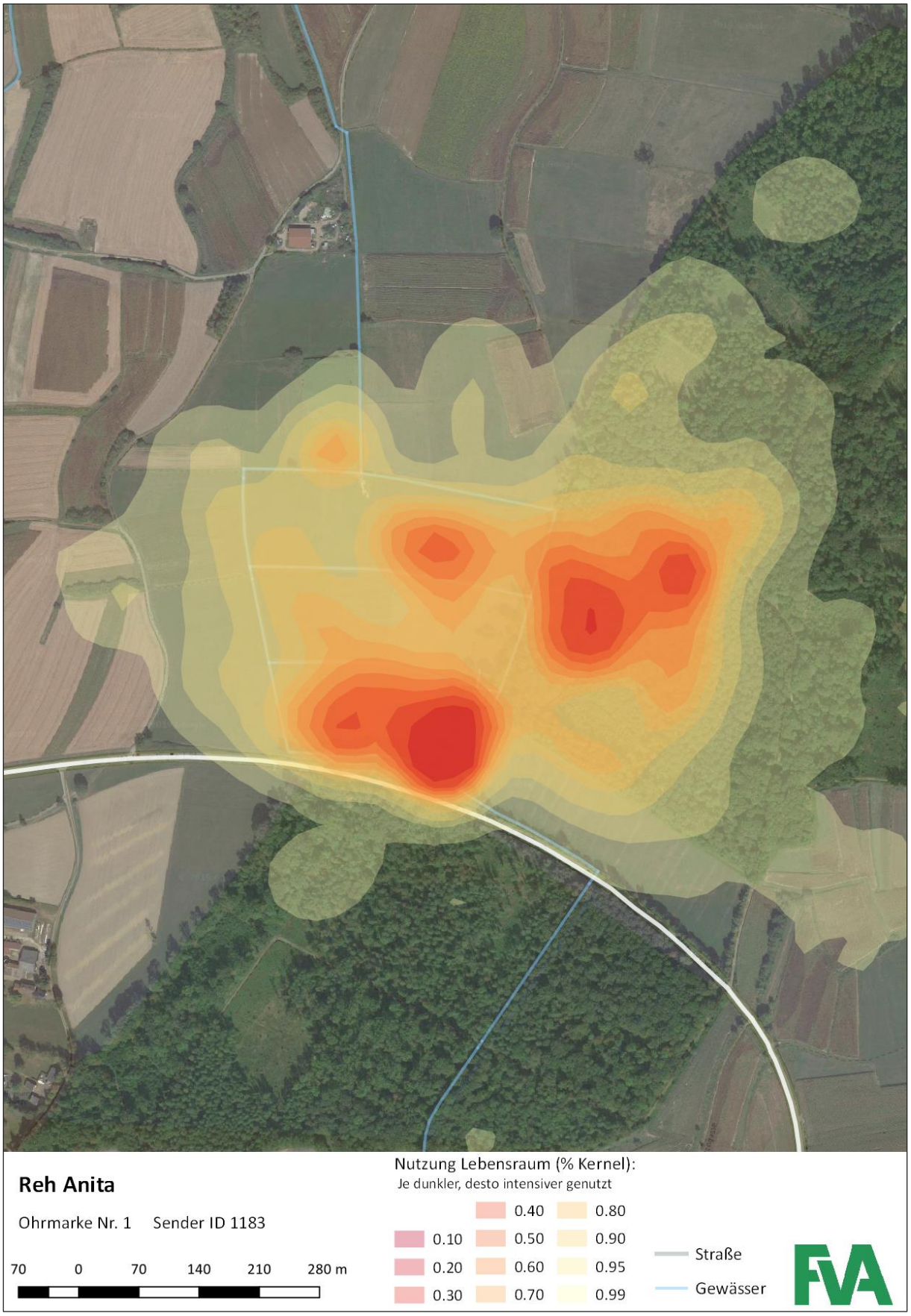


Abb. 80: Nutzung des Lebensraums von Reh Anita in Sand.

Abb. 81: Nutzung des Lebensraums von Reh Bertram in Sand.

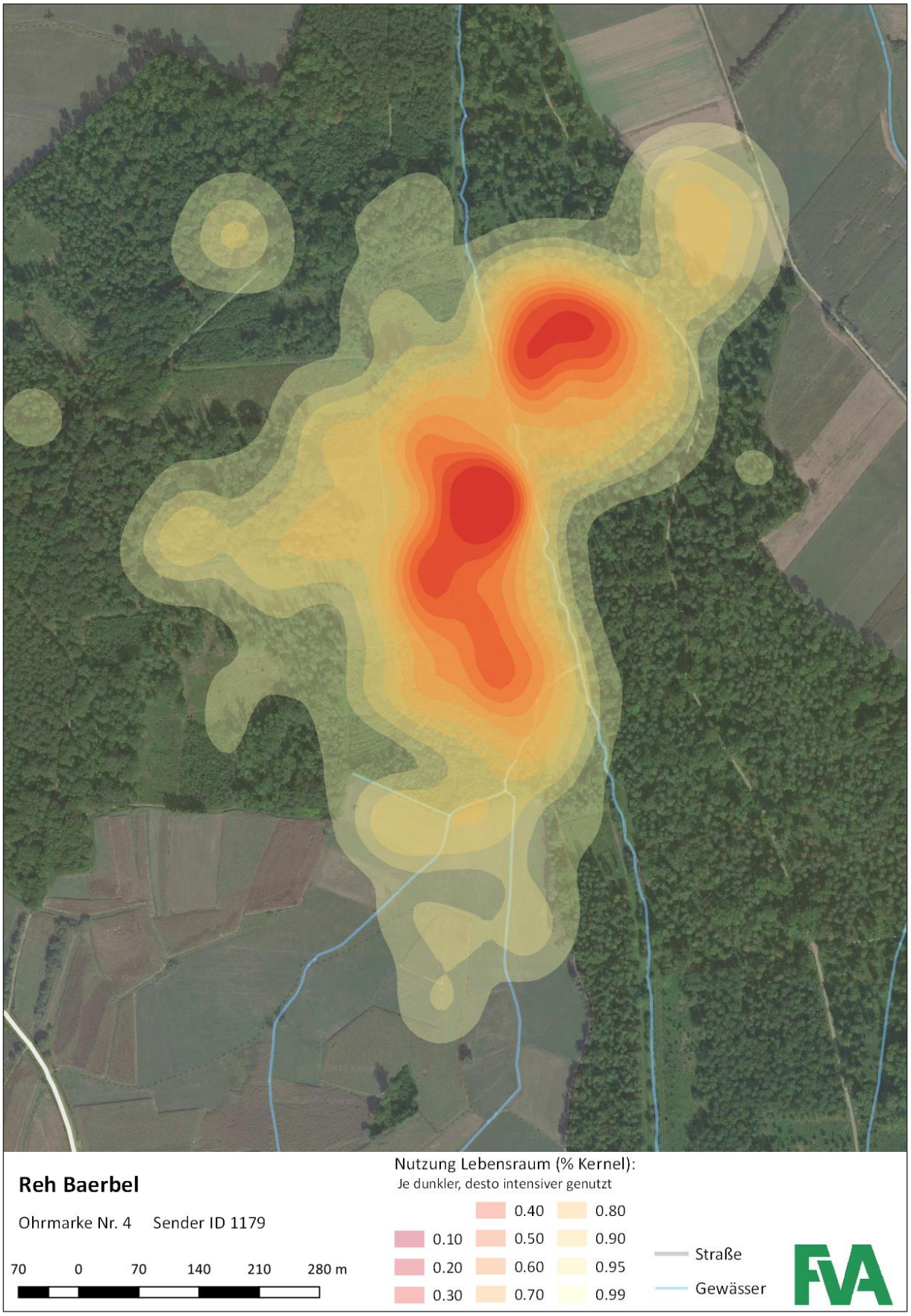


Abb. 82: Nutzung des Lebensraums von Reh Bärbel in Sand.

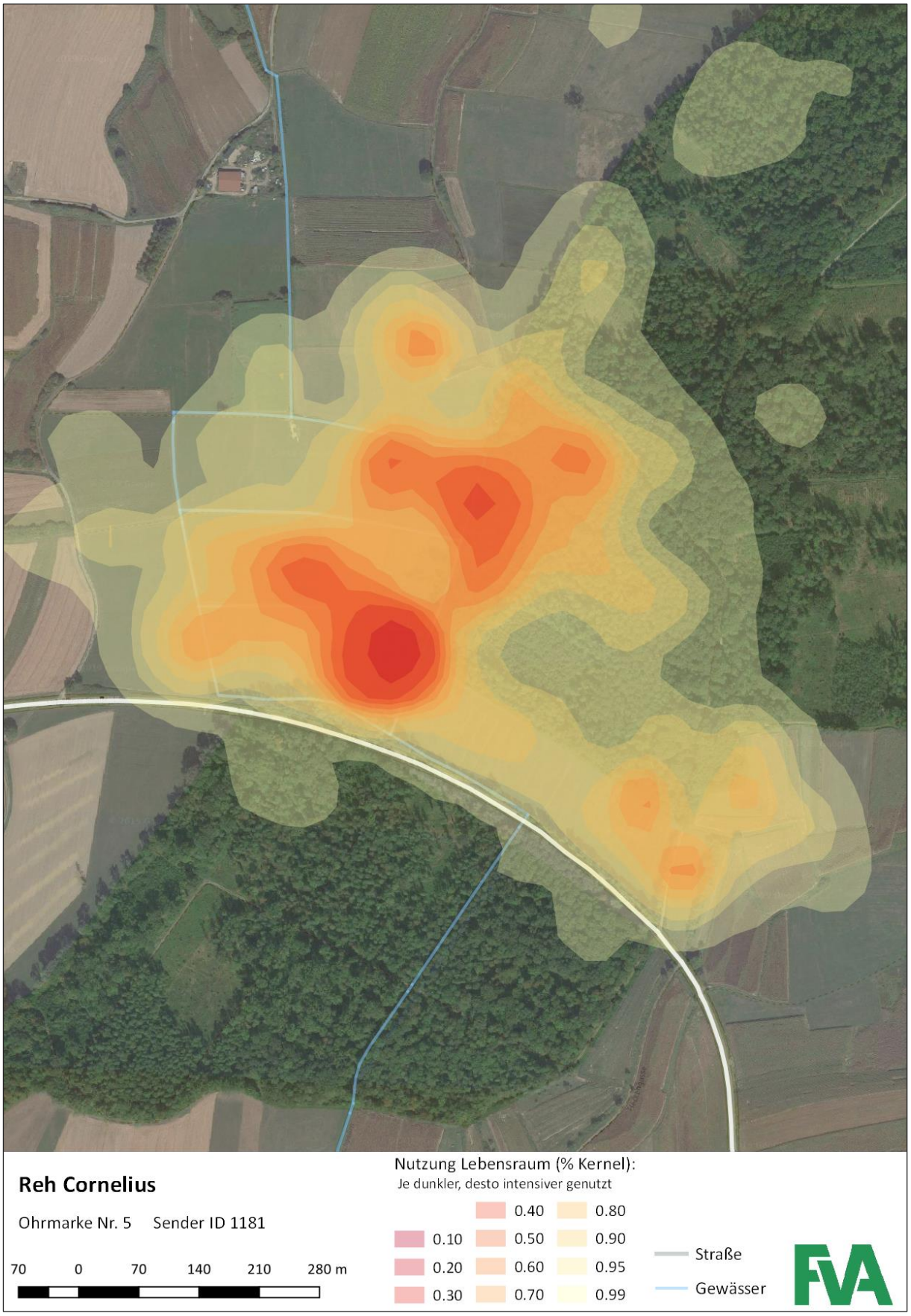


Abb. 83: Nutzung des Lebensraums von Reh Cornelius in Sand.

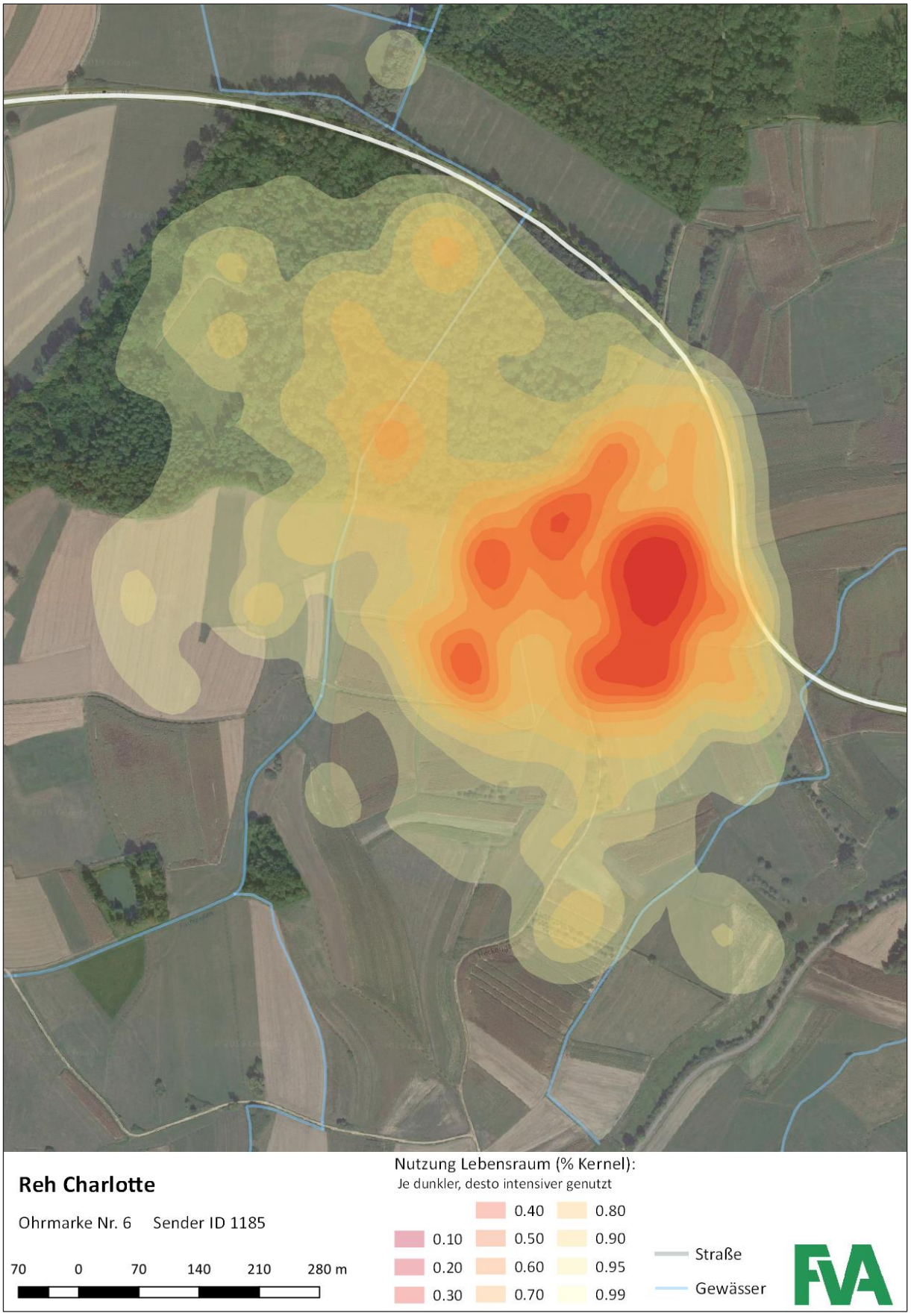


Abb. 84: Nutzung des Lebensraums von Reh Charlotte in Sand.

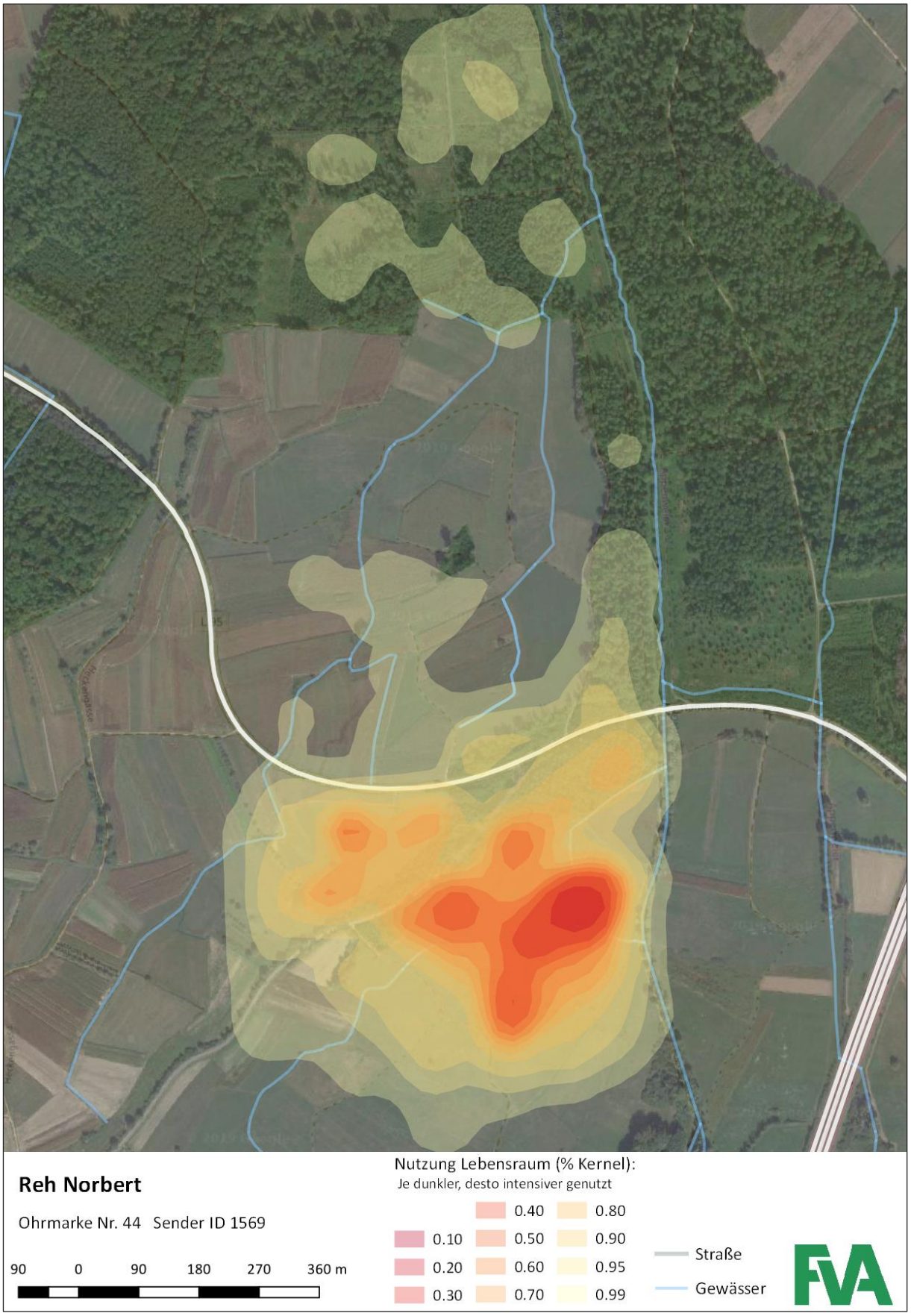


Abb. 85: Nutzung des Lebensraums von Reh Norbert in Sand.

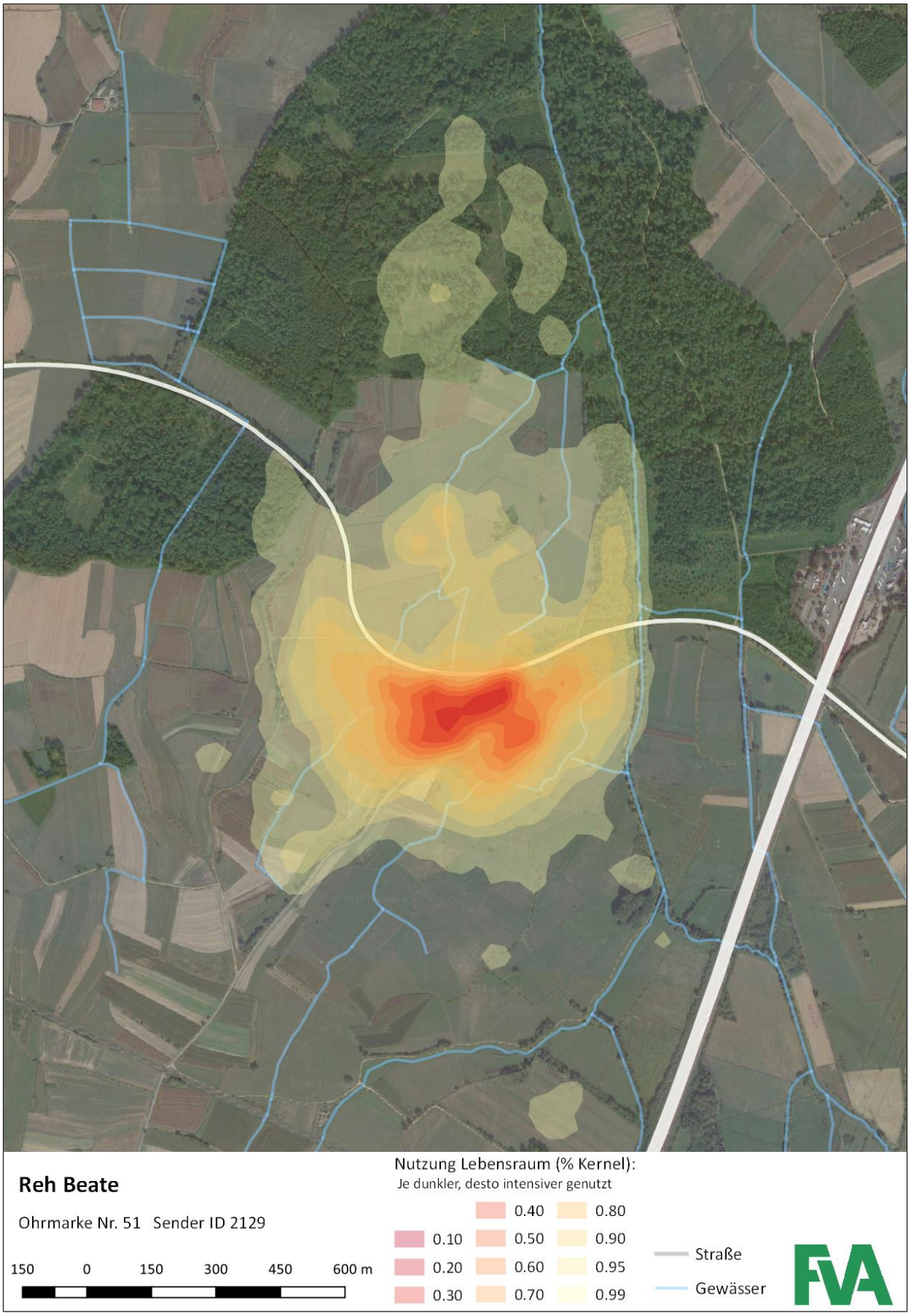


Abb. 86: Nutzung des Lebensraums von Reh Beate in Sand.

Abb. 87: Nutzung des Lebensraums von Reh Cordula in Sand.

Abb. 88: Nutzung des Lebensraums von Reh Quirin in Sand.

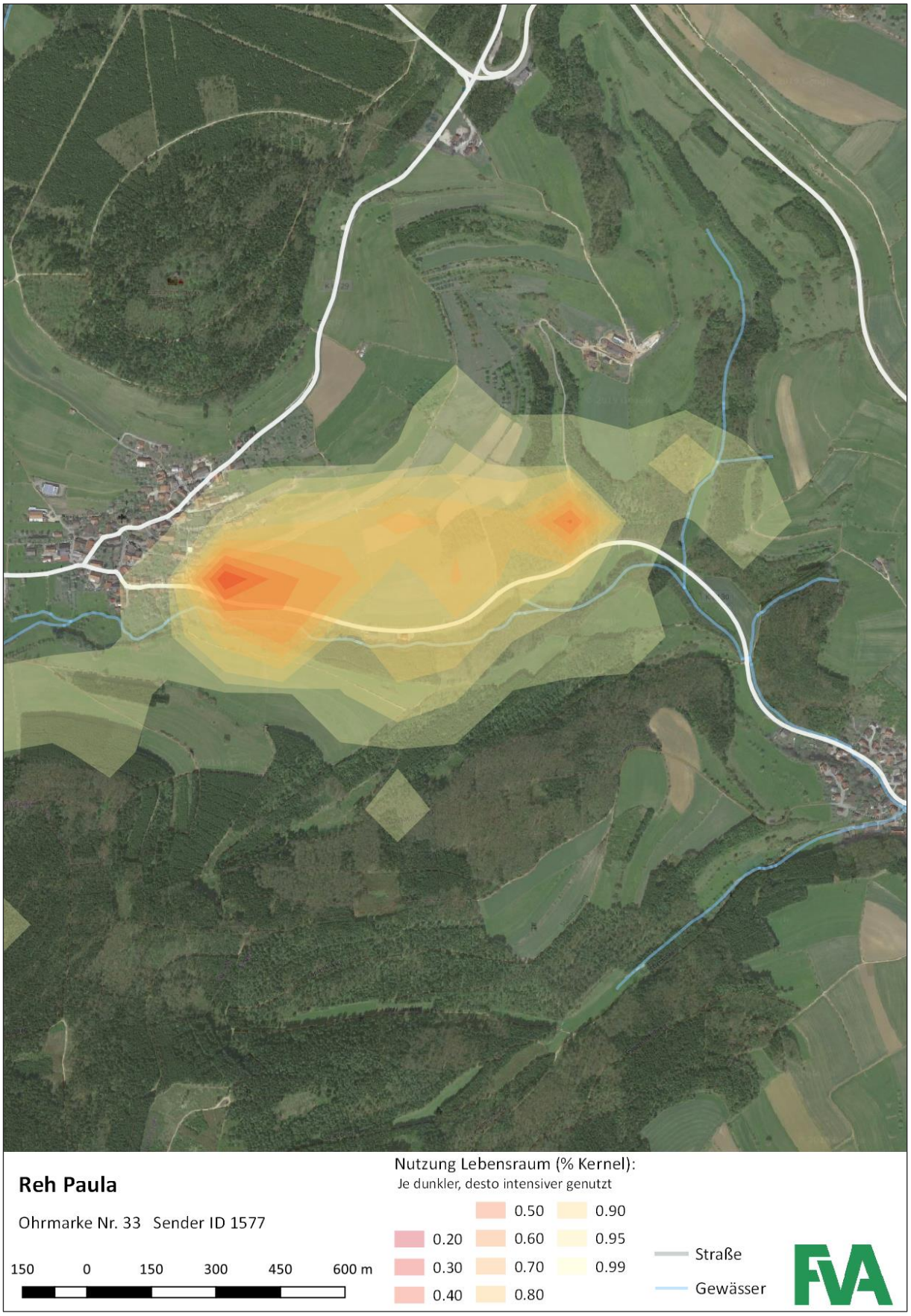


Abb. 89: Nutzung des Lebensraums von Reh Paula in Stetten.

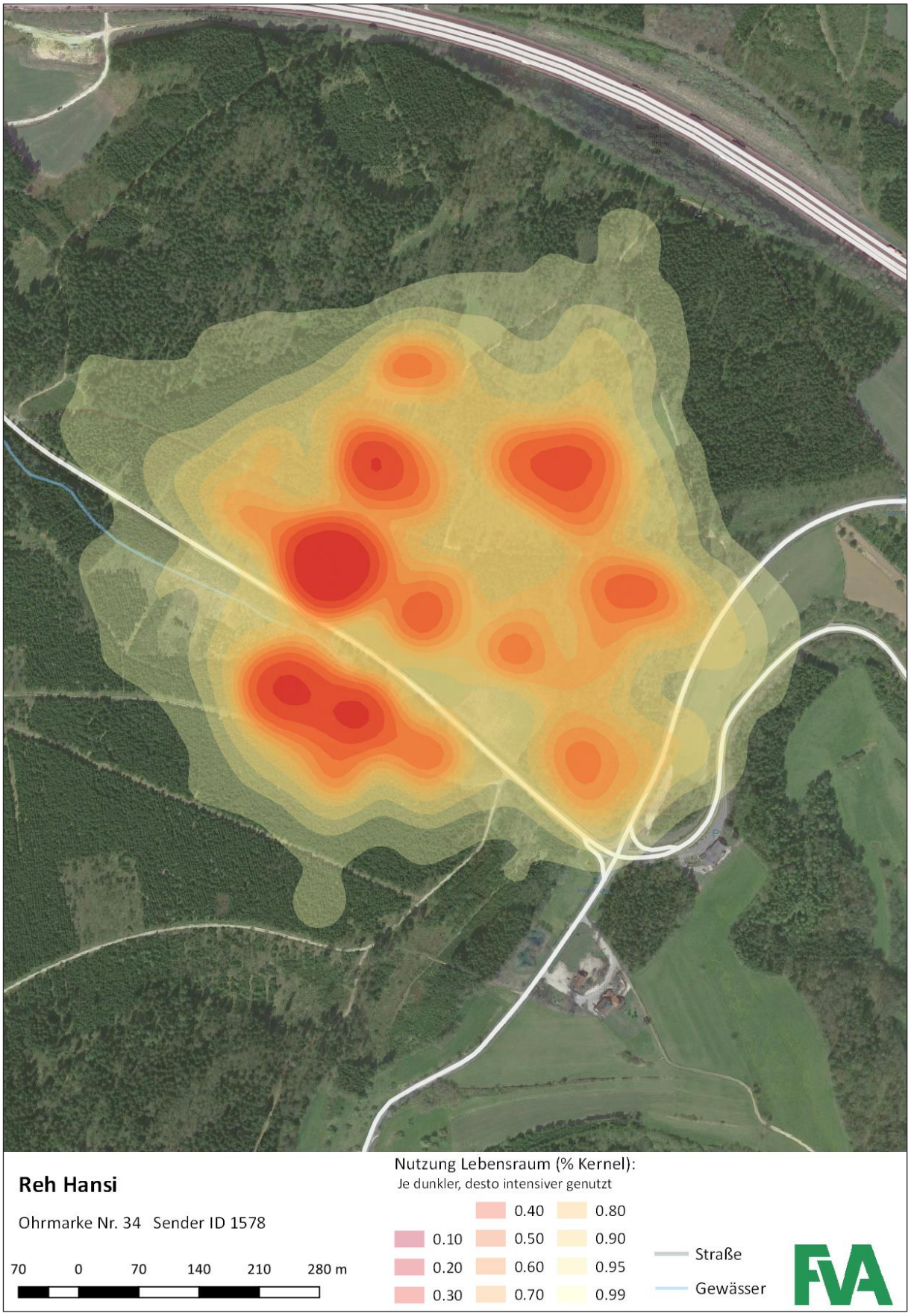


Abb. 90: Nutzung des Lebensraums von Reh Hansi in Stetten.

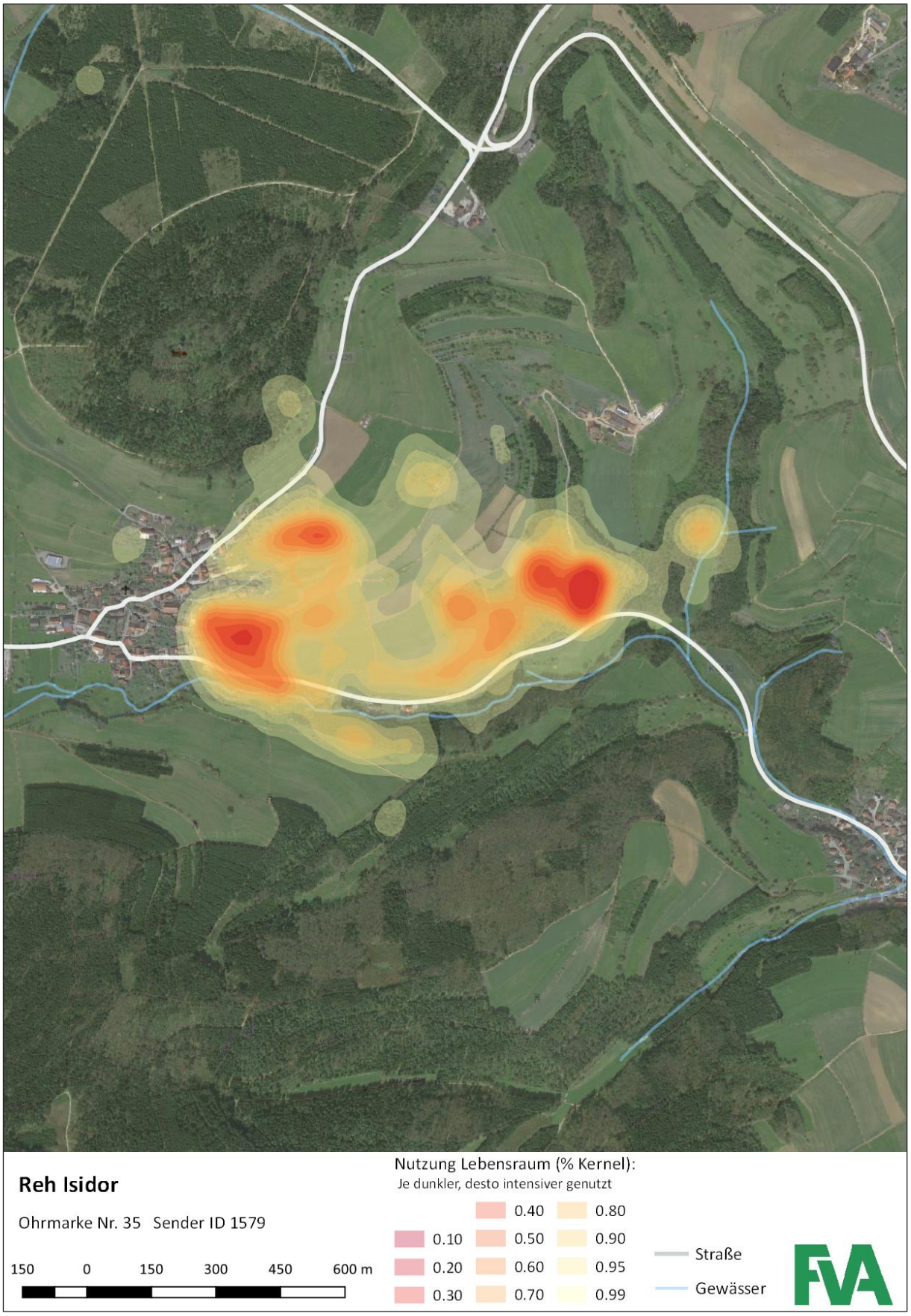


Abb. 91: Nutzung des Lebensraums von Reh Isidor in Stetten.

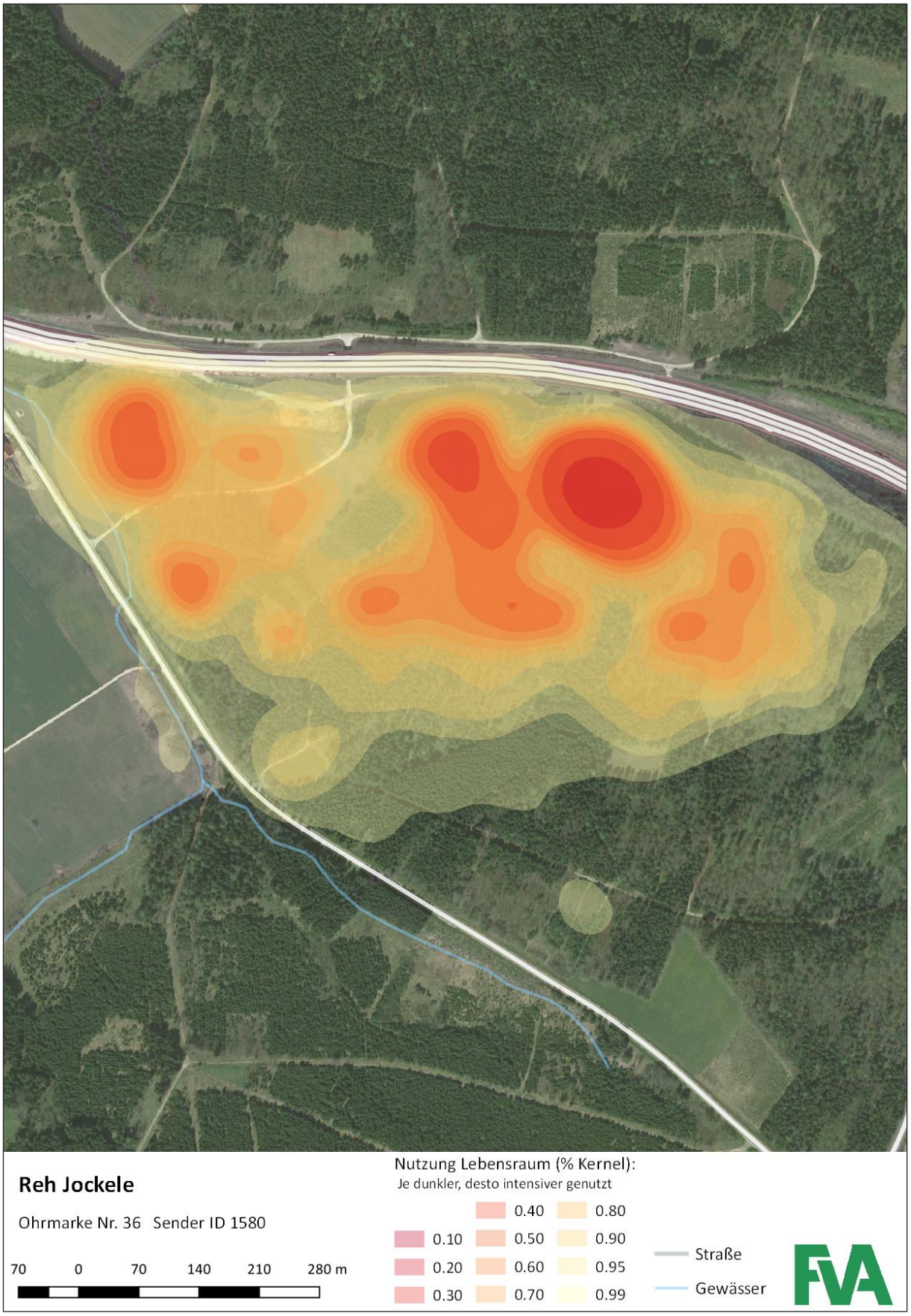


Abb. 92: Nutzung des Lebensraums von Reh Jockele in Stetten.

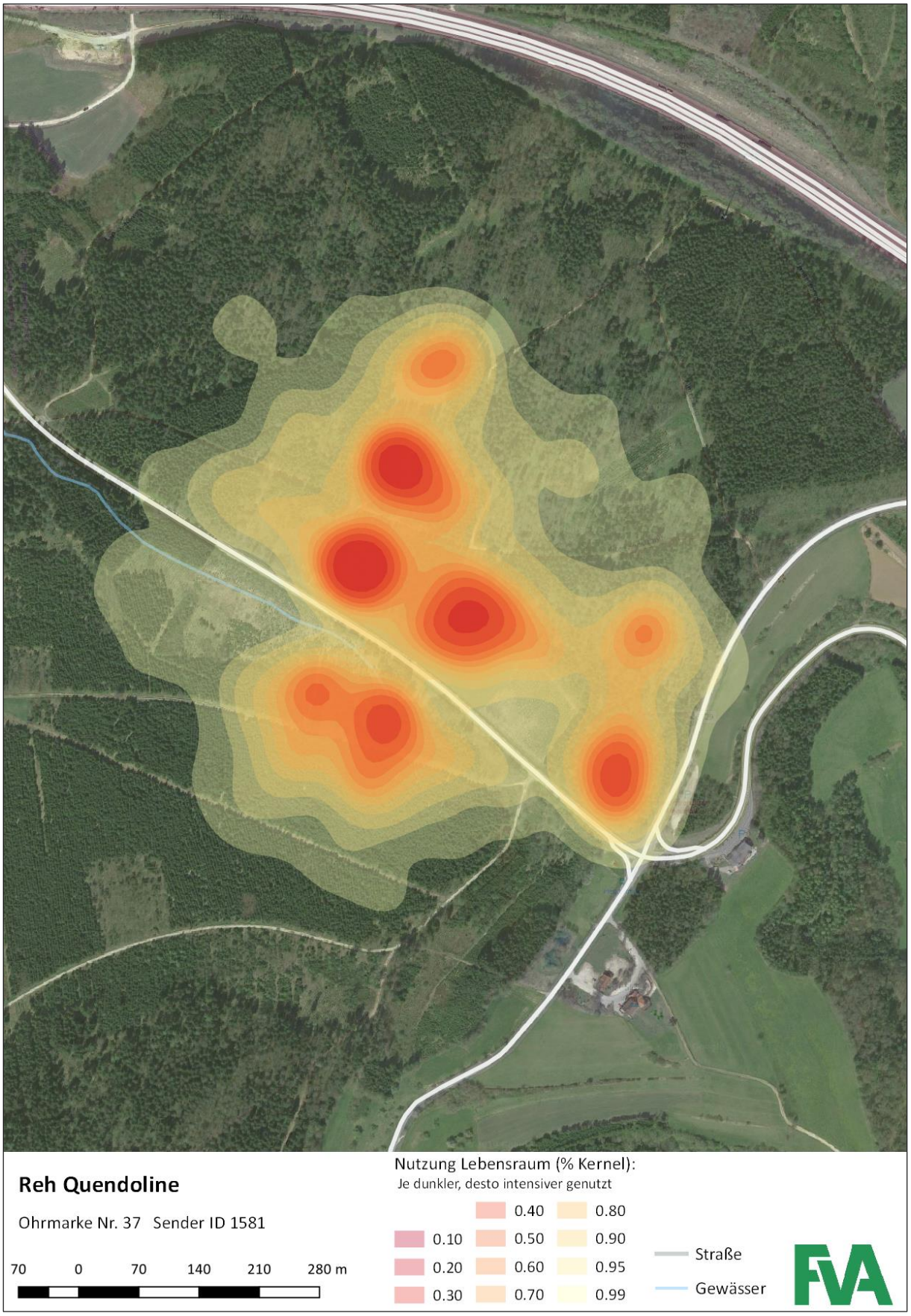


Abb. 93: Nutzung des Lebensraums von Reh Quendoline in Stetten.

Abb. 94: Nutzung des Lebensraums von Reh Ulrike in Stetten.

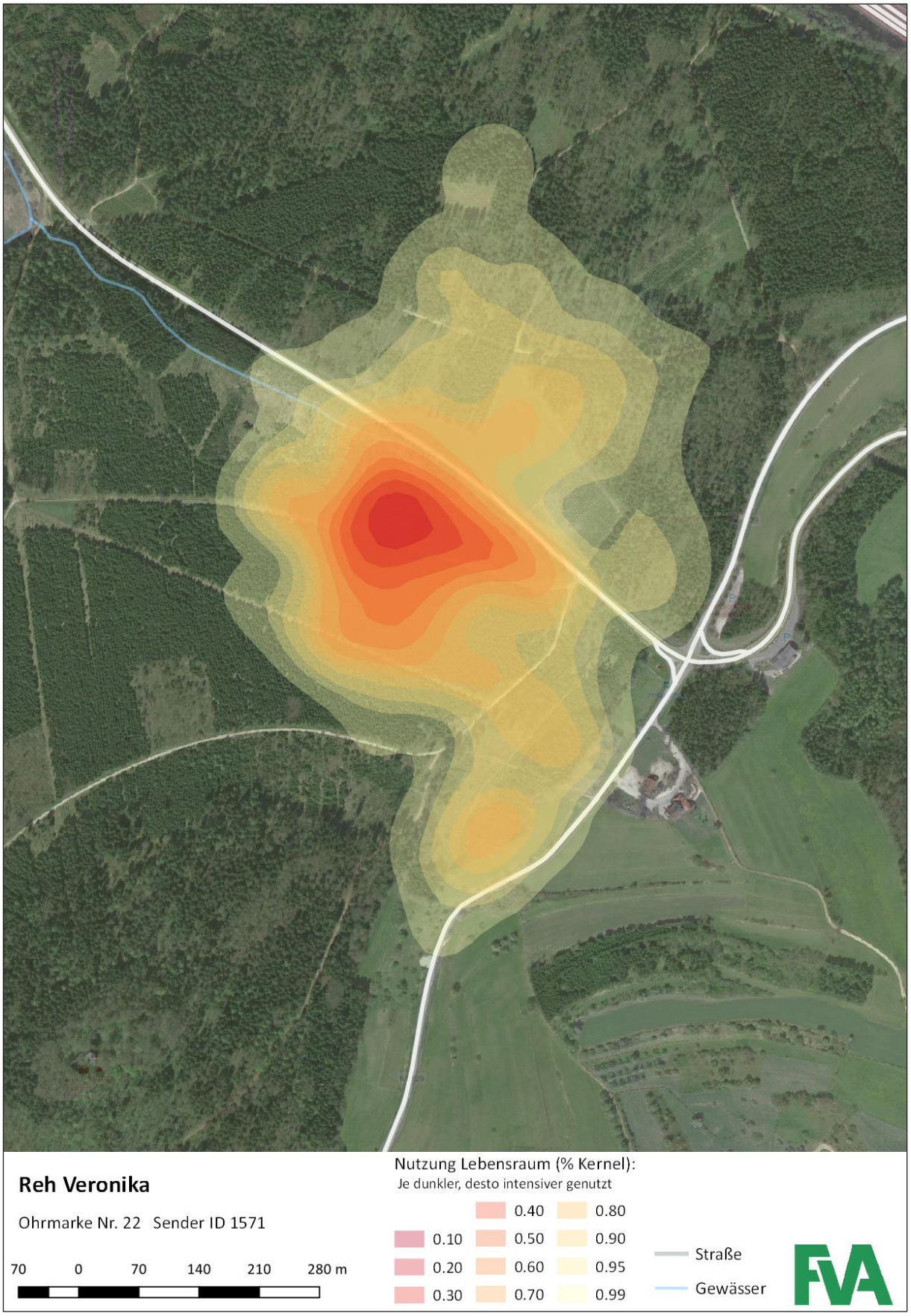


Abb. 95: Nutzung des Lebensraums von Reh Veronika in Stetten.

Abb. 96: Nutzung des Lebensraums von Reh Oswald in Stetten.

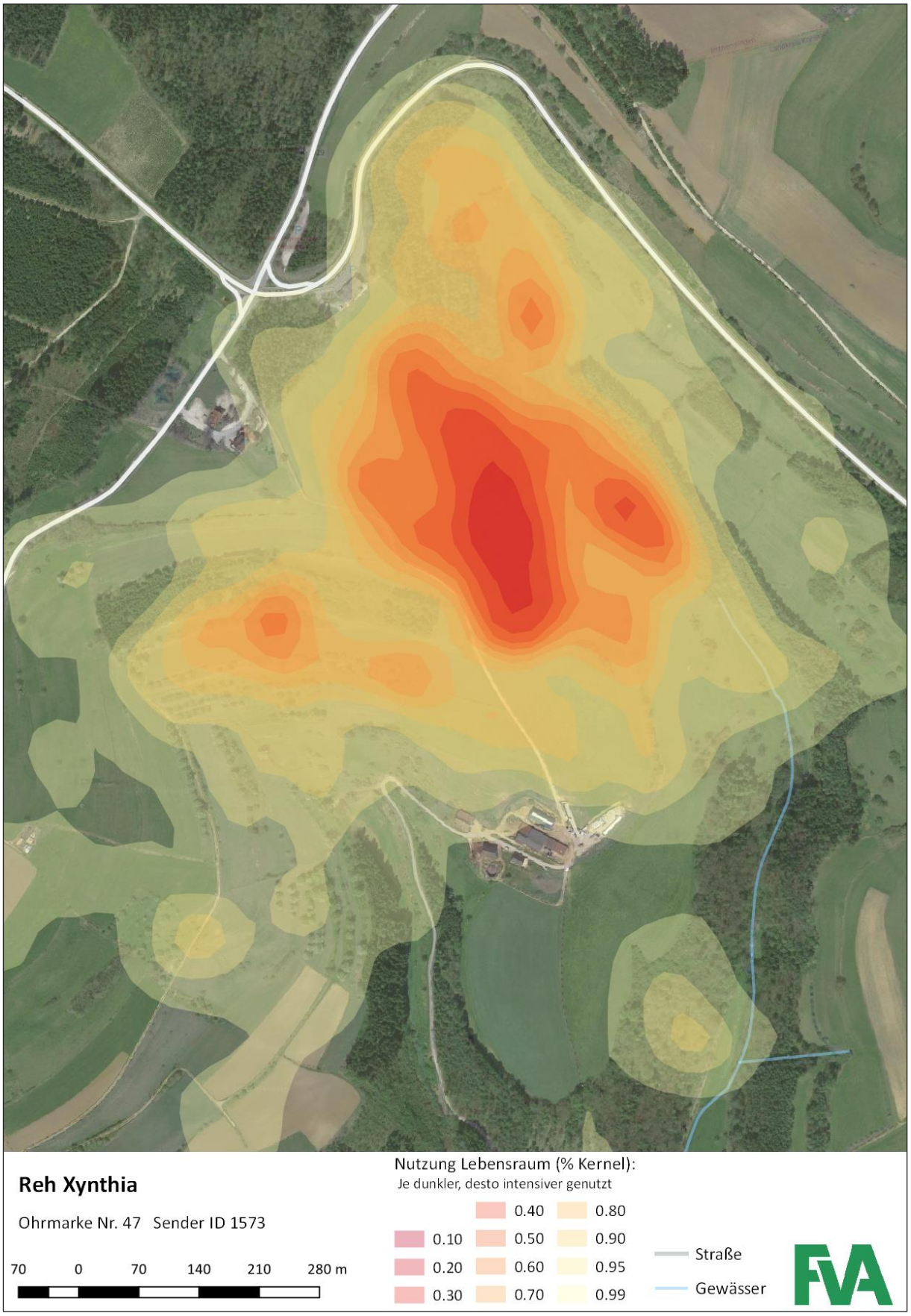


Abb. 97: Nutzung des Lebensraums von Reh Xynthia in Stetten.

Abb. 98: Nutzung des Lebensraums von Reh Yvonne in Stetten.

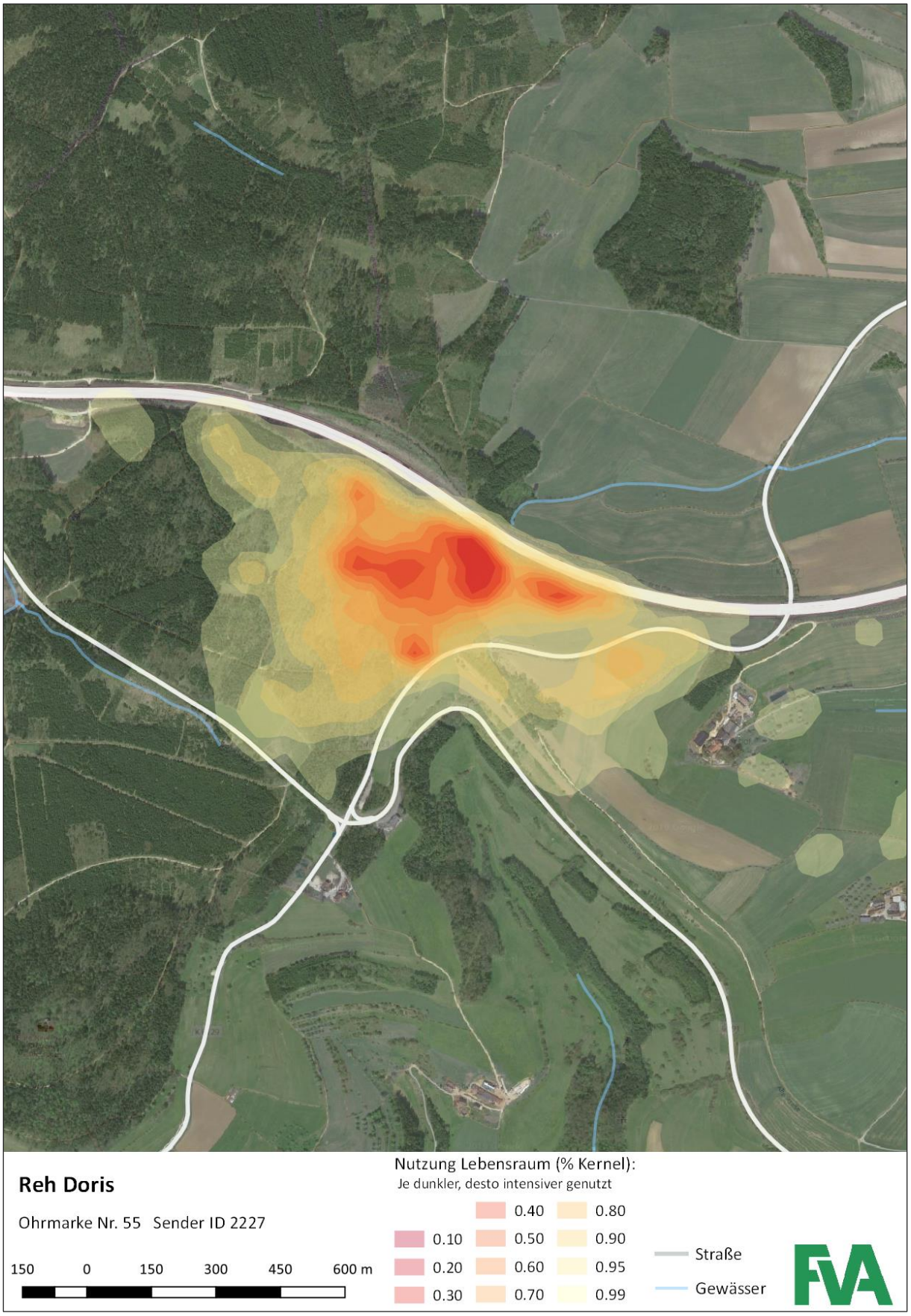


Abb. 99: Nutzung des Lebensraums von Reh Doris in Stetten.

Abb. 100: Nutzung des Lebensraums von Reh Rüdiger in Stetten.

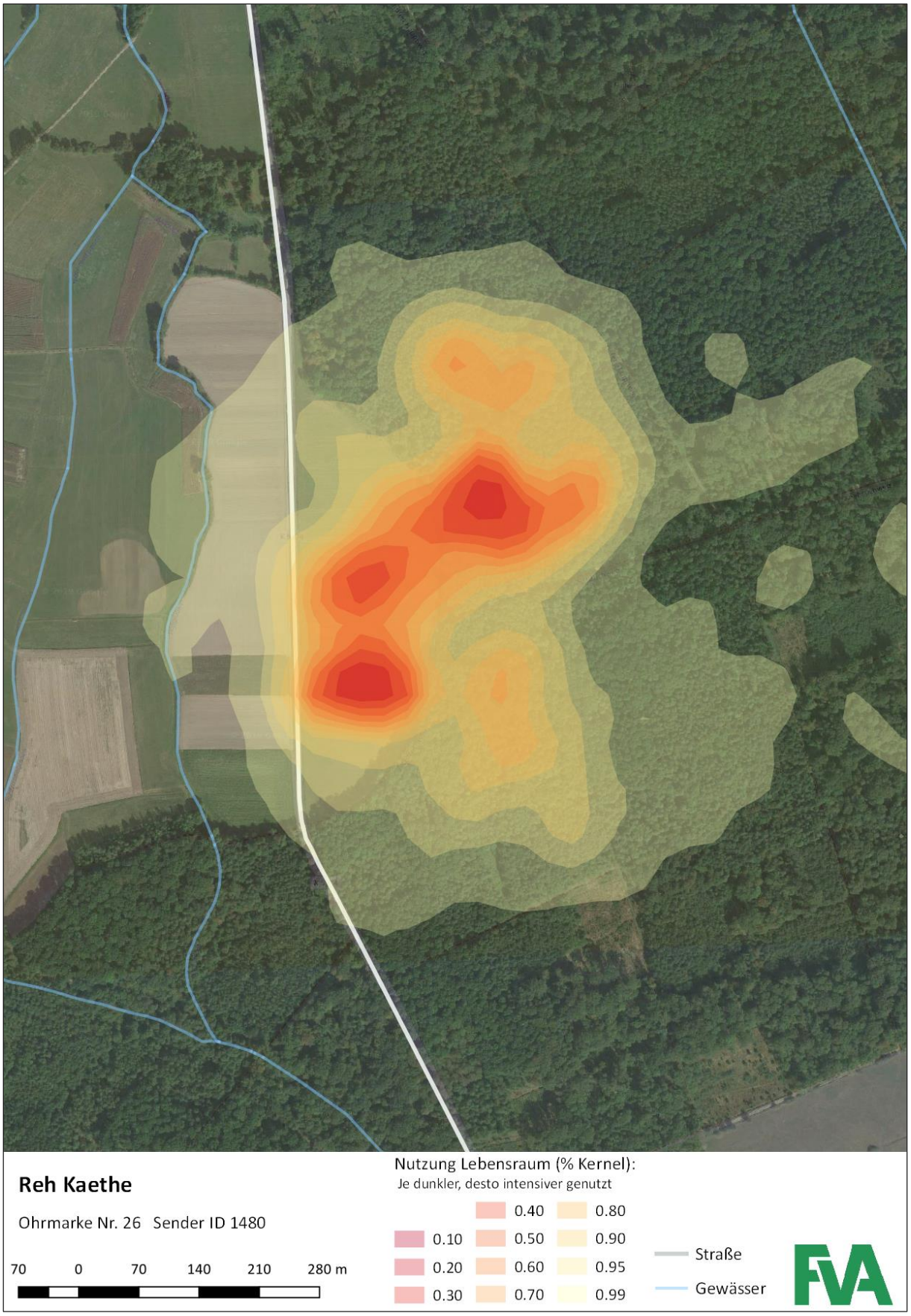


Abb. 101: Nutzung des Lebensraums von Reh Käthe in Zierolshofen.

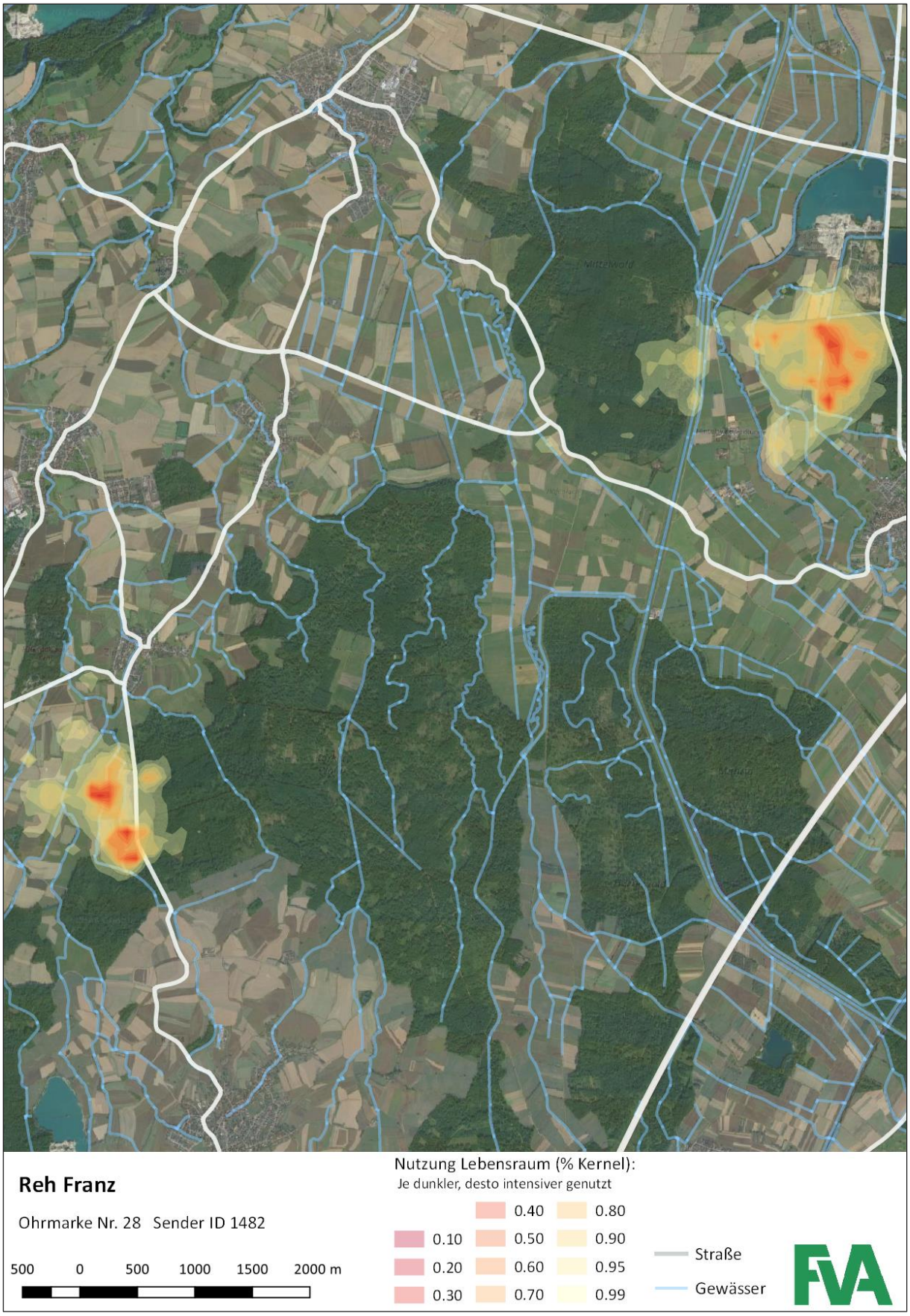


Abb. 102: Nutzung des Lebensraums von Reh Franz in Zierolshofen.

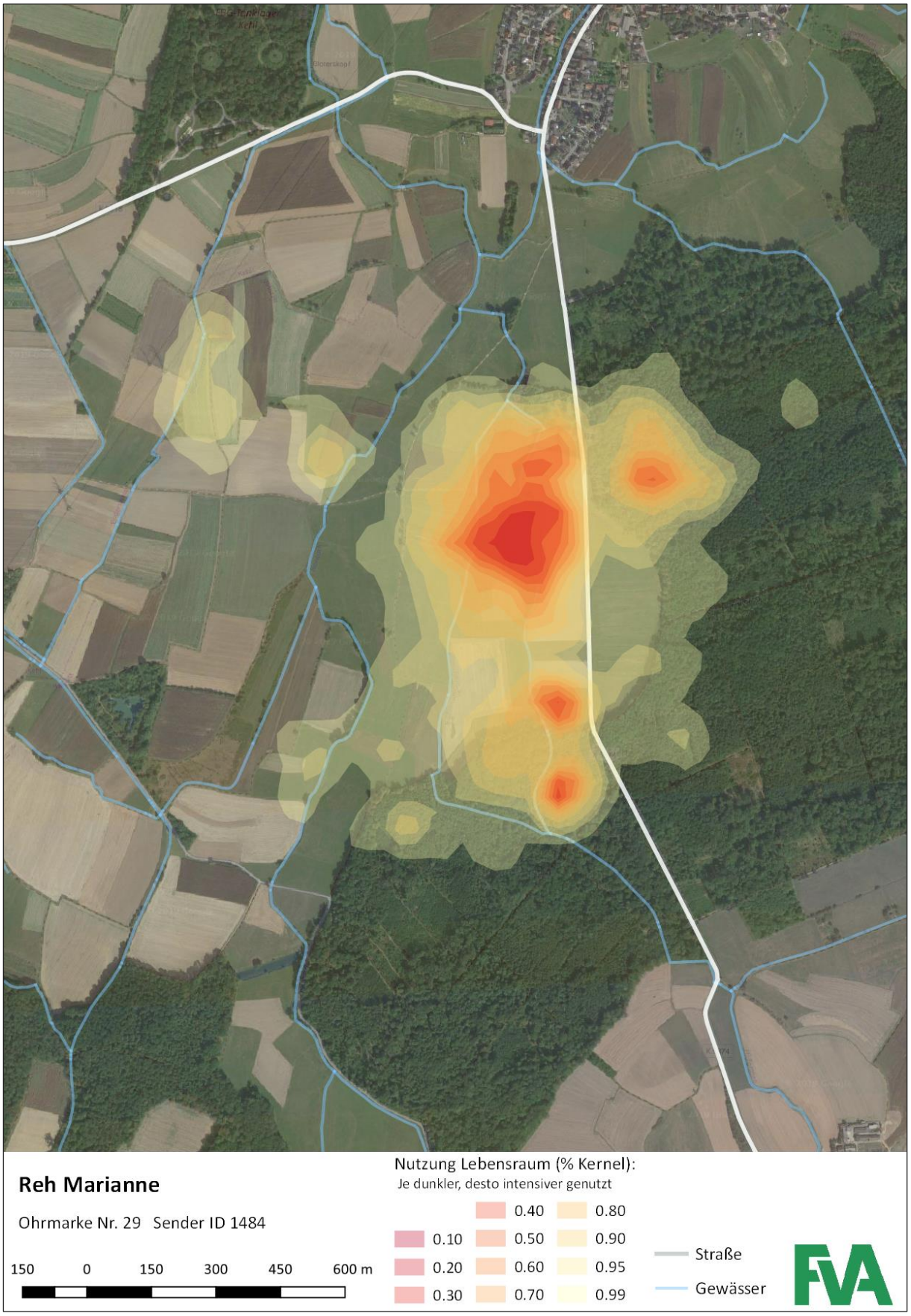


Abb. 103: Nutzung des Lebensraums von Reh Marianne in Zierolshofen.

Abb. 104: Bewegungsprofil von Reh Kasimir in Zierolshofen. Eine Kernel-Berechnung war aufgrund der geringen Anzahl an GPS-Punkten nicht möglich. Das Tier wurde nach dem Winter im Wassergraben im Süden entdeckt, nachdem das Eis geschmolzen ist.

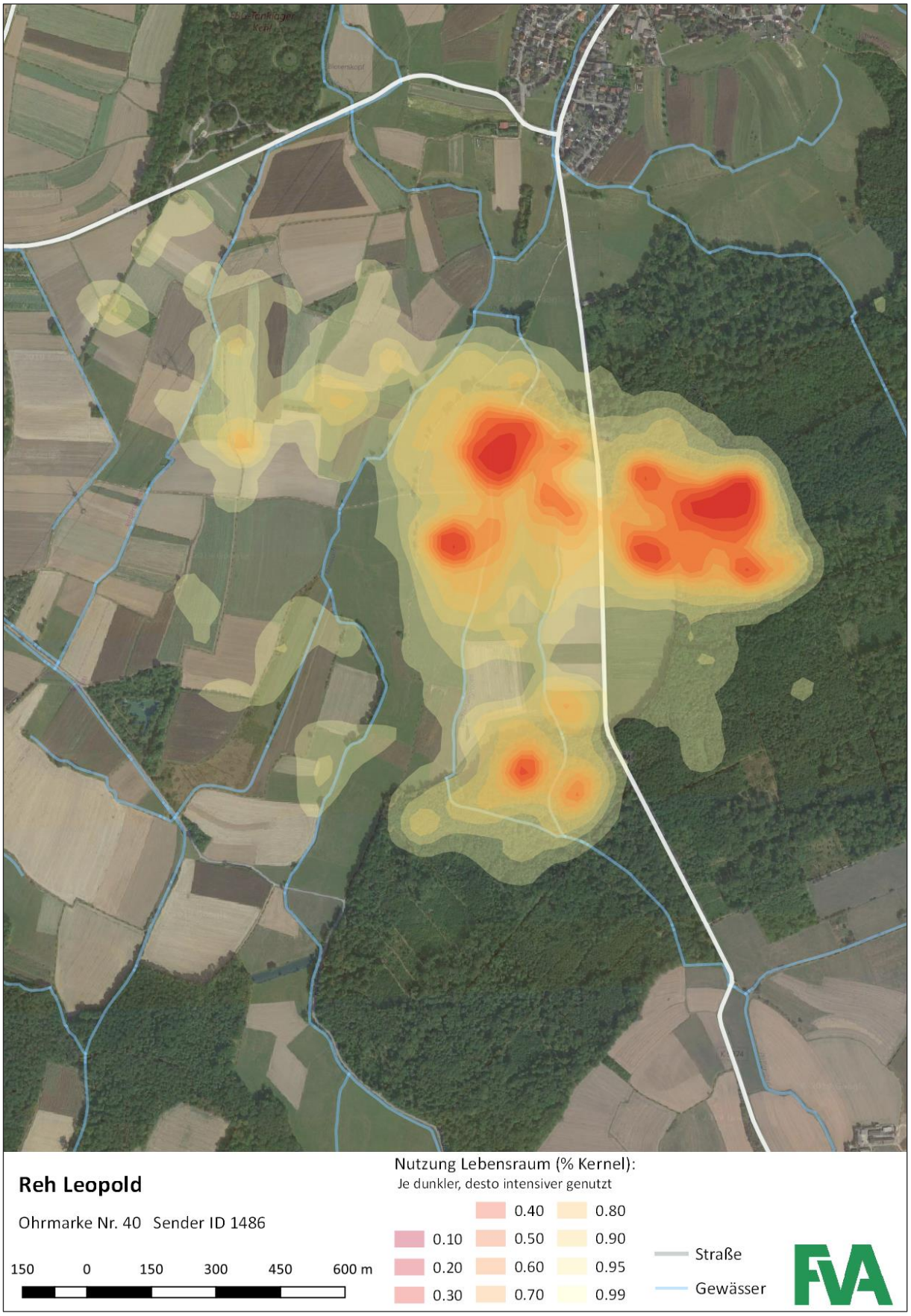


Abb. 105: Nutzung des Lebensraums von Reh Leopold in Zierolshofen.

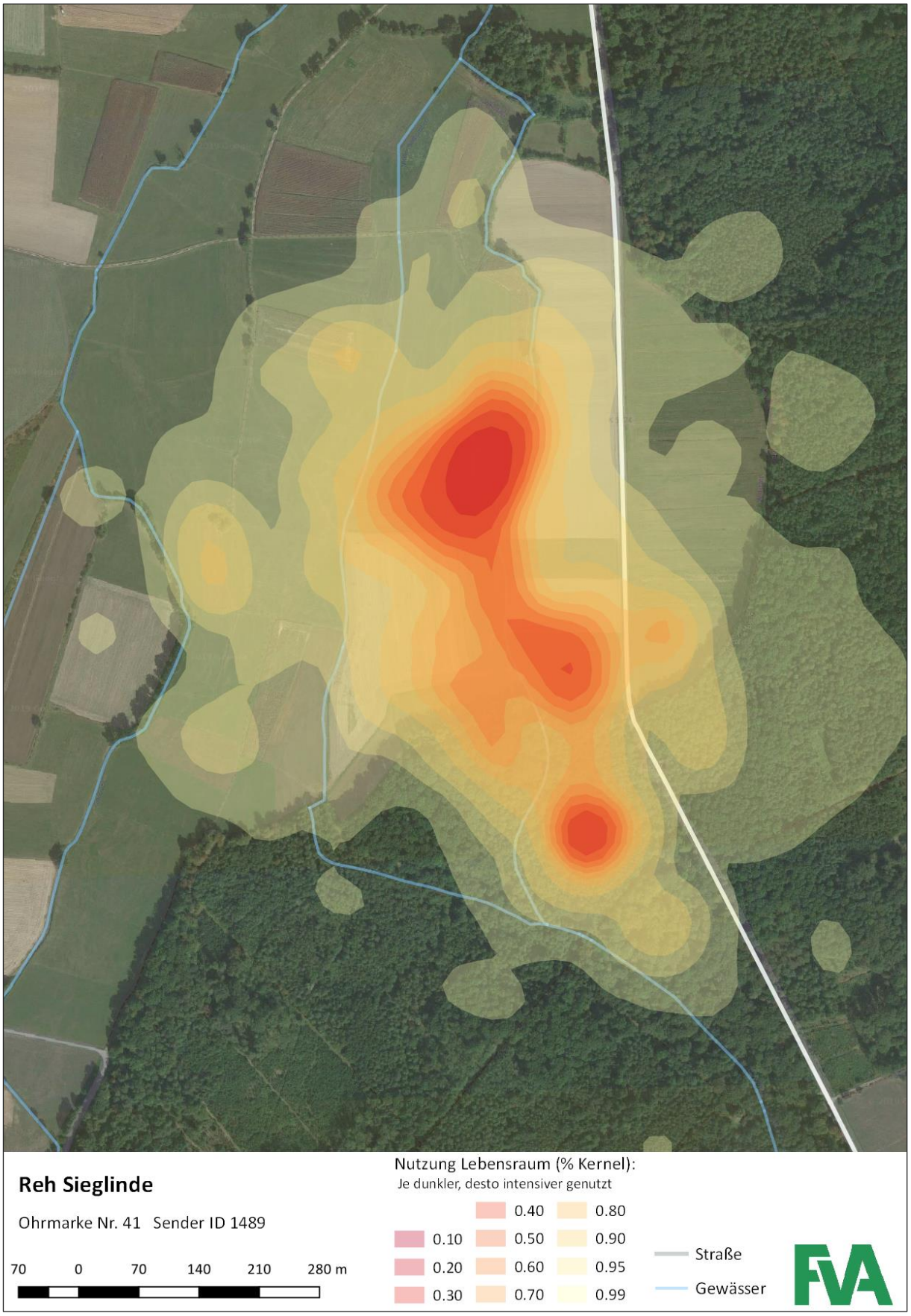


Abb. 106: Nutzung des Lebensraums von Reh Sieglinde in Zierolshofen.

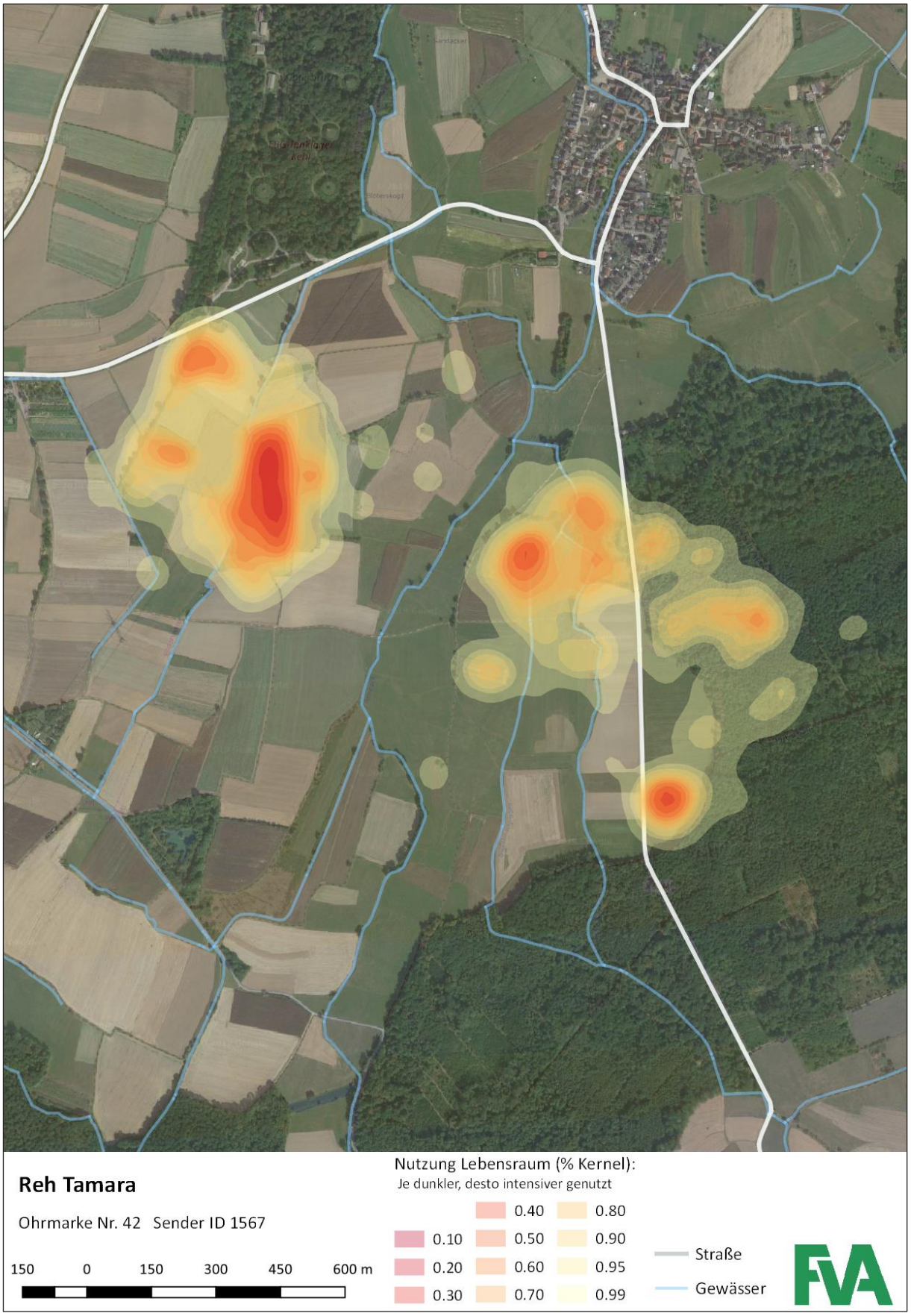


Abb. 107: Nutzung des Lebensraums von Reh Tamara in Zierolshofen.

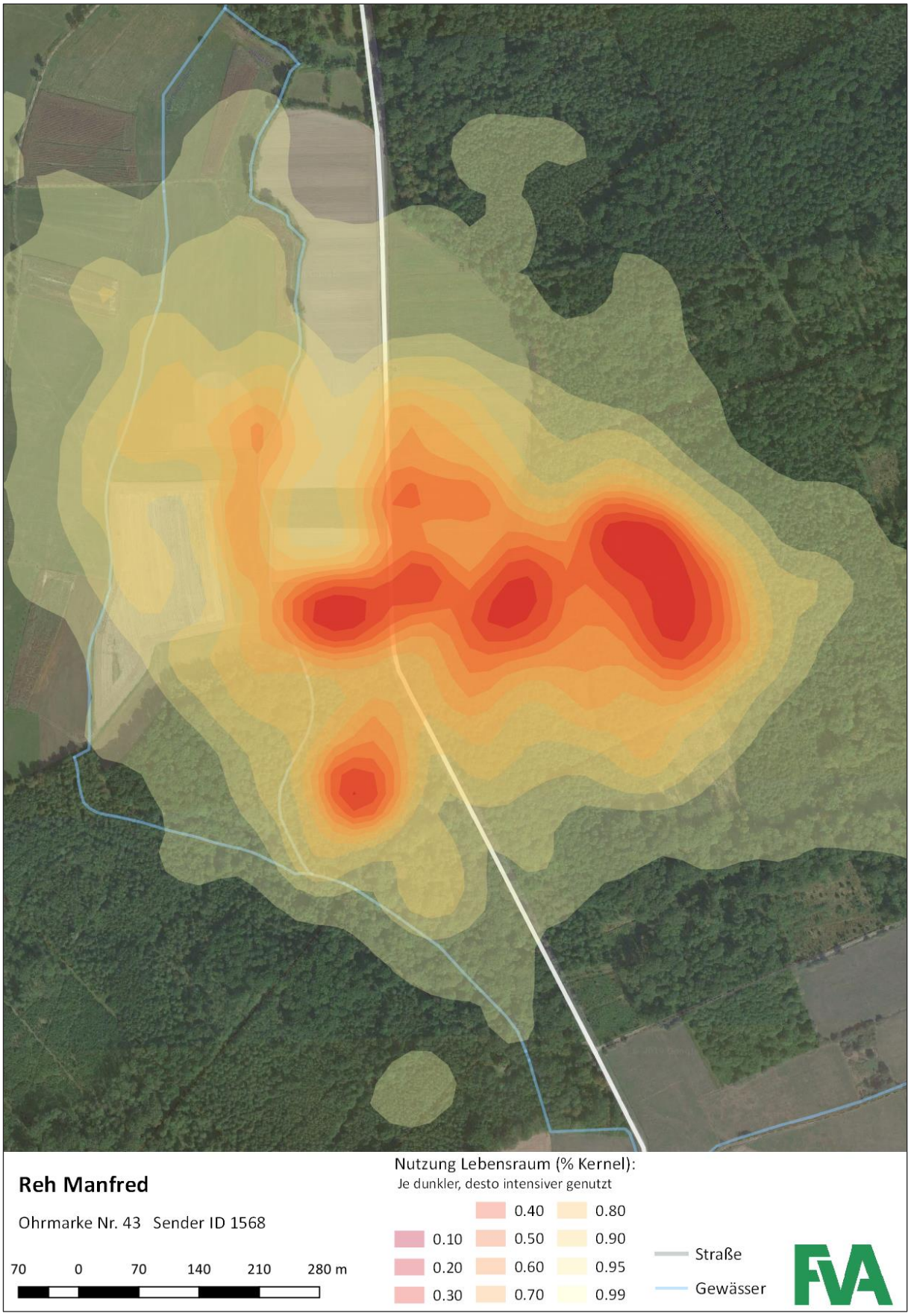


Abb. 108: Nutzung des Lebensraums von Reh Manfred in Zierolshofen.

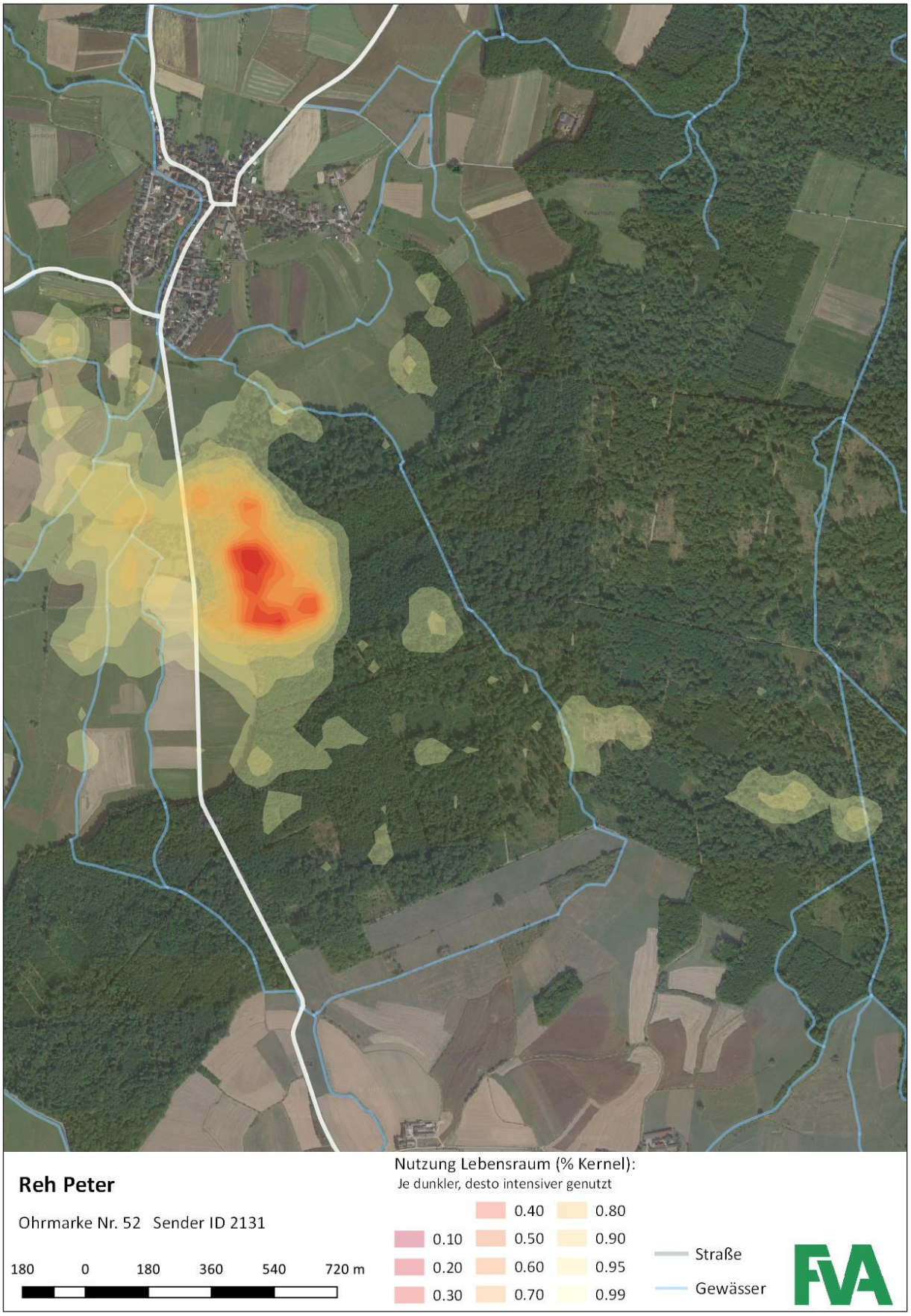


Abb. 109: Nutzung des Lebensraums von Reh Peter in Zierolshofen.

13.2 VERHALTENSBEOBACHTUNG AM STRASSENRAND (MODUL 2)

Technische Daten – AXIS Q1921/-E Wärmebild-Netzwerk-Kameras

Kamera

Modelle	Innenbereich: Q1921, 10 mm und 19 mm Außenbereich: Q1921-E, 10 mm, 19 mm, 35 mm und 60 mm
Bildsensor	Ungekühltes Mikrobolometer (384 x 288 Pixel)
Erkennungs-reichweite	Objektiv (TA Linsen) / F / Horizontaler Blickwinckel / Person (1,8x0,5 m) / Fahrzeug (2,3x2,3 m) 10 mm / 1,2 / 55° / 200 m / 460 m 19 mm / 1,0 / 29° / 380 m / 870 m 35 mm / 1,2 / 15° / 700 m / 1610 m 60 mm / 1,2 / 9° / 1200 m / 2760 m Berechnet mit Johnsons Kriterien. Detektionsreichweite variiert vom Wetterverhältnis.
Empfindlichkeit	NETD < 100 mK

Video

Video-komprimierung	H.264 (MPEG-4 Teil 10/AVC) Motion JPEG
Auflösungen	Sensor: 384 x 288 Bild kann bis auf 768 x 576 und auf Standard-VGA-Auflösungen skaliert werden
Standardbildrate	Bis zu 30 Bilder pro Sekunde in Europa, Norwegen, Schweiz Kanada, USA, Japan, Australien, Neuseeland Bis zu 8,3 Bilder pro Sekunde in anderen Ländern* *Eine Bildrate von mehr als 9 Bildern pro Sekunde unterliegt möglicherweise Exportbeschränkungen
Video-Streaming	Mindestens 1 Strom in H.264 und Motion JPEG: simultane, individuell konfigurierte Ströme mit maximaler Auflösung bei 30 Bildern/s Bildrate und Bandbreite steuerbar. VBR/CBR H.264
Bildeinstellungen	Komprimierung, Helligkeit, Belichtungssteuerung, Drehung, Spiegelung von Bildern, Text- und Bild-Overlay, Privatzonenmaske, Farbpalette für Falschfarbendarstellung

Audio

Audio-Streaming	Zweiwege, Halbduplex
Audio-komprimierung	AAC LC 8/16 kHz, G.711 PCM 8 kHz, G.726 ADPCM 8 kHz Konfigurierbare Bitrate
Audio-Eingang/-Ausgang	AXIS Q1921: Integriertes Mikrofon, externes Mikrofon oder Audio-Eingang, Audio-Ausgang AXIS Q1921-E: Eingang für externes Mikrofon bzw. Audio-Eingang, Audio-Ausgang

Netzwerk

Sicherheit	Kennwortschutz, IP-Adressfilter, HTTPS*-Verschlüsselung, Netzwerkzugriffskontrolle nach IEEE 802.1X*, Digest-Authentifizierung, Benutzerzugriffsprotokollierung
Unterstützte Protokolle	IPv4/v6, HTTP, HTTPS*, QoS Layer 3 DiffServ, FTP, SMTP, Bonjour, UPnP, SNMPv1/v2c/v3(MIB-II), DNS, DynDNS, NTP, RTSP, RTP, TCP, UDP, IGMP, RTCP, ICMP, DHCP, ARP, SOCKS. Unterstützung für eine breite Palette an Schwenk/Neigeköpfen (Treiber stehen unter www.axis.com zum Download bereit)

** Dieses Produkt enthält Software, die vom OpenSSL Project zur Verwendung im OpenSSL Toolkit entwickelt wurde. (www.openssl.org)*

Weitere Informationen finden Sie unter www.axis.com

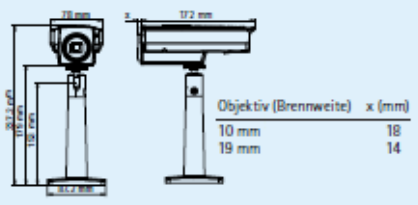
Systemintegration

Anwendungs-programmier-schnittstelle	Offene API für Softwareintegration, einschließlich der ONVIF-Spezifikation, die unter www.onvif.org verfügbar ist, sowie VAPIX® und AXIS Camera Application Platform von Axis Communications, Spezifikationen verfügbar unter www.axis.com Unterstützt das AXIS Video Hosting System (AVHS), das den Kameraanschluss mit einem Mausklick ermöglicht
Intelligentes Video	Videobewegungserkennung, aktiver Manipulationsalarm, Audioerkennung. Unterstützung für AXIS Camera Application Platform ermöglicht die Installation zusätzlicher Anwendungen
Alarmauslösung	Intelligentes Video und externe Signale
Alarmereignisse	Datei-Upload über FTP, HTTP und E-Mail; Benachrichtigung per E-Mail, HTTP und TCP; Aktivierung externer Ausgänge
Videopuffer	32 MB Vor- und Nachalarm

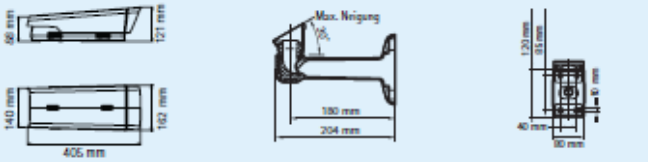
Allgemein

Gehäuse	AXIS Q1921: Zinkgehäuse AXIS Q1921-E: Aluminiumgehäuse gemäß IP66 und Germaniumscheibe
Prozessor und Speicher	ARTPEC-3, 128 MB RAM, 128 MB Flash
Stromversorgung	Power over Ethernet IEEE 802.3af Klasse 3 8-20 V Gleichstrom/20-24 V Wechselstrom AXIS Q1921: max. 6 W, max. 10 VA AXIS Q1921-E: max. 10 W, max. 16 VA Netzteil nicht im Lieferumfang enthalten
Anschlüsse	RJ-45 10BASE-T/100BASE-TX PoE, Anschlussblock für Netzspannung, Anschlussblock für zwei konfigurierbare Eingänge/Ausgänge 3,5 mm Mikro-/Line-Eingang, 3,5 mm Line-Ausgang RS-422/RS-485 Anschlussblock für AXIS Q1921/-E-Heizung
Lokaler Speicher	SD/SDHC-Speicherkartensteckplatz (Speicherkarte nicht im Lieferumfang enthalten)
Betriebs-bedingungen	AXIS Q1921/-E: -40 °C bis 60 °C Relative Luftfeuchtigkeit 20 – 80 % (nicht kondensierend)
Zulassungen	EN 55022 Klasse B, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, EN 55024, EN50121-4, EN 61000-6-1, EN 61000-6-2, EN 60950-1, KC Klasse B, FCC Teil 15 Abschnitt B Klasse B, VCCI Klasse B ITE IEC TR 60721-4-3 3M4/-4-4 4M4 (Stoße/Erschütterungen) IEC 60529 IP66
Gewicht	AXIS Q1921: 950 g – 970 g AXIS Q1921-E: 3475 g – 3650 g
Im Lieferumfang enthaltenes Zubehör	Anschlusszubehör, Installationsanleitung, CD mit Benutzerhandbuch, Aufzeichnungssoftware, Installations- und Verwaltungsprogrammen, Windows-Decoder-Lizenz für einen Benutzer AXIS Q1921-E: Wandhalterung, 5 m Ethernet-Kabel
Optionales Zubehör	Wandhalterung - Zubehör Motor zum Schwenken/Neigen Objektive: 10 mm, 19 mm, 35 mm und 60 mm AXIS Camera Station und Videoverwaltungssoftware von ADP-Partnern (Application Development Partners) von Axis Weitere Informationen hierzu finden Sie unter www.axis.com/products/video/software/

Abmessungen: AXIS Q1921 Netzwerk-Kamera



Abmessungen: AXIS Q1921-E Netzwerk-Kamera mit Wandhalterungsträger mit innen liegendem Kabelkanal



©2011 Axis Communications AB. AXIS COMMUNICATIONS, AXIS, ETRAX, ARTPEC und VAPIX sind eingetragene sowie in verschiedenen Gerichtsbezirken beantragte Marken von Axis. Alle weiteren Firmen und Produktnamen sind Marken oder eingetragene Marken der jeweiligen Firmen. Wir behalten uns das Recht vor, Änderungen ohne vorherige Ankündigungen vorzunehmen.

Abb. 110: Produktdetails Axis Wärmebildkameras.

13.3 EXPERIMENTELLE WILDWARNREFLEKTORVERSUCHE (MODUL 3)

Tabelle 15: Tabellarische Übersicht der Durchführung der vier Versuchsdurchläufe zwischen 2012 und 2014 am IZW. RI und RIII bezeichnen die beiden Gehege und die Tiere in den entsprechenden Zeiträumen. Die unterste Zeile beschreibt die Versuchsphasen: N1/N2 = Normalphase 1 und 2, in der keine Beeinflussung der Tiere stattgefunden hat; L1/L2 = Lichtphase 1 und 2, in der nur die Lichtquelle aktiviert wurde; R1/R2 = Reflektorphase 1 und 2, in der die Tiere Wildwarnreflektoren ausgesetzt wurden.

	VERSUCH 1		VERSUCH 2		VERSUCH 3		VERSUCH 4	
	Gehege RI	**Gehege R III**	**RI**	**R III**	**RI**	**R III**	**R I**	**R III**
Individuum (ID/Geschlecht/ Geburtsjahr)	1/m/2007 2/w/2001 3/w/2011 4/m/2012	5/m/2007 6/w/2010 7/w/2010 8/w/2009 9/m/2012	10/m/2007 11/w/2007 12/w/2011 13/w/2003	14/m/2011 15/w/2011 16/w/2011 17/w/2011	18/m/2007 19/w/2012* 20/w/2012	21/m/2007 22/w/2011 23/w/2011 24/w/2002 25/2013	26/m 27/w 28/w/2013 29/w/2013	30/m/2012 31/m/2012 32/m/2012 33/m/2013 34/m/2013 35/m/2013
Datum	26.09.- 01.10.2012 05.10.- 10.10. 10.10.- 14.10. 18.10.- 22.10. 24.10.- 29.10. 29.10.- 03.11.	26.09.- 01.10.2012 05.10.- 10.10. 10.10.- 12.10. & 16.-18.10. 18.10.- 23.10. 24.10.- 29.10. 29.10.- 03.11.	11.02.- 16.02.2013 18.02.- 23.02. 25.02.- 02.03. 04.03.- 09.03. 11.03.- 16.03. 25.03.- 30.03.	11.02.- 16.02.2013 18.02.- 23.02. 25.02.- 02.03. 04.03.- 09.03. 11.03.- 16.03. 25.03.- 30.03.	09.09.- 14.09.2013 16.09.- 21.09. 23.09.- 28.09. 28.09.- 03.10. 04.10.- 09.10. 09.10.- 13.10.	09.09.- 14.09.2013 17.09.- 21.09. 23.09.- 28.09. 28.09.- 03.10. 03.10.- 08.10. 08.10.- 13.10.	24.02.- 01.03.2014 03.03.- 09.03. 10.03.- 15.03. 17.03.- 22.03. 24.03.- 29.03. 31.03.- 05.04.	26.02.- 03.03.2014 03.03.- 08.03. - 17.03.- 22.03. 24.03.- 29.03. 31.03.- 06.04.
Versuchsphase	N1 R1 Beutha L1 N2 L2 R2 Beutha	N1 L1 R1 Beutha N2 R2 Beutha L2	N1 R1 Beutha L1 N2 L2 R2 Beutha	N1 L1 R1 Beutha N2 R2 Beutha L2	N1 R1 Beutha L1 N2 L2 R2 Beilharz blau	N1 N2 R1 Beilharz blau L1 R2 Beutha L2	N1 R1 Beilharz weiss L1 N2 L2 R2 Beutha	N1 L1 - N2 R1 Beilharz blau R2 Beutha

Keine indiviuelle Markierung der Rehe

* Individuum ab N2 ausgeschieden

13.4 LICHTTECHNISCHE ÜBERPRÜFUNG VON WILDWARNREFLEKTOREN (MODUL 4)

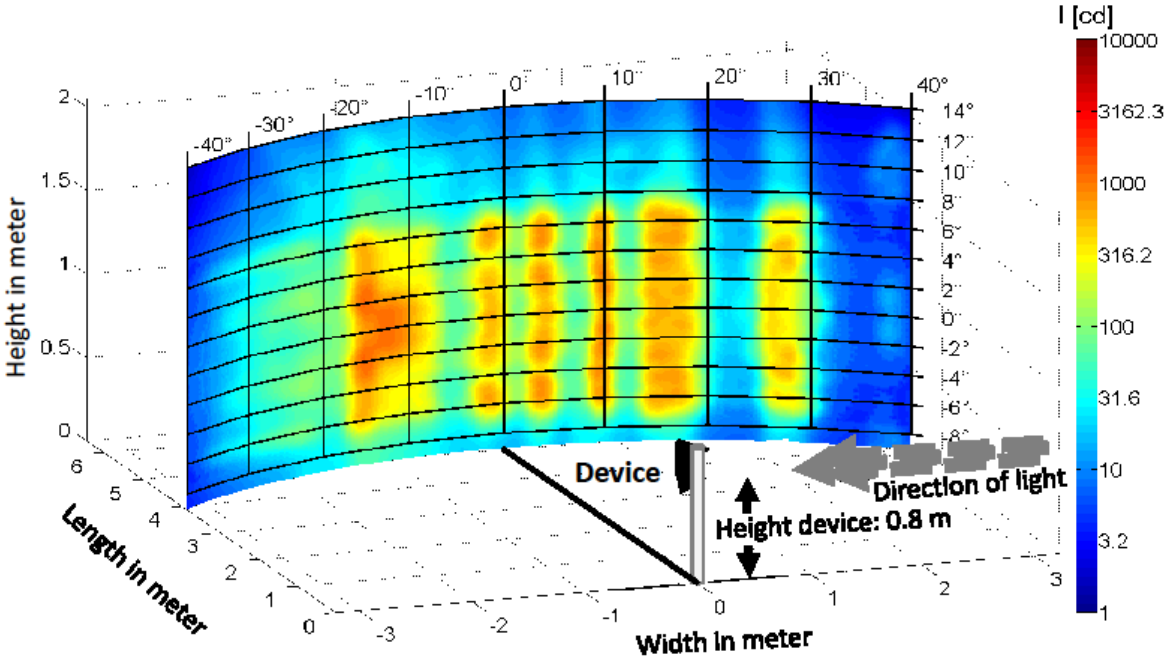


Abb. 111: Horizontale und vertikale Abstrahlung des Lichtes unter Laborbedingungen beispielhaft für ein Reflektormodell. Das Licht strahlt von rechts auf den Reflektor („device“), der in einer Höhe von 0,8 m montiert ist und leitet das Licht in den Halbraum. Die Farben symbolisieren die Spanne der Lichtintensität in Candela, die vom Reflektor ausgeht (blau bedeutet geringe Intensität, rot hohe).

13.5 LICHTWAHRNEHMUNG VON REHEN (MODUL 5)

Tabelle 16: Tabellarische Übersicht der Durchführung der vier Versuchsdurchläufe am IZW für Gehege LD & RIII.

VERSUCHSPHASE	DATUM	FUTTERBOX			AUFNAHMEPHASEN	
		links	Mitte	rechts	Phase 1	Phase 2
Normal 1 (N1)	16.06.-21.06.	keine Beleuchtung			20:30-23:30	01:30-04:30
Licht 1 (L1)	24.06.	Keine Beleuchtung (k)	Blau (b)	Weiß (w)	20:30-23:30	01:30-04:30
	25.06.	b	w	k	20:30-23:30	01:30-04:30
	26.06.	w	k	b	20:30-23:30	01:30-04:30
	27.06.	b	w	k	20:30-23:30	01:30-04:30
	28.06.	k	b	w	20:30-23:30	01:30-04:30
	29.06.	w	k	b	20:30-23:30	01:30-04:30
Normal 2 (N2)	02.07.-07.07.	keine Beleuchtung			20:30-23:45	01:00-03:45
Licht 2 (L2)	08.07.	b	w	k	20:30-23:45	01:00-03:45
	09.07.	w	k	b	20:30-23:45	01:00-03:45
	10.07.	k	b	w	20:30-23:45	01:00-03:45
	11.07.	w	b	k	20:30-23:45	01:00-03:45
	12.07.	b	k	w	20:30-23:45	01:00-03:45
	13.07.	k	w	b	20:30-23:45	01:00-03:45

Tabelle 17: Tabellarische Übersicht der Durchführung der vier Versuchsdurchläufe am IZW für Gehege GIVM & GIVR.

VERSUCHSPHASE	DATUM	FUTTERBOX			AUFNAHMEPHASEN	
		links	Mitte	rechts	Phase 1	Phase 2
Normal 1 (N1)	22.07.-28.07.	keine Beleuchtung			20:30-23:30	03:30-06:00
Licht 1 (L1)	29.07.	Keine Beleuchtung (k)	Weiß (w)	Blau (b)	20:30-23:30	03:30-06:00
	30.07.	w	b	k	20:30-23:30	03:30-06:00
	31.07.	b	k	w	20:30-23:30	03:30-06:00
	01.08.	w	k	b	20:30-23:30	03:30-06:00
	02.08.	k	b	w	20:30-23:30	03:30-06:00
	03.08.	b	w	K	20:30-23:30	03:30-06:00
	04.08.	k	w	b		
Normal 2 (N2)	05.08.-10.08.	keine Beleuchtung			20:30-23:45	03:30-06:00
Licht 2 (L2)	11.08.	w	b	k	20:30-23:45	03:30-06:00
	12.08.	b	k	w	20:30-23:45	03:30-06:00
	13.08.	k	w	b	20:30-23:45	03:30-06:00
	14.08.	b	w	k	20:30-23:45	03:30-06:00
	15.08.	w	k	b	20:30-23:45	03:30-06:00
	16.08.	k	b	w	20:30-23:45	03:30-06:00
	17.08.	b	w	k	20:30-23:45	03:30-06:00

Forstliche Versuchs-
und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg

Wonnhaldestraße 4
79100 Freiburg

Tel.: (0761) 4018-0
fva-bw@forst.bwl.de
www.fva-bw.de