



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Strassen ASTRA

Dokumentation

Ausgabe 2017 V1.00

Grunddurchlässigkeit von Nationalstrassen für Wildtiere

ASTRA 88013

ASTRA OFROU USTRA UVIAS

Impressum

Autor(en)

Marguerite Trocmé (ASTRA)
Dr. Kim Krause (Kaden & Partner AG, Frauenfeld)
Joggi Rieder (Kaden & Partner AG, Frauenfeld)

Herausgeber

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abteilung Strassennetze N
Standards und Sicherheit der Infrastruktur SSI
3003 Bern

Übersetzung

Sprachdienste ASTRA (Originalversion in Deutsch)
(französische Übersetzung und italienische Übersetzung)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von www.astra.admin.ch herunter geladen werden.

© ASTRA 2017

Abdruck – ausser für kommerzielle Nutzung – unter Angabe der Quelle gestattet

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	2
	Vorwort	5
	Zusammenfassung	6
	Résumé	8
	Abstract	10
1	Einleitung	13
1.1	Problemstellung	13
1.2	Verminderung der Barrierewirkung	13
2	Ermittlung der Grunddurchlässigkeit von zwei verschiedenen Autobahnabschnitten	15
2.1	Einleitung	15
2.2	Material & Methoden	15
2.2.1	Verwendeter Kamera-Typ	15
2.2.2	Versuchsaufbau	15
2.3	Untersuchungsstrecke der Autobahn A7, Abschnitt Kefikon – Kreuzlingen (TG)	16
2.3.1	Vorkommen von Wildtieren in der Umgebung der A7	17
2.4	Untersuchungsstrecke der Autobahn A1, Abschnitt Wiggertal – Aarau Ost (AG)	19
2.4.1	Vorkommen von Wildtieren in der Umgebung der A1	21
2.5	Ergebnisse	21
2.5.1	Fotofallenuntersuchung Autobahn A7, Abschnitt Kefikon – Kreuzlingen	21
2.5.2	Vorkommen von Wildtieren in der Umgebung der A7	25
2.5.3	Fotofallenuntersuchung Autobahn A1, Abschnitt Wiggertal – Aarau Ost	25
2.5.4	Vorkommen von Wildtieren in der Umgebung der A1	29
2.6	Methodenkritik	30
2.6.1	Untersuchungszeitraum	30
2.6.2	Technik Fotofallen	30
2.7	Vergleich der Durchlässigkeit der Autobahn A1 und A7	30
3	Untersuchung zur Wirkung eines provisorischen Blendschutzes als Optimierungsmassnahme	32
3.1	Einleitung	32
3.2	Material und Methoden	33
3.3	Ergebnisse	35
3.4	Diskussion	37
4	Ermittlung des Querungspotentials für Wildtiere an Nationalstrassen	38
4.1	Einleitung	38
4.2	Gutachterliche Bewertung durch Begehung	38
4.3	Erhebung der effektiven Durchlässigkeit mittels Fotofallen	38
4.4	Erfassung des Potentials zur Mitbenutzung mittels Luftbildanalyse	39
4.5	Ermittlung der Grunddurchlässigkeit mittels Bauwerksdurchlässigkeitsindex (BDI) ...	39
4.6	Validierung des Bauwerksdurchlässigkeitsindex mit Fotofallendaten	42
4.7	Vergleich der ermittelten Durchlässigkeit mit der Luftbildanalyse der KUBA Bewertung	43
4.8	Übersicht der Methoden zur Ermittlung des Querungspotentials	45
5	Massnahmen zur Optimierung Durchlässigkeit	46
5.1	Einleitung	46
5.2	Überführungen/ Brücken	46
5.2.1	Bodenbelag	46
5.2.2	Irritationsschutz	47
5.2.3	Strukturen für Kleintiere	47

5.3	Unterführungen	48
5.3.1	Bodenbelag	48
5.3.2	Strukturen für Kleintiere	48
5.3.3	Störungen.....	49
5.4	Gewässerdurchlässe.....	50
	Danksagung.....	51
	Glossar	52
	Literaturverzeichnis	53
	Auflistung der Änderungen.....	55

Vorwort

Das dichte Verkehrsinfrastrukturnetz der Schweiz bringt negative Auswirkungen für Natur und Landschaft mit sich. Nebst der Zerstörung von Lebensraum ist die Barrierewirkung ein weiteres schwerwiegendes Problem. Wird der Aktionsraum einer bestimmten Tierart aufgrund einer Barriere eingeschränkt, kann dies deren Populationsdichte verringern oder langfristig sogar das Überleben der Population gefährden. Um die Barrierewirkung zu mindern, werden kostenintensive Wildtierbrücken gebaut. Aber nicht nur diese spezifisch für Wildtiere gebaute Passagen, sondern für verkehrliche Zwecke errichtete Bauwerke (Brücken, Unterführungen, Gewässerdurchlässe, Viadukte, Tunnel) können den Tieren eine Querung ermöglichen. Der Frage, welchen Beitrag diese Bauwerke zur Grunddurchlässigkeit eines Streckenabschnitts leisten, wurde in der Vergangenheit wenig Beachtung geschenkt. Der vorliegende Bericht hat zum Ziel, Fragen zur Grunddurchlässigkeit von Autobahnen für Wildtiere aufzugreifen und Lösungsansätze aufzuzeigen.

Marguerite Trocmé Maillard

Fachbereichsleiterin Umwelt
Standards und Sicherheit der Infrastruktur
Abteilung Strassennetze

Zusammenfassung

Trotz Einzäunung der Autobahnen bleibt aufgrund der zahlreichen Querungsbauwerke (Brücken, Unterführungen, Gewässerdurchlässe, Viadukte, Tunnel) an Schweizer Nationalstrassen (NS) eine gewisse Grunddurchlässigkeit für Wildtiere aufrechterhalten. Die VSS Norm 640 692 „Faunaauswertungsmethoden“ bezeichnet die Grunddurchlässigkeit als „Eignung eines Verkehrswegs, von Tieren ohne besondere Vorkehrungen gequert werden zu können“. Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, Fragen zur Grunddurchlässigkeit eingezäunter NS für terrestrische Wildtiere aufzugreifen und Lösungsansätze aufzuzeigen.

Nach einer Einführung in die Auswirkungen von Verkehrsinfrastrukturen auf Wildtierewird in Kapitel 2 die Grunddurchlässigkeit von zwei verschiedenen Autobahnabschnitten ermittelt: Der Abschnitt Kefikon – Kreuzlingen der A7, welcher durch eine eher landwirtschaftliche geprägte Landschaft führt und einen relativ tiefen DTV aufweist, wird mit dem Abschnitt Wiggertal – Aarau Ost der A1, welcher durch eine stärker besiedelte Landschaft verläuft und einen relativ hohen DTV besitzt, verglichen. Die effektive Grunddurchlässigkeit wird in dieser Untersuchung ermittelt, indem an jedem vorhandenen Querungsbauwerk die querenden Wildtiere mit der Hilfe von selbstauslösenden Fotofallen mit Infrarotblitz 3 Wochen lang erfasst wurden. Dabei wurden nur Tiere gezählt, welche auch wirklich das Bauwerk gequert haben. Entlang der Autobahn A7 wurden 16 Gewässerdurchlässe, 25 Überführungen, 13 Unterführungen sowie drei spezifische Grünbrücken untersucht. Entlang der A1 umfasst die Untersuchung 8 Gewässerdurchlässe, 18 Überführungen und 16 Unterführungen. Die A7 haben im Untersuchungszeitraum mit der Hilfe von vorhandenen Querungsbauwerken insgesamt 1802 Tiere gequert, darunter 7 verschiedene Säugetierarten (Rotfuchs, Feldhase, Dachs, Reh, Marder, Wildschwein und Biber). Der Rotfuchs benutzte ca. 85 % der Bauwerke, Marder und Dachs querten 30 %, Reh und Feldhase 20 %, das Wildschwein benutzte 3 der Bauwerke. Die A1 haben mit der Hilfe von vorhandenen Querungsbauwerken 876 Tiere gequert, darunter 4 Säugetierarten (Rotfuchs, Dachs, Marder, Reh). Der Rotfuchs benutzte 85 % der Bauwerke, Marder 37 %, Dachs 13 %, das Reh benutzte nur ein einziges Bauwerk. Betrachtet man die durchschnittliche Anzahl Wildtierquerungen pro Bauwerk zeigt sich, dass Bauwerke der A7 doppelt so häufig (n=34) von Wildtieren verwendet wurden als Bauwerke der A1 (n=17). Verschiedene Ursachen für die unterschiedliche Durchlässigkeit der beiden untersuchten Streckenabschnitte kommen in Frage: Entlang der A1 ist der siedlungsgeprägte Flächenanteile höher als an der A7 und teilweise verläuft parallel zur A1 eine Kantonstrasse. Zudem ist das Verkehrsaufkommen (DTV) der A1 um Faktor 4 höher als an der A7. Weitere Faktoren könnten unterschiedliche Bauwerksmasse bzw. ein anderer Populationsdruck sein.

Kapitel 3 beschreibt eine Untersuchung zur Wirkung eines provisorischen Blendschutzes an einem Brückenbauwerk der A1. Das untersuchte Brückenbauwerk erfüllt alle Kriterien einer geeigneten Querungsmöglichkeit (beidseits grenzt Wald an, kaum Störungen, beidseits Rehpopulationen vorhanden); dennoch konnten keine Querungen von Rehen beobachtet werden. Da die Autobahn A1 auch nachts stark befahren ist, wurde vermutet, dass die Lichtemissionen des Verkehrs die Rehe davon abhalten könnten, die Brücke zu queren. Die ca. einjährige Überwachung des Bauwerks mit Infrarot-Fotofallen hat gezeigt, dass der installierte Blendschutz aus OSB-Holzplatten die Attraktivität für Rehe nicht erhöht hat. Der Grund hierfür könnte sein, dass zwar die Lichtemissionen vermindert wurden, nicht aber die Lärmemissionen des Verkehrs. Der Blendschutz-Versuch könnte einen Hinweis darauf geben, dass der Erfolg von Optimierungsmassnahmen an bestehenden Querungsbauwerken von der Umgebung und von den Verkehrszahlen der Autobahn abhängig ist.

Kapitel 4 stellt vier verschiedene Methoden für die Bewertung des Querungspotentials für Wildtiere von bestehenden Querungsbauwerken vor: Gutachterliche Bewertung durch Begehung, Erhebung der effektiven Durchlässigkeit mittels Fotofallen, Erfassung des Potentials zur Mitbenutzung mittels Luftbildanalyse sowie die Ermittlung der Grunddurchlässigkeit mit der Hilfe eines Bauwerksdurchlässigkeitsindex. Der Vergleich der ermittelten Durchlässigkeit zweier Streckenabschnitte mit der Luftbildanalyse zeigt,

dass die meisten Bauwerke, welchen aufgrund der Luftbildanalyse eine potentielle Bedeutung für die Fauna zugesprochen wurde, sowohl hohe Querungsraten von Tieren als auch einen hohen Durchlässigkeitsindex aufweisen.

Kapitel 5 stellt Massnahmen zur Optimierung der Durchlässigkeit an bestehenden Querungsbauwerken (Überführungen, Unterführungen und Gewässerdurchlässe) kurz vor. Die Wahrscheinlichkeit der Benutzung der verschiedenen Bauwerkstypen durch die Fauna steigt, je naturnaher der Bodenbelag ist, je mehr Kleinstrukturen vorhanden sind, und je geringer Störungen auf bzw. innerhalb des Bauwerks sind.

Résumé

Malgré les autoroutes clôturées, les nombreux ouvrages de franchissement (ponts, passages inférieurs, ponceaux, viaducs, tunnels) situés aux abords des routes nationales suisses (RN) permettent le maintien d'une certaine perméabilité de base pour la faune. La norme VSS 640 692, *Analyse faunistique*, définit la perméabilité de base comme « la capacité d'une voie de circulation à être franchie par la faune sans mesures spécifiques ». Le présent travail vise à appréhender les questions liées à la perméabilité de base des autoroutes clôturées pour la faune terrestre et à mettre en évidence des ébauches de solutions.

Après une introduction à l'impact sur la faune des infrastructures de transport, le chapitre 2 détermine la perméabilité de base de deux tronçons autoroutiers : le tronçon Kefikon – Kreuzlingen de l'A7, qui traverse un paysage plutôt agricole et présente un TJM relativement bas, est comparé au tronçon Wiggertal – Aarau Est de l'A1, lequel traverse un paysage plus densément peuplé et présente un TJM relativement élevé. La présente étude a déterminé la perméabilité de base réelle comme suit : à chaque ouvrage de franchissement existant, pendant trois semaines, des pièges photographiques avec flash à infrarouge ont photographié les animaux qui l'ont traversé. Seuls ont été comptés les animaux ayant réellement franchi l'ouvrage. Sur l'autoroute A7, l'analyse a porté sur 16 ponceaux, 25 passages supérieurs, 13 passages inférieurs et trois ponts de verdure spécifiques. Sur l'autoroute A1, elle a concerné 8 ponceaux, 18 passages supérieurs et 16 passages inférieurs. Pendant la période d'évaluation, 1 802 animaux ont franchi l'A7 à l'aide d'ouvrages de franchissement existants. Ces 1 802 animaux appartenaient à sept espèces de mammifères : le renard, le lièvre des champs, le blaireau, le chevreuil, la martre, le sanglier et le castor. Le renard a utilisé environ 85 % des ouvrages d'art, la martre et le blaireau en ont utilisé 30 %, le chevreuil et le lièvre des champs 20 % et le sanglier a utilisé 3 ouvrages. En tout, 876 animaux ont franchi l'A1 à l'aide d'ouvrages de franchissement existants. Ces 876 animaux appartenaient à quatre espèces de mammifères : le renard, le blaireau, la martre et le chevreuil. Le renard a utilisé 85 % des ouvrages d'art, la martre 37 %, le blaireau 13 % et le chevreuil a utilisé un seul ouvrage. L'examen du nombre moyen de traversées par ouvrage d'art montre que les animaux ont utilisé les ouvrages de l'A7 deux fois plus souvent ($n=34$) que ceux de l'A1 ($n=17$). Plusieurs facteurs pourraient expliquer la différence de perméabilité entre les deux tronçons examinés : la zone urbanisée est plus importante le long de l'A1 que de l'A7, et une route cantonale longe une partie de l'A1. En outre, le volume du trafic (TJM) est quatre fois plus important sur l'A1 que sur l'A7. Enfin, les dimensions différentes des ouvrages d'art ou encore les différences de pression de population de la faune pourraient constituer d'autres facteurs possibles.

Le chapitre 3 décrit une étude portant sur l'efficacité d'un dispositif provisoire de protection contre l'éblouissement des phares installé sur un pont de l'A1. Malgré le fait que le pont en question remplissait tous les critères garants de la possibilité de franchissement (forêt limitrophe des deux côtés, absence quasi-totale de dérangements, population de chevreuils présente de part et d'autre du pont), on n'avait pu y observer aucun franchissement par un chevreuil. Vu l'importance de la circulation nocturne sur l'autoroute A1, on a supposé que les émissions lumineuses du trafic empêchaient les chevreuils de traverser le pont. Les pièges photographiques infrarouge utilisés pendant environ un an pour surveiller le pont ont montré que la protection contre la lumière en panneaux OSB qui y avait été installée n'a pas augmenté l'attrait du pont pour les chevreuils. Cela tient peut-être au fait que, malgré la diminution des émissions lumineuses, les émissions sonores liées au trafic sont restées inchangées. On pourrait déduire de cette étude que le succès des mesures d'optimisation des ouvrages de franchissement existants dépend de l'environnement et des données chiffrées du trafic autoroutier.

Le chapitre 4 présente quatre méthodes différentes d'évaluation du potentiel de franchissement par la faune offert par des ouvrages de franchissement existants : rapport d'expertise sur la base d'une visite des lieux, recensement de la perméabilité effective par le biais de pièges photographiques, saisie du potentiel d'utilisation de l'ouvrage par la faune via l'analyse de photos aériennes et calcul de la perméabilité de base au moyen d'un indice

de perméabilité d'ouvrage. La comparaison entre la perméabilité des deux tronçons et l'analyse des photos aériennes montre que, dans la plupart des cas, les ouvrages jugés significatifs pour la faune à l'issue de l'analyse des photos, présentent non seulement un nombre important de traversées faunistiques, mais également un index de perméabilité élevé.

Le chapitre 5 présente rapidement des mesures d'optimisation de la perméabilité des ouvrages de franchissement existants (passages supérieurs, passages inférieurs et ponceaux). La probabilité d'utilisation par la faune des différents types d'ouvrage augmente en fonction du caractère naturel du revêtement, du nombre de petites structures offerts dans le passage et de l'absence de dérangements sur ou dans l'ouvrage.

Abstract

Although Swiss motorways are fenced in, there often remains some connectivity for some wildlife species thanks to the existence of numerous crossing structures such as bridges, underpasses, water outlets, viaducts and tunnels. Standard 640 692, "Fauna Survey Methods", of the Swiss Association of Road and Traffic Experts (VSS), defines basic connectivity as the possibility for wildlife to cross a road without engaging specific measures. The aim of this report is to identify the potential basic connectivity of fenced in motorways and to show possible improvements.

The report begins with an introduction to the impacts of traffic infrastructure on wildlife, then in Chapter 2 it examines the basic connectivity of two motorway stretches. A comparative study of two motorway stretches is made: The A7 from Kefikon to Kreuzlingen, which has a relatively low average daily traffic volume and runs through a farmland landscape and, and the A1 from Wiggertal to Aarau East, which runs through a more densely populated area with a relatively high average daily traffic volume. In order to determine the basic connectivity of these two stretches, the number of wild animals using the crossing structures along each stretch was recorded with the aid of self-triggering cameras equipped with infrared flash devices over a period of 3 weeks. For the purposes of this study, only those animals were counted that actually crossed over the motorway via the respective structures. On the stretch of the A7, 16 water outlets, 25 overpasses, 13 underpasses and three specific "green bridges" were included in the study, while on the stretch of the A1, cameras were set up at 8 water outlets, 18 overpasses and 16 underpasses. On the A7, a total of 1,802 animals, including foxes, hares, badgers, roe deer, martens, wild boar and beavers, crossed the motorway via the various available structures during the observation period. Foxes used around 85 percent of the structures, while martens and badgers used 30 percent, deer and hares 20 percent, and wild boars used three of the corridors. On the A1, a total of 876 animals, including 4 species of mammals (foxes, badgers, martens and roe deer), crossed the motorway via the various available structures. Here, foxes used 85 percent of the structures, martens 37 percent, badgers 13 percent and deer just one of the corridors. If we take the average number of wildlife crossing via each structure, we find that the crossing structures along the stretch of the A7 were used twice as frequently ($n=34$) as those along the A1 stretch ($n=17$). There are various possible reasons for the discrepancy between the degrees of use of crossing structures on the two stretches in the study: along the A1, the impact of urbanisation is greater than that along the A7, and stretches of a cantonal road also run parallel to the A1. In addition, the average daily traffic volume on the A1 is 4 times higher than that on the A7. Other factors could include different crossing structure dimensions or wildlife population pressures.

Chapter 3 describes a test study of a provisional glare protection against headlights on a bridge across the A1. The bridge met all the criteria for a suitable roe deer crossing (forest on both sides, very few sources of disturbance, roe deer populations on both sides, etc.), yet no crossings by deer were registered during the first part of the study. Because traffic on the A1 motorway is also heavy at night, it was assumed that disturbance from headlights could be discouraging the roe deer from crossing the bridge. But as the almost year-long study using self-triggering infrared cameras showed, the installation of the screens against headlights did not induce roe deer crossings. One of the possible reasons for this is that, while the boards used for the screens reduced glare, they were unable to reduce traffic noise. The above experiment shows that the success of measures aimed at optimising existing crossings for wildlife may also depends on the surroundings and the traffic volume on the motorway.

Chapter 4 presents four different methods for assessing the potential wildlife connectivity offered by existing crossing structures: expert evaluation (on-site inspection); collection of information concerning effective use by wildlife with the aid of specially equipped cameras; assessment of potential use through a GIS analysis; and calculation of suitability with a special penetrability index. The comparison between the recorded use of wildlife crossings

on the two stretches of motorway, the GIS analysis of potential significance for fauna and the penetrability index shows a very good concordance between these three methods.

Chapter 5 briefly describes measures for optimising the suitability of existing structures (bridges, underpasses, water outlets) for use as wildlife passages. The probability of use of the various structures by wildlife increases when the ground surface is natural, good guidance is provided by adding small natural structures and disturbances on / around the structure is kept to a minimum.

Riassunto

Nonostante la presenza di recinzioni lungo le strade nazionali svizzere (SN), i numerosi manufatti di attraversamento (ponti, sottopassi, scalatori idraulici, viadotti, gallerie) consentono una certa permeabilità intrinseca per la fauna. La norma VSS 640 692 «Faunaanalysemethoden» (Metodi di analisi della fauna, non disponibile in italiano) definisce tale permeabilità come la caratteristica di una via di comunicazione di poter essere attraversata dalla fauna selvatica senza il ricorso a particolari misure protettive. Il presente testo affronta gli aspetti legati alla permeabilità intrinseca per la fauna terrestre delle autostrade recintate e illustra possibili soluzioni.

Dopo un'introduzione dedicata all'impatto delle infrastrutture di trasporto sulla fauna, il capitolo 2 analizza e confronta la permeabilità intrinseca di due tratti autostradali: Kefikon – Kreuzlingen sulla A7, che attraversa una zona prevalentemente agricola e registra un TGM (traffico giornaliero medio) relativamente basso, e Wiggertal – Aarau Est sull'A1, che si snoda in un'area più densamente popolata e presenta un TGM relativamente elevato. La permeabilità intrinseca effettiva è stata determinata riprendendo per tre settimane tramite fototrappole ad autoscatto e raggi infrarossi posizionate presso ogni manufatto presente gli animali che li attraversavano. Sulla A7 sono stati monitorati 16 scalatori idraulici, 25 cavalcavia, 13 sottopassi e 3 ponti verdi specifici; sulla A1, 8 scalatori idraulici, 18 cavalcavia e 16 sottopassi. Durante il periodo di osservazione, 1802 animali, tra cui sette specie diverse di mammiferi (volpe rossa, lepre comune, tasso, capriolo, martora, cinghiale e castoro) hanno attraversato la A7 mediante le opere esistenti: la volpe rossa ne ha utilizzate circa l'85%, martora e tasso il 30%, capriolo e lepre comune il 20% e il cinghiale 3. Sulla A1, invece, gli animali registrati sono stati 876, tra cui quattro specie di mammiferi (volpe rossa, tasso, martora e capriolo). La volpe rossa ha transitato sull'85% dei manufatti, la martora sul 37%, il tasso sul 13% e il capriolo soltanto su 1. Analizzando la media di attraversamenti su ciascuno di essi, emerge che sulla A7 gli animali hanno fatto uso delle strutture con una frequenza doppia ($n=34$) rispetto alla A1 ($n=17$). La differenza di permeabilità fra i due tratti esaminati può essere riconducibile a vari fattori: una maggiore urbanizzazione delle superficie lungo la A1 rispetto alla A7, la presenza di una strada cantonale parallela a parte della A1, il TGM sulla A1 quattro volte superiore che sulla A7, nonché la differenza di dimensioni delle opere e di pressione della fauna.

Il capitolo 3 riporta uno studio dedicato all'efficacia di un dispositivo temporaneo di protezione antiabbagliamento su un ponte dell'A1. Nonostante il manufatto presenti tutte le caratteristiche favorevoli all'attraversamento faunistico (assenza pressoché totale di fonti di disturbo, presenza di foresta limitrofa e di popolazione di caprioli su entrambi i lati), non sono stati registrati passaggi di questi animali. L'intensa circolazione notturna sulla A1 ha fatto supporre che a dissuaderli dall'attraversare il ponte fossero le luci dei veicoli. Le fototrappole a infrarossi, operative durante circa un anno, hanno dimostrato che il dispositivo installato, consistente in pannelli di legno antiabbagliamento OSB, non ha reso il ponte più attrattivo per i caprioli. Ciò è dovuto probabilmente al fatto che le emissioni luminose sono state ridotte, ma non quelle sonore. Da questo esperimento si potrebbe dedurre che il successo delle misure di ottimizzazione sugli attraversamenti esistenti è legato all'ambiente circostante e alla densità di traffico autostradale.

Il capitolo 4 illustra quattro diversi metodi di valutazione del potenziale di attraversamento nei manufatti: sopralluogo e relativa perizia, rilevazione della permeabilità effettiva mediante fototrappole, misurazione del potenziale di utilizzo da parte della fauna tramite analisi di riprese aeree e calcolo della permeabilità intrinseca con l'ausilio di un apposito indice del manufatto. Il raffronto tra la permeabilità dei due tratti esaminati mediante analisi fotografiche dimostra che la maggior parte delle strutture ritenute potenzialmente interessanti per la fauna sulla scorta delle immagini aeree non registrano solo un numero consistente di attraversamenti faunistici, ma anche un indice di permeabilità elevato.

Il capitolo 5 si sofferma brevemente sulle misure volte a ottimizzare la permeabilità dei manufatti in parola (cavalcavia, sottopassi e scalatori idraulici). La probabilità di un loro utilizzo da parte della fauna aumenta in funzione dei seguenti elementi: carattere naturale del rivestimento, presenza di piccole strutture e assenza di fonti di disturbo sulle e nelle opere.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Mit einem Durchschnittswert von 2.7 km pro Quadratkilometer besitzt die Schweiz heute eines der dichtesten Strassennetze Europas [1]. Im dicht besiedelten Schweizer Mittelland sind Spitzenwerte von 6 bis 7 km/km² keine Seltenheit. Diese Verkehrsinfrastruktur bringt negative Auswirkungen für Natur und Landschaft mit sich. Denn nicht nur wir Menschen haben einen Drang nach Mobilität, auch Tiere benötigen zur Befriedigung ihrer Bedürfnisse (Nahrung, Fortpflanzung, Zufluchtsorte usw.) im saisonalen Verlauf verschiedenartige Lebensräume. Für Tiere ist nicht nur die Zerstörung ihrer Lebensräume durch den Bau der Verkehrsinfrastruktur ein schwerwiegendes Problem, sondern auch deren Barrierewirkung (*Abbildung 1*). Ist der Aktionsraum einer bestimmten Art aufgrund einer Barriere eingeschränkt, kann dies zu Lebensraumverlust, Verkehrsmortalität, Trennung von (Teil-) Lebensräumen und zur Isolierung von Populationen führen. Längerfristig können diese Wirkungen die Populationsdichten verringern sowie langfristig auch das Überleben einer Population gefährden [2]. Es verwundert daher nicht, dass der Verlust an Lebensräumen sowie deren Zerschneidung weltweit als Hauptgrund für den Rückgang der Artenvielfalt anerkannt ist [3].

Im Jahr 2015 sind über 20 000 kleine und mittelgrosse Säugetiere dem Strassenverkehr zum Opfer gefallen, über 60 Personen wurden dabei verletzt. Alleine der Sachschaden beläuft sich jährlich auf über 25 Millionen Franken. Die Einzäunung der Nationalstrassen 1. und 2. Klasse vermindert zwar das Unfallrisiko für Mensch und Tier, erhöht aber gleichzeitig die Barrierewirkung. Die Vernetzung zwischen Lebensräumen und somit der genetische Austausch zwischen Tierpopulationen wird dadurch massiv beeinträchtigt [4]. Um diesen negativen Folgen entgegenzuwirken, müssen vielerorts kostenintensive wildtierspezifische Querungsbauwerke gebaut werden. Aber nicht nur spezifisch für Wildtiere gebaute Querungsmöglichkeiten, sondern auch bereits bestehende, vorrangig dem Verkehr zugesprochene Querungsbauwerke (Brücken, Unterführungen, Gewässerdurchlässe), können den Tieren eine Querung ermöglichen. Der Frage, welchen Beitrag diese Bauwerke zur Grunddurchlässigkeit eines Streckenabschnitts leisten, wurde in der Vergangenheit wenig Beachtung geschenkt. Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, Fragen zur Grunddurchlässigkeit von Autobahnen für Wildtiere aufzugreifen und zu Lösungsansätze aufzuzeigen.

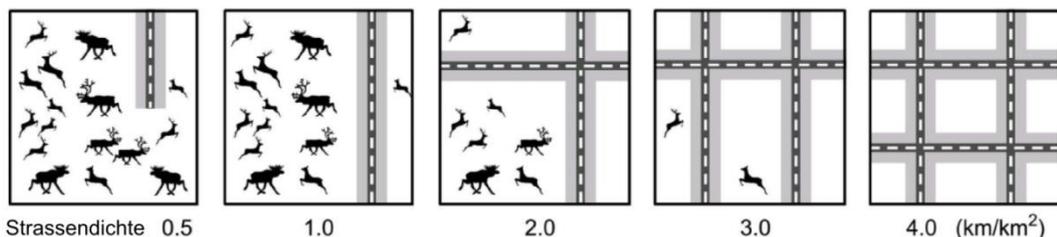


Abb. 1 Das Strassennetz zerschneidet die einst zusammenhängende Kulturlandschaft zu einzelnen Fragmenten. Einzelne Habitatfragmente können zu klein oder zu isoliert werden um das Überleben einer Population zu sichern. Der kritische Schwellenwert der Strassendichte ist artspezifisch und abhängig von der Landschafts- und Verkehrscharakteristik ([5] angepasst).

1.2 Verminderung der Barrierewirkung

Entsprechend dem Landschaftskonzept Schweiz [6] und der Strategie Biodiversität Schweiz [7] muss die Barrierewirkung bestehender Strassen vermindert werden. Neben der punktuellen Erhöhung der Durchlässigkeit von Nationalstrassen durch kostenintensive Wildtierpassagen (Grünbrücken) lässt sich zusätzlich der Barriereeffekt durch eine relativ

kostengünstige, faunaspezifische Optimierung der vorhandenen Querungsbauwerke entlang eines Trassees erreichen.

Bei verschiedenen Gelegenheiten wurden bestehende Querungsbauwerke von lokaler Bedeutung, welche der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung zugesprochen sind, optimiert, damit sie attraktiver für Wildtiere werden. Ein gutes Beispiel stellt die Wirtschaftswegüberführung Fohlenhof über die A13 dar (siehe Abb. 2). Bei dieser wurden ein Trottoir mit lockerem Boden und Vegetation sowie ein Blendschutz, welcher Lichtemissionen des darunter verlaufenden Strassenverkehrs abschirmt, angebracht.



Abb. 2 Wirtschaftswegüberführung Fohlenhof (A13) mit festem Fahrbelag, aber einem bewachsenen Trottoir sowie einem Blendschutz (Foto: M. Trocmé).

Folgende Fragen sind bei der Verminderung der Barrierewirkung von Nationalstrassen von entscheidender Bedeutung:

Wie lässt sich das Potenzial zur Mitbenutzung durch die Fauna von Bauwerken beurteilen?

- Wie häufig und von welchen Tierarten werden vorhandene Querungsbauwerke benutzt?
- Welches sind die Faktoren, die eine Mitbenutzung bestimmen?
- Können daraus Empfehlungen für Aufwertungsmassnahmen abgeleitet werden?
- Welche Bauwerke eignen sich aufgrund ihrer Eigenschaften besonders für eine Optimierung?

Ziel des vorliegenden Berichts ist die Beantwortung dieser wichtigen Fragen.

2 Ermittlung der Grunddurchlässigkeit von zwei verschiedenen Autobahnabschnitten

2.1 Einleitung

Entsprechend VSS Norm 640 692 „Faunaauswertungsmethoden“, bezeichnet die Grunddurchlässigkeit „die Eignung eines Verkehrswegs, von Tieren ohne besondere Vorkehrungen gequert werden zu können“. Bei umzäunten Nationalstrassen bedeutet dies, dass die Grunddurchlässigkeit nicht nur von wildtierspezifischen Bauwerken wie z. B. Grünbrücken abhängig ist, sondern in besonderem Masse von Gewässerquerungen und Talbrücken, sowie von Querungsbauwerken, welche in erster Linie dem Verkehr zugesprochen wurden (Über- bzw. Unterführungen). Die Durchlässigkeit jedes einzelnen Querungsbauwerks eines Streckenabschnittes bildet in der Gesamtheit die Grunddurchlässigkeit eines Streckenabschnittes.

Entlang eines Streckenverlaufs ändert nicht nur die Lebensraumqualität (Landwirtschaft, Wald, Siedlung) in der Umgebung der Bauwerke, sondern auch die erstellten Bauwerkstypen (Talbrücke, Über- bzw. Unterführung, Gewässerdurchlass) variieren. Dazu kommt, dass bei der Erstellung von Querungsbauwerken, abhängig ihres Baujahrs und/oder ihrer Zuständigkeiten, nicht immer das volle Potenzial für eine Mitbenutzung durch die Fauna ausgeschöpft wurde (z. B. Installation einer Berme bei Gewässerdurchlässen).

Im Folgenden wird eine Untersuchung zur Durchlässigkeit vorhandener Kunstbauwerke von zwei verschiedenen Streckenabschnitten für Wildtiere vorgestellt. In der Untersuchung wurde der in grösstenteils ländlicher Umgebung gelegene Abschnitt der Autobahn A7 zwischen Kefikon – Kreuzlingen mit dem dichter besiedelten und wesentlich stärker befahrenen Abschnitt der Autobahn A1 zwischen Wiggertal – Aarau Ost verglichen.

Die durchgeführte Fotofallenuntersuchung hatte zum Ziel, herauszufinden wie häufig und von welchen Wildtierarten die vorhandenen Bauwerke der beiden abgezäunten Streckenabschnitte zur Querung benutzt werden. Hierfür wurden automatisch auslösende Fotofallen mit Infrarot-Blitz verwendet.

2.2 Material & Methoden

2.2.1 Verwendeter Kamera-Typ

Für die Überwachung der Querungsbauwerke wurden Fotofallen mit Infrarotblitz vom Typ Cuddeback Attack IR gewählt. Der verwendete Blitztyp ist unsichtbar und somit uneingeschränkt im Verkehrsumfeld verwendbar. Der verwendete Kamertyp besitzt eine Auslöseverzögerung (*Trigger Speed*) von 0.25 Sekunden und eine Verzögerung bis zur nächst möglichen Aufnahme (*Recovery Speed*) von 1 Sekunde.

2.2.2 Versuchsaufbau

Um herauszufinden, welche Wildtierarten mit welcher Häufigkeit bestehende Kunstbauwerke nutzen um die Autobahn zu überqueren, wurde an beiden Enden eines Bauwerks jeweils eine Fotofalle installiert. Bei grösseren Bauwerken wurden jeweils so viele Kameras installiert, wie zur Abdeckung des gesamten Bauwerks notwendig waren. Bei Überführungen wurden die Kameras meist am Brückengeländer befestigt. Bei Unterführungen wurden die Kameras an extra dafür eingeschlagenen Holzpfosten befestigt. Die Kameras wurden in einer Höhe von 20–60 cm senkrecht zum Boden befestigt. Somit war der Erfassungsbereich der Kameras ideal ausgerichtet um sowohl grössere (z. B. Reh) als auch kleinere (z. B. Marder) Wildtiere zu erfassen. Gleichzeitig war die Privatsphäre von Passanten gewährleistet, da höchstens deren Beine fotografiert wurden. Alle Kameras wurden mit Hilfe einer Stahlkette mit Vorhängeschloss gegen

Diebstahl gesichert. Die Kameras wurden so eingestellt, dass nur Fotos bei Dunkelheit gemacht wurden.



Abb. 3 Beispiele für die Installation der Fotofallen an einem Gewässerdurchlass, einer Überführung und einer Unterführung.

2.3 Untersuchungsstrecke der Autobahn A7, Abschnitt Kefikon – Kreuzlingen (TG)

Die Untersuchungsstrecke umfasste rund 27 km entlang der Autobahn A7 im Kanton Thurgau zwischen Kefikon und Kreuzlingen. Diese wird bei Frauenfeld pro Tag durchschnittlich von 48 000 Fahrzeugen (DTV 2015) befahren. Nach der Abzweigung der A1 in Richtung St. Gallen sind es bei Müllheim noch ca. 18 000 Fahrzeuge und bei Kreuzlingen noch ca. 12 000 Fahrzeuge täglich [8]. Der gesamte Streckenabschnitt ist von einem Wildzaun umgeben. Auf diesem Abschnitt wurden alle vorhandenen Kunstbauwerke, welche Wildtieren eine Querung ermöglichen können, untersucht. Dies umfasste 16 Gewässerdurchlässe, 25 Überführungen, 13 Unterführungen sowie drei spezifische Wildtierüberführungen. Der mittlere Abstand der Querungsmöglichkeiten beträgt ca. 450 m. Der maximale bzw. minimale Abstand beträgt ca. 1600 m bzw. ca. 10 m. Drei Wildtierkorridore von überregionaler Bedeutung queren die Autobahn im Bereich Pfy (TG8), Müllheim (TG 15) sowie im Bereich Kreuzlingen (TG 19).



Abb. 4 Beispiele untersuchter Querungsbauwerke an der A7 (v.l.n.r. N7-753, N7-740, N7-750, N7-756)

2.3.1 Vorkommen von Wildtieren in der Umgebung der A7

Um abzuschätzen, welche Wildtierarten potentiell die Autobahn queren könnten, wurde das Vorkommen von Wildtieren in der Umgebung der A7 anhand von Verbreitungskarten des Schweizer Zentrums für die Kartographie der Fauna (CSCF) in Erfahrung gebracht. Die Verbreitungskarten zeigen anhand von 5x5 km Rasterquadraten das Vorkommen der verschiedenen Wildtiere.

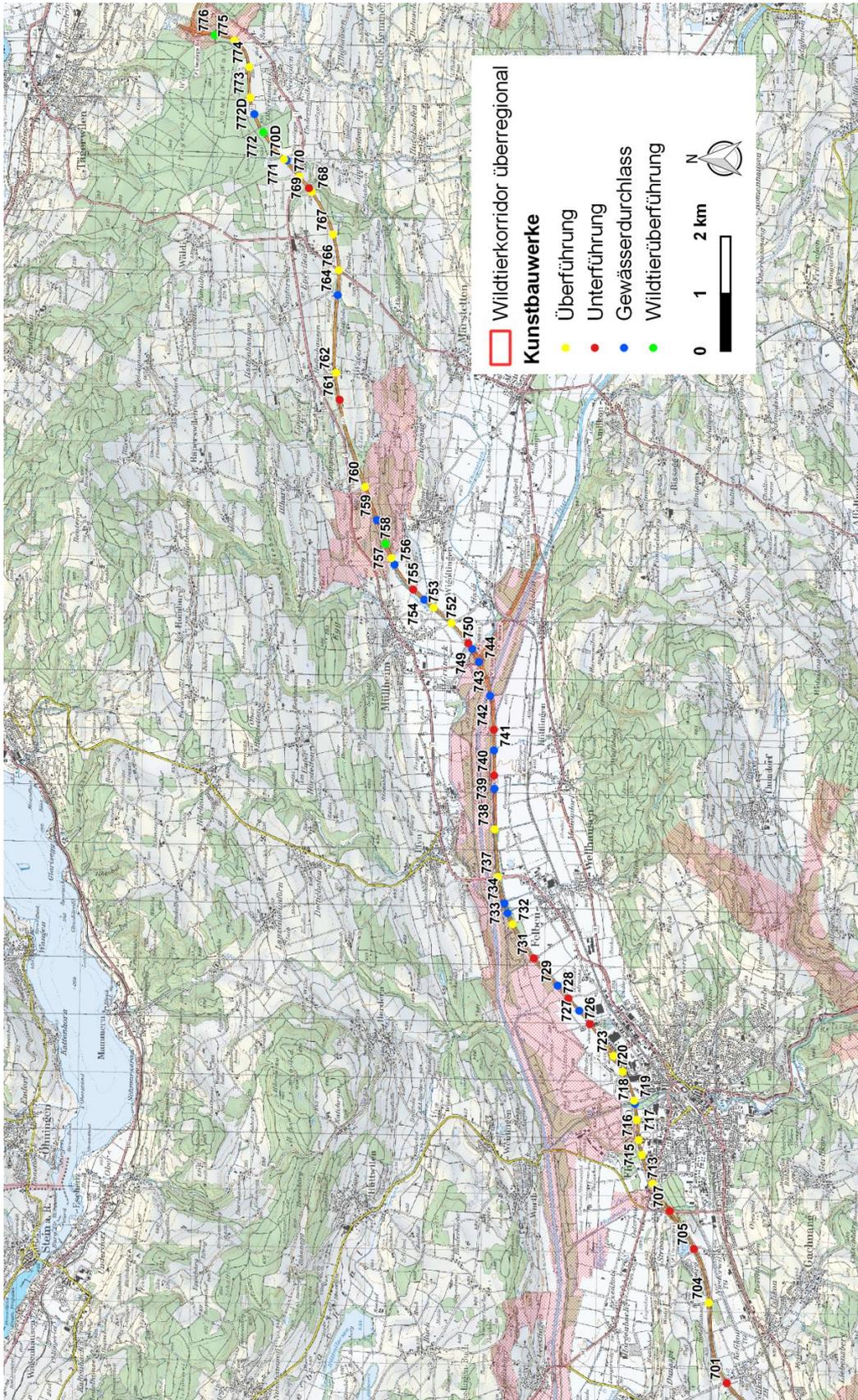


Abb. 5 Übersichtskarte der Untersuchungstrecke an der A7, Abschnitt Kefikon–Kreuzlingen. Dargestellt sind die verschiedenen Bauwerkstypen sowie die kreuzenden Wildtierkorridore überregionaler Bedeutung.

2.4 Untersuchungsstrecke der Autobahn A1, Abschnitt Wiggertal – Aarau Ost (AG)

Die Untersuchungsstrecke umfasste insgesamt ca. 22 km entlang der Autobahn A1 im Kanton Aargau/Solothurn. Dieser Streckenabschnitt wurde im Jahr 2014 täglich von 81'800 Fahrzeugen befahren [8]. Der gesamte Autobahnabschnitt ist von einem Wildzaun umgeben. Auf diesem Abschnitt wurden alle vorhandenen Bestandesbauwerke, welche Wildtieren eine Querung ermöglichen können, untersucht. Dies umfasste 8 Gewässerdurchlässe, 18 Überführungen und 16 Unterführungen (Beispiele siehe Abb. 6). Der mittlere Abstand der Querungsmöglichkeiten beträgt ca. 500 m. Der maximale bzw. minimale Abstand beträgt ca. 1600 m bzw. ca. 80 m. Zwei Wildtierkorridore von überregionaler Bedeutung queren die Autobahn im Bereich Suret (AG 6) sowie im Bereich Oftringen (AG 17/SO31) [38]



Abb. 6 Beispiele untersuchter Querungsbauwerke an der A1 (v.l.n.r. N1-106, N1-108, N1-120, N1-115).

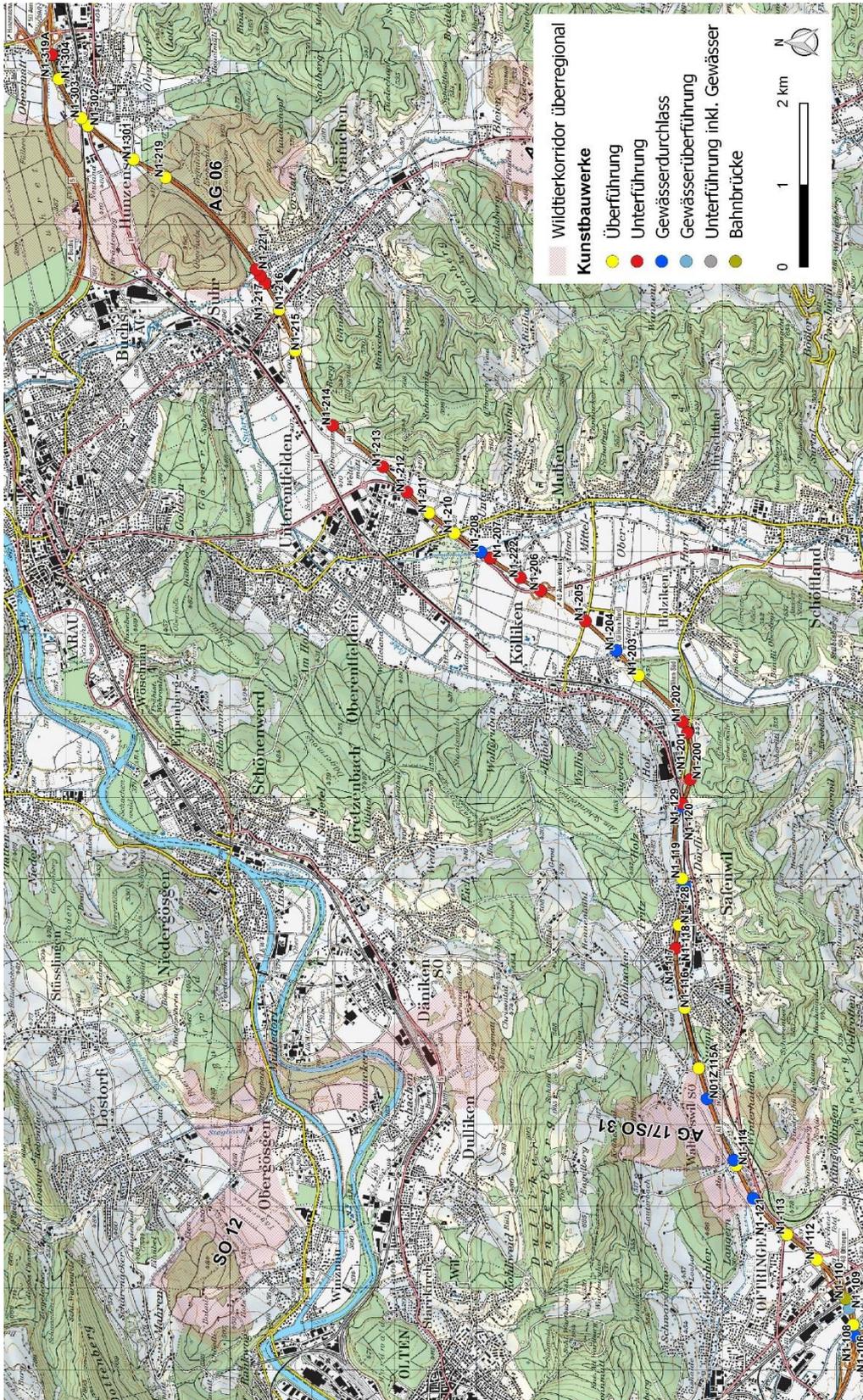


Abb. 7 Übersichtskarte der Untersuchungstrecke an der A1, Abschnitt Wiggertal – Aarau Ost. Dargestellt sind die verschiedenen Bauwerkstypen sowie die kreuzenden Wildtierkorridore von nationaler Bedeutung.

2.4.1 Vorkommen von Wildtieren in der Umgebung der A1

Um abzuschätzen, welche Wildtierarten potentiell die Autobahn queren könnten, wurde das Vorkommen von Wildtieren in der Umgebung der A1 in Erfahrung gebracht. Hierfür wurden die Zahlen der Jagdstrecke sowie des Fallwildes in den angrenzenden Jagdrevieren berücksichtigt. Im Kanton Aargau war dies die Jagdstatistik aus dem Jahr 2014, im Solothurn die Jagdstatistik aus dem Jahr 2013.

2.5 Ergebnisse

2.5.1 Fotofallenuntersuchung Autobahn A7, Abschnitt Kefikon – Kreuzlingen

Insgesamt wurden 1802 Tiere, darunter sieben verschiedene Säugetierarten, beim queren der A7 mithilfe vorhandener Kunstbauwerke durch Fotofallen erfasst. Dies waren: Rotfuchs (1217), Feldhase (204), Dachs (220), Reh (168), Marderartige (59), Wildschwein (15) sowie Biber (3). Detaillierte Informationen zu den einzelnen Querungsbauwerken (Bauwerkstyp, Anzahl Verkehr auf dem Bauwerk, Anzahl Arten sowie Tiere) sind in Abb. 8 ersichtlich.

Der Rotfuchs benutzte ca. 85 % der Kunstbauwerke entlang der Untersuchungsstrecke, selbst stark befahrene Strassen mit mehr als 100 Fahrzeugen pro Nacht (22:00 bis 6:00 Uhr). Marderartige querten die A7 mithilfe von ca. 30 % der Bauwerke. Der Dachs benutzte ebenso ca. 30 % der 57 möglichen Kunstbauwerke entlang der A7. Rehe und Feldhase benutzten ca. 20 %, das Wildschwein wurde nur an insgesamt drei Querungsmöglichkeiten festgestellt. Dies waren die beiden spezifischen Wildtierbrücken Junkholz und Fuchswies sowie das tief eingeschnittene Engwilertobel des Laubbaches. Der Biber wurde an einem Gewässerdurchlass (Bauwerk Nr. 19) registriert.

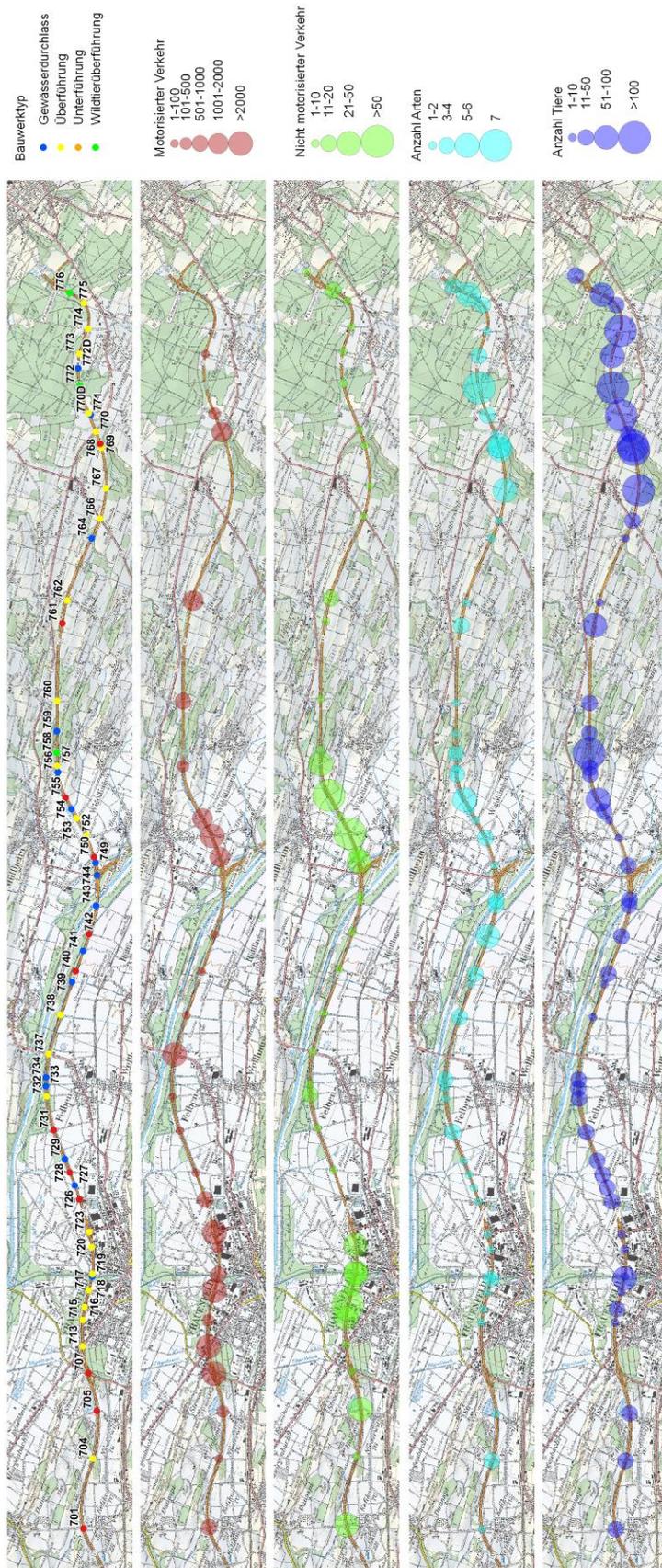


Abb. 8 Eigenschaften der einzelnen Querungsbauwerke entlang der A7 in Kanton Thurgau zwischen Kefikon und Kreuzlingen. Die unteren zwei Karten zeigen für jedes Bauwerk die Artenanzahl sowie die Anzahl Tiere, welche beim Queren der Autobahn durch Fotofallen registriert worden sind.

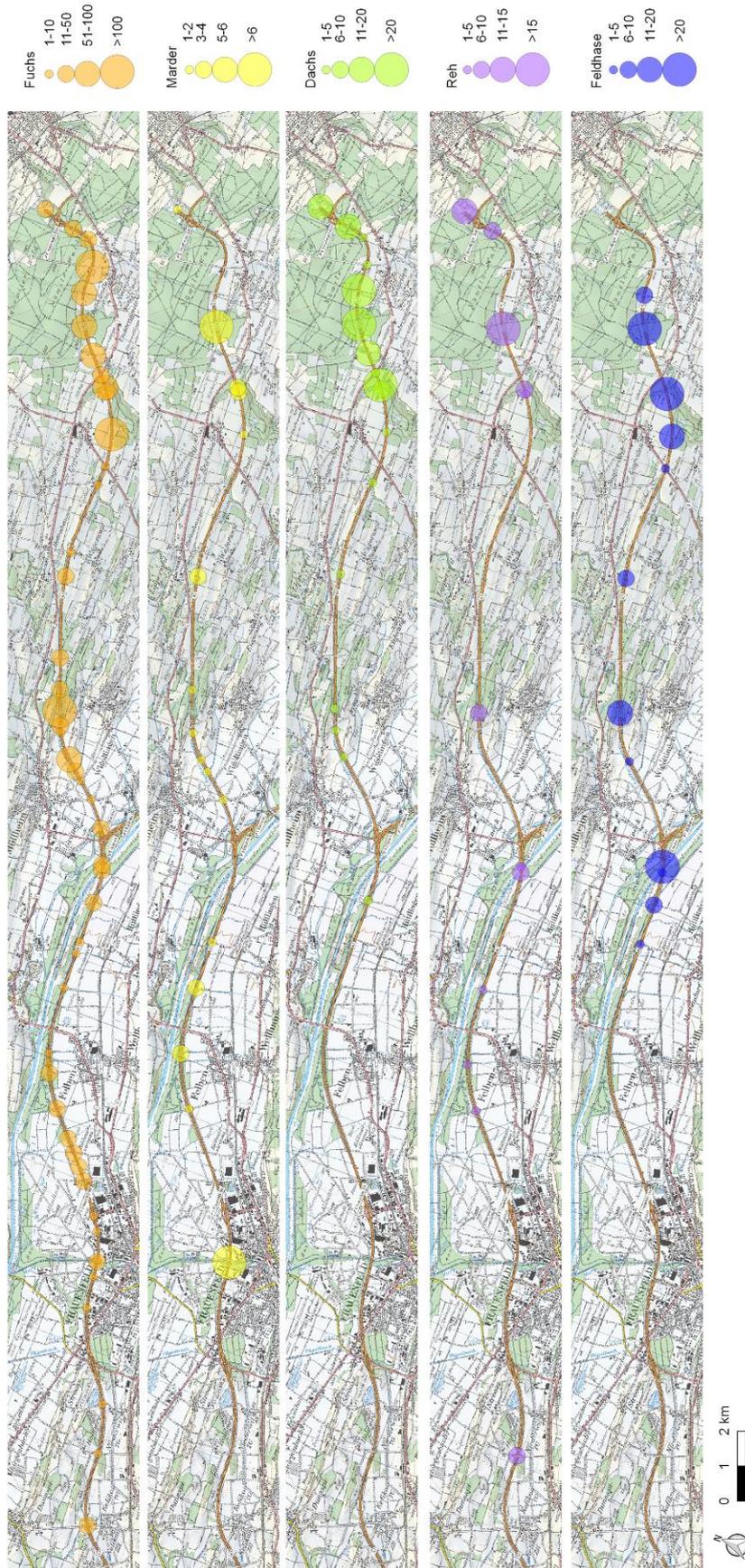


Abb. 9 Anzahl der durch die Fotofallen erfassten Wildtiere auf den Querungsbauwerken entlang der Autobahn A7 im Thurgau.

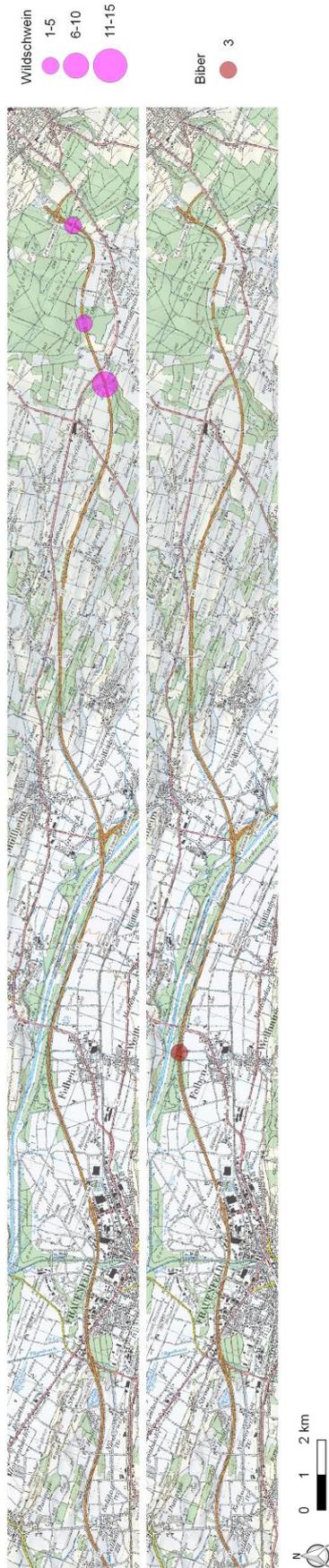


Abb. 10 Anzahl der durch Fotofallen erfassten Wildtiere auf den Querungsbauwerken entlang der Autobahn A7 im Thurgau.

2.5.2 Vorkommen von Wildtieren in der Umgebung der A7

Entsprechend der Verbreitungskarten des Schweizerischen Zentrums für die Kartographie der Fauna (SZKF) kommen Wildschwein, Reh sowie der Fuchs entlang der gesamten Untersuchungsstrecke vor. Dachs, Steinmarder und Feldhase sind gemäss den Daten des SZKF entlang der gesamten Strecke nicht anzutreffen.

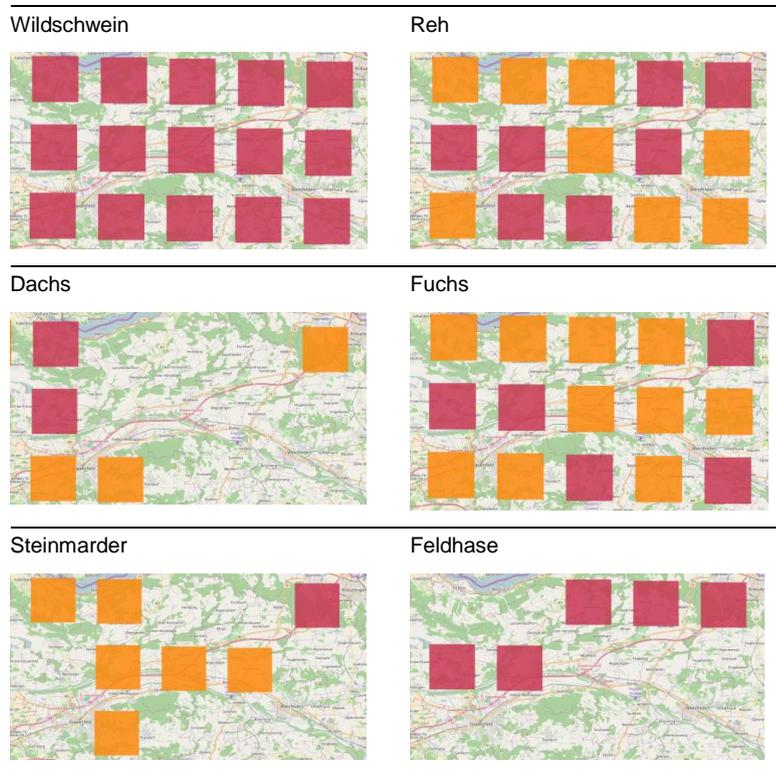


Abb. 11 Verbreitungskarten der Wildtierarten in der Umgebung der A7 im Kanton Thurgau. Auf den Kartenausschnitten befindet sich jeweils links unten der Anfang der Untersuchungsstrecke bei Kefikon. Die A7 verläuft diagonal durch den Kartenausschnitt bis diese am rechten oberen bei Kreuzlingen endet. Die farbigen Quadrate zeigen das Vorkommen der jeweiligen Tierart in einem 5x5 km Raster. Rote Quadrate zeigen Daten ab dem Jahr 2000, orange Daten vor 2000. (Quelle: SZKF, <http://lepus.unine.ch/carto/>)

2.5.3 Fotofallenuntersuchung Autobahn A1, Abschnitt Wiggertal – Aarau Ost

Insgesamt wurden 876 Tiere, darunter 4 verschiedene Säugetierarten, beim Queren der A1 über vorhandene Kunstbauwerke durch Fotofallen erfasst. Dies waren Rotfuchs (658), Dachs (127), Marder (73) sowie Reh (7). Detaillierte Informationen zu den einzelnen Querungsbauwerken sind in den folgenden Abbildungen ersichtlich. Bauwerkstyp, Anzahl Verkehr auf dem Bauwerk in Abb. 12, Anzahl Arten sowie Tiere in Abb. 13 sowie Anzahl der einzelnen Arten in Abb. 14.

Der Rotfuchs benutzte 85 % (32) der Kunstbauwerke entlang der Untersuchungsstrecke, selbst stark befahrene Strassen mit mehr als 100 Fahrzeugen pro Nacht (22:00 bis 6:00 Uhr). Marder nutzten 37 % (17) der Bauwerke um die A1 zu Queren. Der Dachs benutzte 13 % (6) der Quermöglichkeiten über die A1. Querungen durch Rehe wurden nur bei einem einzigen Querungsbauwerk beobachtet.

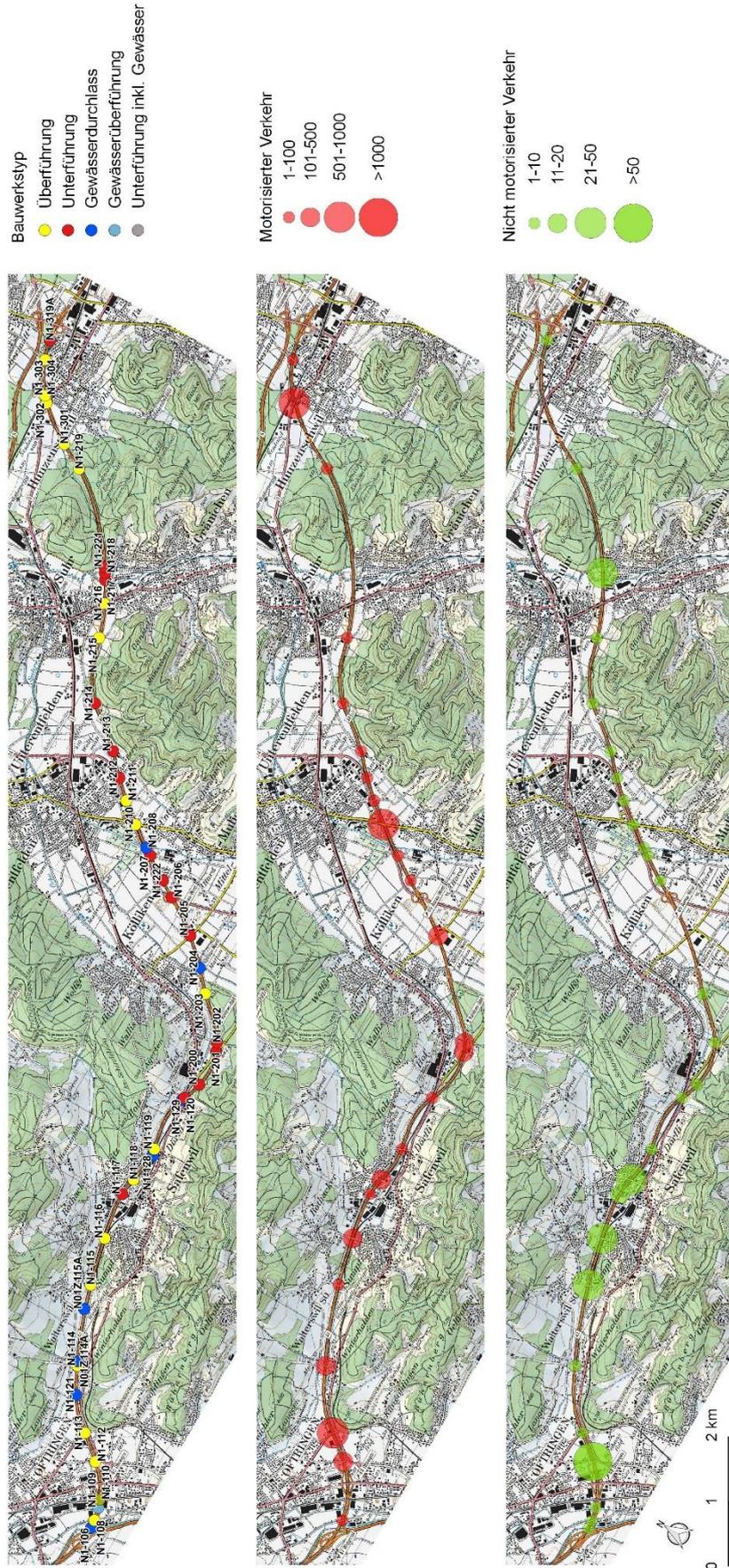


Abb. 12 Eigenschaften der einzelnen Querungsbauwerke entlang der A1 im Kanton Aargau/Solothurn zwischen Aarau Ost und Wiggertal. Dargestellt ist der Bauwerkstyp sowie die Nutzung durch motorisierten bzw. nicht-motorisierten Verkehr aller vorhandenen Querungsbauwerke des Streckenabschnittes.

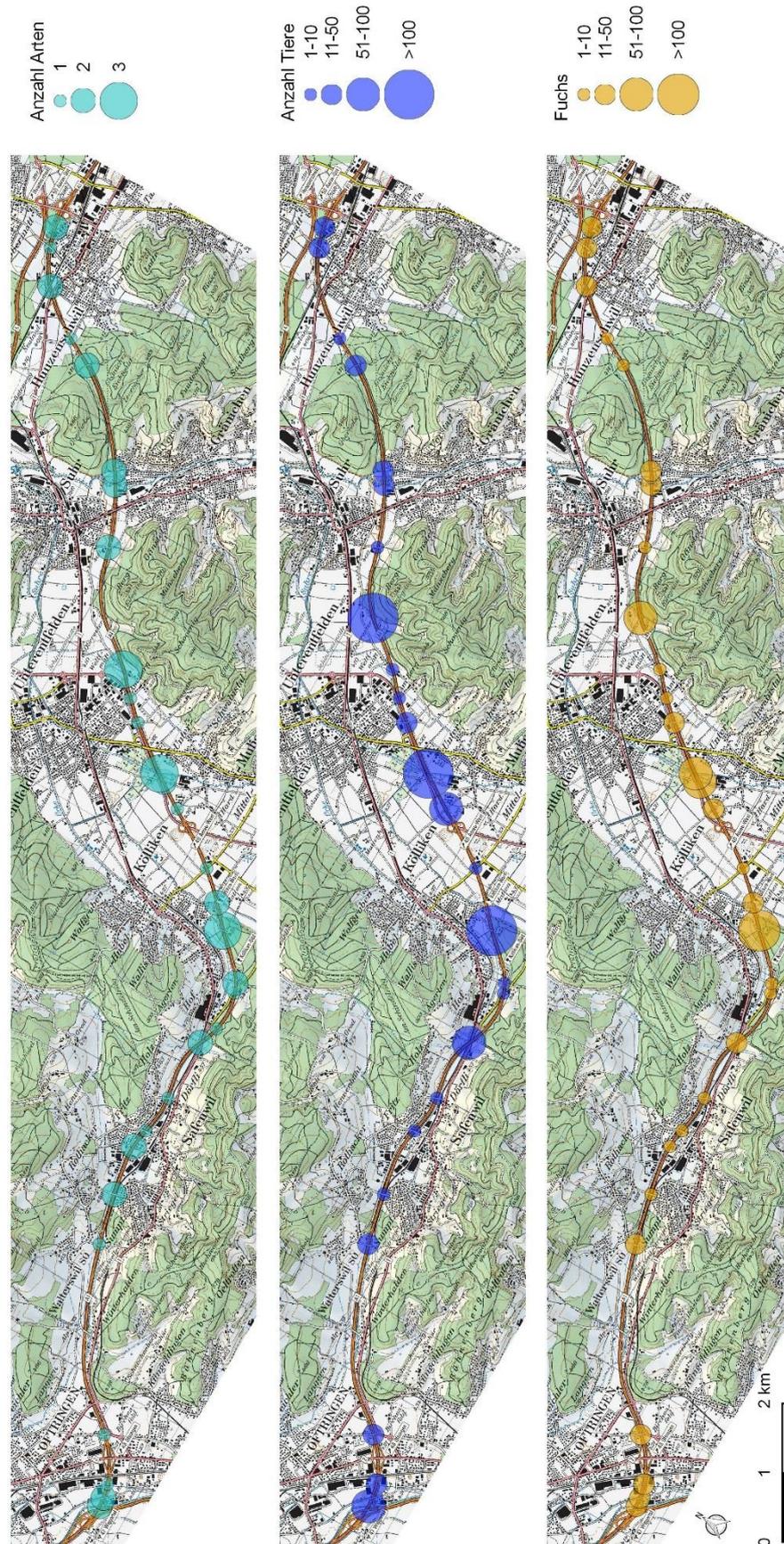


Abb. 13 Die Karten zeigen für jedes Bauwerk die Artenanzahl bzw. die Anzahl Tiere, welche beim Queren der Autobahn durch Fotofallen registriert worden sind. Die Karte rechts zeigt die Anzahl Füchse, welche durch Fotofallen registriert worden sind.

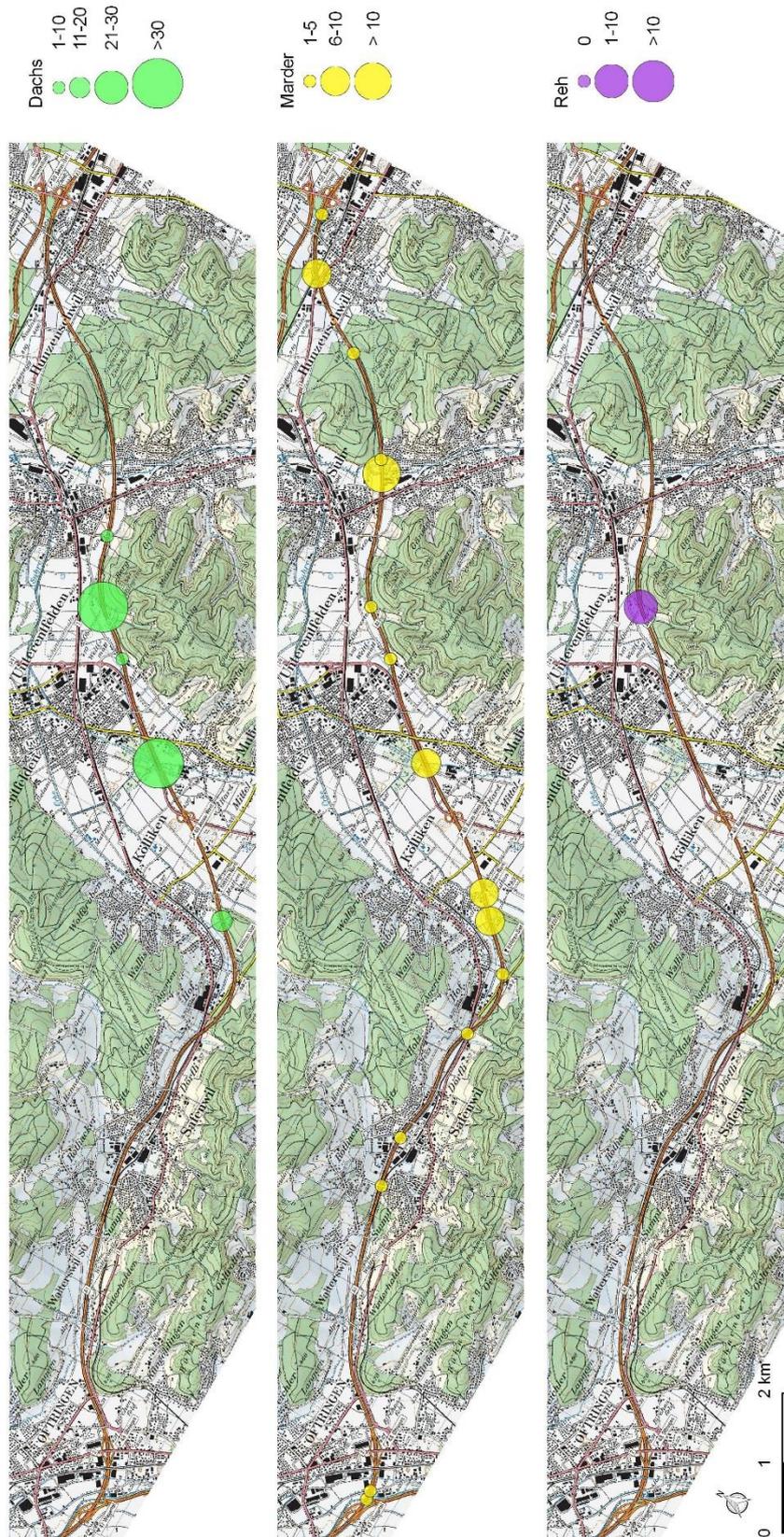


Abb. 14 Diese Karten zeigen die Anzahl Dachse, Marder bzw. Rehe welche auf bestehenden Querungsbauwerken durch Fotofallen erfasst worden sind.

2.5.4 Vorkommen von Wildtieren in der Umgebung der A1

In allen an die Autobahn A1 angrenzenden Jagdrevieren kommen Fuchs, Reh sowie der Dachs vor. Vorkommen des Marders können durch die abgefragten Quellen nicht in allen Jagdrevieren bestätigt werden. Im Jagdrevier AG 7 ist zudem der Rothirsch nachgewiesen worden. Das verbreitete Vorkommen dieser Wildsäuger in der nahen Umgebung der Autobahn ist Grundvoraussetzung dafür, dass die Querungsbauwerke von Tieren benutzt werden.

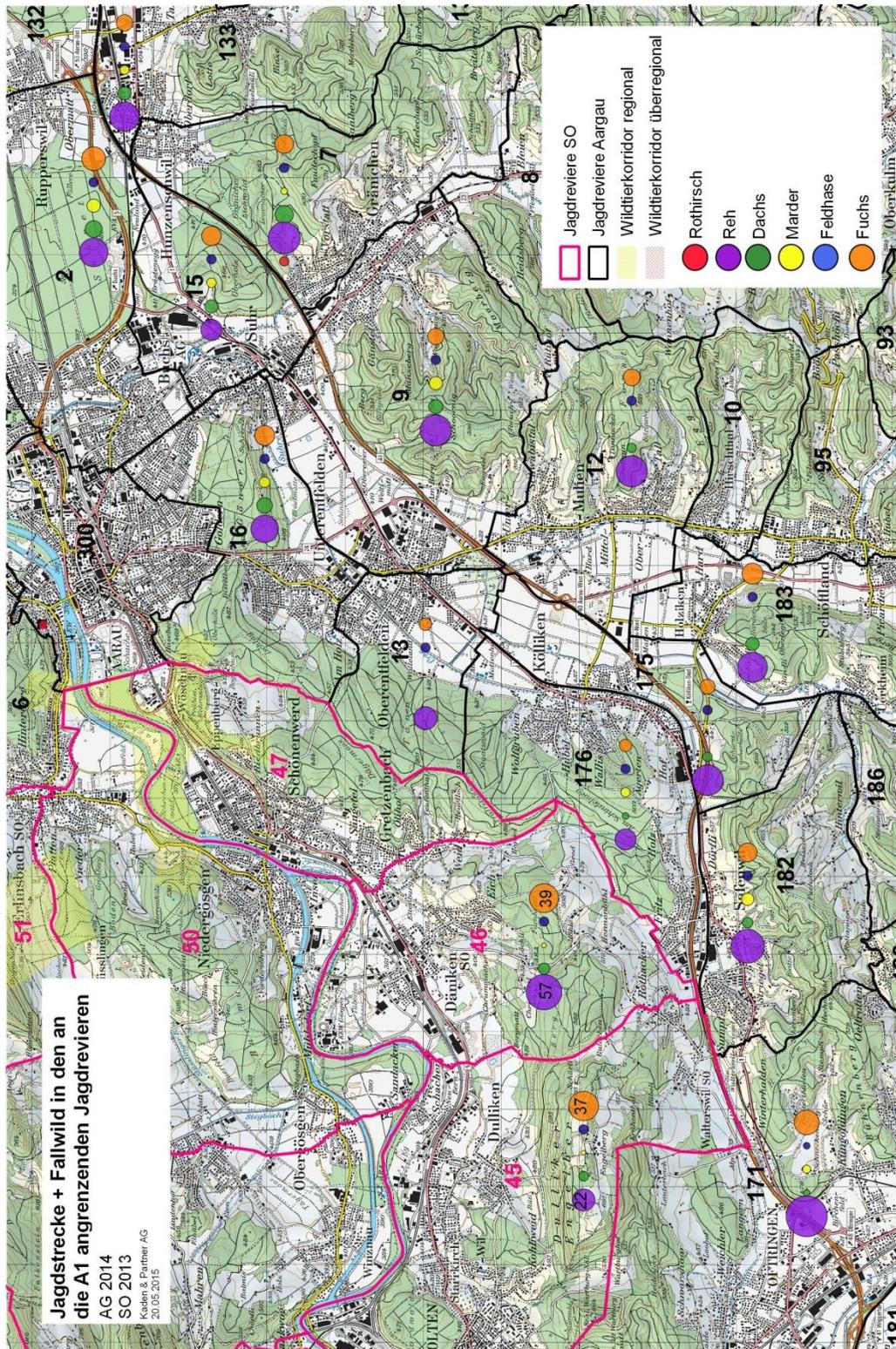


Abb. 15 Übersicht des Vorkommens von Wildtieren in der Umgebung der A1 nach Jagdrevieren.

2.6 Methodenkritik

2.6.1 Untersuchungszeitraum

Die Aktivitäten von Wildtieren variieren im Jahresverlauf aufgrund von saisonalen Wanderungen, der Abwanderung von Jungtieren sowie durch Wanderungen zum Erhalt bzw. der Vergrösserung ihrer Streifgebiete. Aufgrund der Länge der Untersuchungsstrecke von ca. 27 km mit 57 Querungsbauwerken sowie der vorhandenen Ressourcen, war es nicht anders möglich als die einzelnen Querungsmöglichkeiten zu unterschiedlichen Jahreszeiten für jeweils drei Wochen zu untersuchen. Diese Saisonalität der Daten sollte bei der Interpretation der Daten berücksichtigt werden.

2.6.2 Technik Fotofallen

Die Auslösezeit der verwendeten Fotofallen von ca. 1/4 Sekunde kann dazu geführt haben, dass sehr schnelle Tiere bzw. Autos von der Kamera nicht erfasst worden sind. Zudem besitzt die Kamera bei Serienbildern eine Verzögerung von 1 Sekunde, sodass mehrere kurz hintereinander querende Tiere, Menschen und besonders Autos möglicherweise nicht erfasst worden sind. Bei schlechten Sichtverhältnissen wie Regen, Schnee, Nebel oder Tauniederschlag war zudem die Bildqualität nicht immer optimal. Weiterhin ist zu bemerken, dass Kleinsäuger wie z. B. Igel, Eichhörnchen, Mauswiesel oder Mäuse eventuell nicht von den verwendeten Kameras erfasst worden sind. Dies könnte daran gelegen haben, dass die Kameras technisch nicht in der Lage sind, kleine Tiere zu erfassen oder der Erfassungsbereich der Kameras nicht optimal ausgerichtet war.

Im Rahmen einer Studie im französischen Elsass wurden 5 Monate Untersuchungszeit benötigt, um 90 % der vorkommenden Arten festzustellen [9]. Zudem wurde bei dieser Studie festgestellt, dass in der Nacht, nachdem die Kameras durch Feldpersonal besucht worden waren, weniger Raubtiere erfasst wurden. Die erfassten Tierarten und -zahlen könnten demnach auch in der vorliegenden Untersuchung unterschätzt worden sein.

2.7 Vergleich der Durchlässigkeit der Autobahn A1 und A7

Im Folgenden werden die Daten aus den beiden Fotofallenuntersuchungen an der A1 und A7 miteinander verglichen (siehe Kapitel 2). Betrachtet man hierfür die durchschnittliche Anzahl Wildtierquerungen pro Bauwerk zeigt sich, dass Bauwerke der A7 doppelt so häufig (n=34) von Wildtieren zur Querung verwendet werden als Bauwerke der A1 (n=17).

Der Fuchs benutzte an beiden Streckenabschnitten ca. 85 % der Bauwerke, Marder an der A1 ca. 37 % und an der A7 ca. 30 % der Bauwerke. Dachse benutzten an der A1 ca. 13 % und an der A7 ca. 30 % Bauwerke. Das Reh benutzte an der A1 nur ein einziges Bauwerk (2 %) während an der A7 ca. 20 % der Bauwerke von Rehen benutzt wurden. Feldhase und Wildschwein kommen entsprechend Fallwild und Jagdstatistik Aargau/Solothurn an der A1 nicht vor. Der Feldhase benutzte an der A7 ca. 20 % der Bauwerke und Wildschweine ca. 2 % der Bauwerke.

Betrachtet man die Anzahl Wildtierquerungen, so zeigt sich, dass die Autobahn A7 doppelt so durchlässig ist wie die A1. Fuchs und Marder benutzen an beiden Autobahnen etwa dieselbe Anzahl Bauwerke – jedoch querten diese an der A1 nur etwa die Hälfte der Tiere im Vergleich zur A7. Der Dachs benutzte an der A7 dreimal mehr, das Reh 10-mal mehr Bauwerke an der A1 als an der A7.

Mögliche Ursachen für die unterschiedliche Durchlässigkeit der untersuchten Streckenabschnitte:

- Grösserer siedlungsgeprägter Flächenanteil entlang der A1
- Teilweise Kantonstrasse parallel zu A1
- 4-mal höheres Verkehrsaufkommen auf der A1
- Bauwerksmasse bzw. Eignung für die Fauna, Anzahl spez. Bauwerke
- Populationsdruck bzw. – dichte

Bei einer Analyse der Grunddurchlässigkeit einer umzäunten Autobahn im deutschen Westerwald [10] wurden insgesamt 24 Unterführungen mittels Fotofallen und Substratbetten untersucht. Auch diese Studie zeigt, dass Querungsbauwerke, welche vorrangig der menschlichen Nutzung zugesprochen worden sind, häufig von Wildtieren wie Fuchs, Dachs und Marder benutzt werden. Allerdings wurden trotz Vorkommen in der Umgebung der Autobahn und einer Vielzahl an geeigneten Bauwerken nur an drei der 24 Bauwerken Querungen des Rehs und nur an zwei Bauwerken Querungen des Wildschweins nachgewiesen. Grund hierfür könnte - wie bei der vorliegenden Untersuchung an der A1 - das sehr hohe Verkehrsaufkommen mit bis zu 80'000 Fahrzeugen pro Tag sein. Der Vergleich der beiden Autobahnen kann also als Hinweis gewertet werden, dass Autobahnen mit geringerem Verkehr allgemein durchlässiger sind als Autobahnen mit starkem Verkehr.

3 Untersuchung zur Wirkung eines provisorischen Blendschutzes als Optimierungsmassnahme

3.1 Einleitung

Bei der Untersuchung mit Fotofallen zur effektiven Nutzung der bestehenden Querungsbauwerke an der A1 zwischen Wiggertal und Aarau-Ost durch Wildtiere (siehe Kapitel 2.4.1), hat sich gezeigt, dass das Brückenbauwerk mit der Nummer N1-219 (Abb. 16-18) unerwartet nicht von Rehen und auch von anderen Wildtieren nur relativ selten genutzt wird. Unerwartet ist dies aus dem Grund, dass das Bauwerk N1-219 gute Voraussetzungen für die Querungen von Wildtieren besitzt. Es ist sehr gut mit der Umgebung vernetzt, da es beidseitig an ein grösseres Waldgebiet grenzt (Abb. 18). Aufgrund seiner Abgelegenheit gibt es auf dem Bauwerk sowie in dessen näherer Umgebung zudem kaum Störungen (durch Hündler, Mountainbiker). Ausserdem sind beidseits Rehpopulationen vorhanden.

Da die Autobahn A1 auch nachts stark befahren ist, wurde vermutet, dass die Lichtemissionen des Verkehrs die vorkommenden Wildtiere, insbesondere Rehe von einer Querung abhalten. Die Installation eines Blendschutzes entlang des Brückengeländers soll die Lichtemissionen des Strassenverkehrs abschirmen. Lärmemissionen werden durch einen Blendschutz nur minimal verringert. Die Installation von Blendschutzwänden auf Brücken gilt als kostengünstige Massnahme zur Erhöhung der Wildtierdurchlässigkeit [11].

Um die Wirksamkeit eines Blendschutzes auf die Wildtierquerungen - insbesondere des Rehs - zu erproben, wurde auf diesem Bauwerk ein provisorischer Blendschutz installiert. Querende Wildtiere wurden mit Fotofallen erfasst. Die Untersuchung wird im Folgenden im Detail beschrieben.

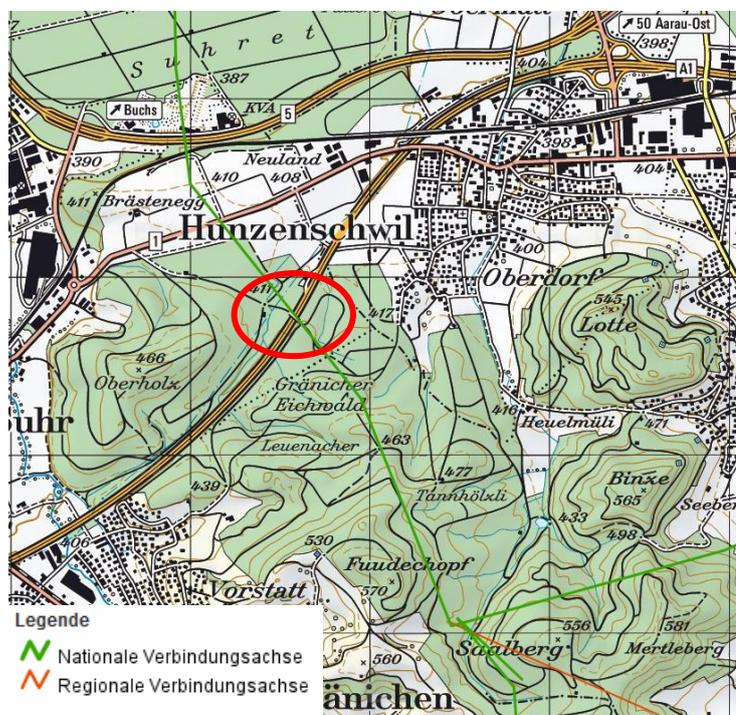


Abb. 16 Lage des Bauwerks N1-219 an der Autobahn A1 zwischen Hunzenschwil und Suhr. Die grüne Linie zeigt den Verlauf des nationalen Wildtierkorridors AG 6, Suret. (Karte: <https://map.geo.admin.ch>)



Abb. 17 Das Brückenbauwerk von der Fahrbahn der Autobahn A1 aus. Blickrichtung Norden. (Quelle: Google Streetview, Aufnahme Oktober 2014)



Abb. 18 Blick über das Bauwerk N1-219 in Richtung Osten (links) und Westen (rechts).

3.2 Material und Methoden

Auf einem Brückenbauwerk, welches die Autobahn A1 zwischen Hunzenschwil und Suhr überquert (ASTRA Nr. N1-219, Abb. 16) wurde am 12.10.2015 ein provisorischer Blendschutz installiert. Der Blendschutz mit einer Höhe von ca. 2 m wurde aus OSB-Holzplatten, welche am Brückengeländer befestigt wurden, durch die Betriebseinheit Schafisheim erstellt (Abb. 19 u. 21). Der Blendschutz wurde östlich der Autobahn, am nördlichen Brückengeländer, um ca. 20 m über das Brückengeländer hinaus verlängert, da der Wald in diesem Bereich durchforstet wurde und deshalb die Lichter der Fahrzeuge nicht so gut abschirmt wurden wie in den anderen Bereichen des Bauwerks.

Um das Bauwerk querende Wildtiere zu erfassen, wurde auf beiden Seiten des Brückenbauwerks jeweils eine Fotofalle in einer Höhe von ca. 40 cm über dem Boden installiert (Abb. 22, Standorte 2 u. 3). Um in Erfahrung zu bringen, welche Tiere sich im Vorraum des Bauwerks aufhalten und potentiell das Bauwerk nutzen könnten, wurde auf jeder Seite des Bauwerks in ca. 30 m Entfernung zusätzlich eine weitere Fotofalle installiert (Abb. 22, Standorte 1 u. 4). Zudem waren auf beiden Seiten zwei Kameras installiert, welche Tiere filmten, welche sich direkt vor der Brücke aufhielten. Die Videoaufnahmen sollen Aufschluss über das Verhalten der Tiere geben, welche potentiell das Bauwerk queren könnten.

Die Fotofallen wurden bereits vor der Installation des Blendschutzes am 19.06.2015 installiert, also knapp vier Monate bevor der Blendschutz auf dem Bauwerk installiert wurde. Tierquerungen wurden nur als solche registriert, wenn die Tiere sowohl von der Fotofalle am Standort 2 als auch von der Fotofalle am Standort 3 erfasst worden sind.

Um ausschliessen zu können, dass der Blendschutz mit zwei Metern Höhe einen Tunneleffekt geschaffen hat, was die Tiere abschrecken könnte, wurde dieser am 20.05.2016 auf die Höhe des Geländers gekürzt (ca. 1,1 m; Abb. 20). Die Standorte der Fotofallen wurden dabei nicht verändert. Kamera 4 wurde am 14.09.2016 abgebaut. Die gesamte Untersuchung des Bauwerks mit Fotofallen wurde am 24.10.2016 abgeschlossen. Drei Wochen vor Abbau des Blendschutzes wurde auf der Mitte des Bauwerks ein handelsüblicher Salzleckstein befestigt, um die Tiere auf das Bauwerk zu locken.



Abb. 19 Provisorischer Blendschutz aus OSB-Holzplatten mit einer Höhe von ca. 2 m. Links vorne sind die installierten Fotofallen zu erkennen, welche querende Wildtiere erfassen.



Abb. 20 Am 20.05.2016 wurde die Höhe des Blendschutzes auf die Höhe des Geländers gekürzt (ca. 1,1 m).



Abb. 21 Die verwendeten OSB-Holzplatten wurden mit der Hilfe von Holzbalken, welche durch Stahlspannbänder am Brückengeländer befestigt wurden, provisorisch installiert.

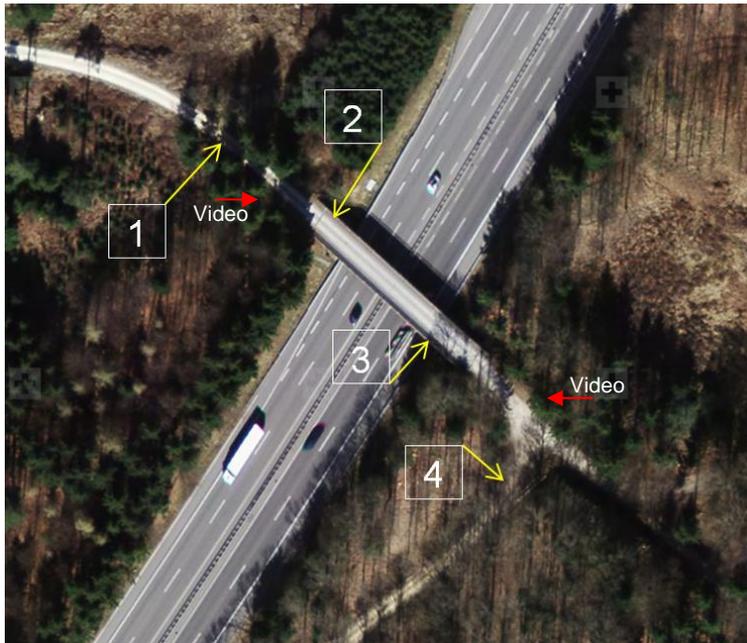


Abb. 22 Standorte der Fotofallen. Standorte 1 und 4 erfassen Tiere, welche sich im Vorraum des Bauwerks aufhalten. Die Standorte 2 und 3 erfassen Tiere, welche das Bauwerk queren. Die Pfeile geben jeweils die Blickrichtung der Kameras an. (Quelle)

3.3 Ergebnisse

Während des gesamten Untersuchungszeitraums von über einem Jahr (12.10.2015 – 24.10.2016) hat kein Reh das Brückenbauwerk gequert (Abb. 24), obwohl diese sich auf beiden Seiten zahlreich im Vorraum des Bauwerks aufhalten (Abb. 23 und 25). Das Bauwerk regelmässig überquert hat der Fuchs. Marder haben das Bauwerk während dieser Zeit insgesamt 59-mal überquert, der Dachs insgesamt nur 2-mal (Abb. 24). Es lässt sich kein Zusammenhang zwischen provisorischem Blendschutz (beide Höhen) und der Querungshäufigkeit von Wildtieren nachweisen. Auch der zum Versuchsende ausgebrachte Salzleckstein hat keine erkennbaren Reaktionen der Wildtiere herbeigeführt.

Verschiedene Videoaufnahmen im Bauwerksvorraum (Abb. 22) zeigen Rehe, welche sich dem Bauwerk nähern, sich dann aber wieder in eine andere Richtung abwenden. Die meisten Rehe scheinen allerdings nicht an einer Querung interessiert zu sein, sondern äsen an der Saumvegetation des Wirtschaftsweges oder überqueren den Weg, welcher auf das Bauwerk führt, und laufen parallel zur Autobahn weiter. Dieses Verhalten wurde sowohl vor als auch nach der Installation des Blendschutzes beobachtet. Die Videoaufnahmen zeigen auch einige Füchse und Marder, wie diese zielstrebig auf das Bauwerk zulaufen, dann aber doch von einer Querung absehen. Die überwiegende Mehrheit der Füchse und Marder überquert die Brücke zielstrebig ohne zu zögern.

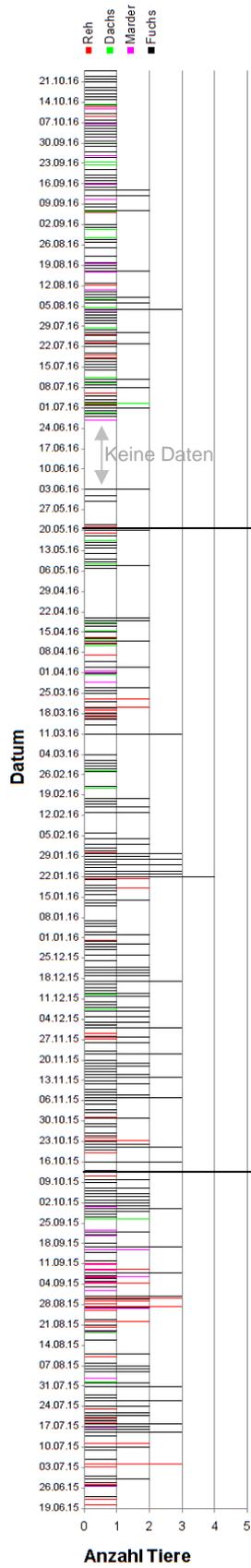


Abb. 23 Erfasste Wildtiere im Vorraum der Brücke am Standort 1.

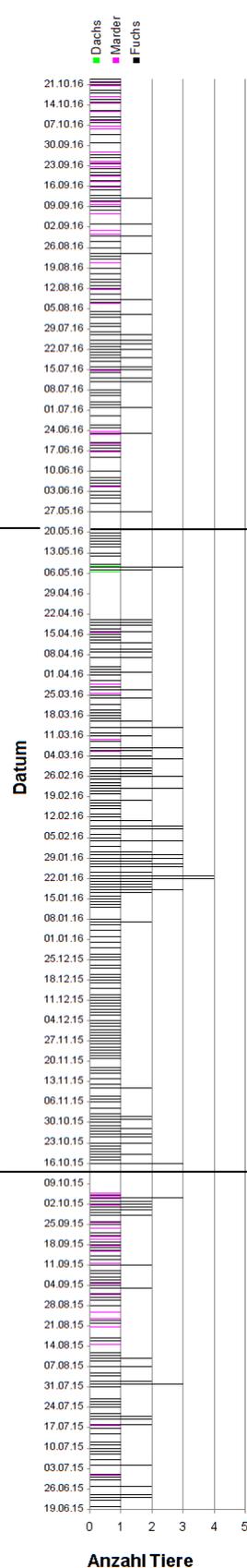


Abb. 24 Wildtiere, welche das Brückenbauwerk gequert haben.

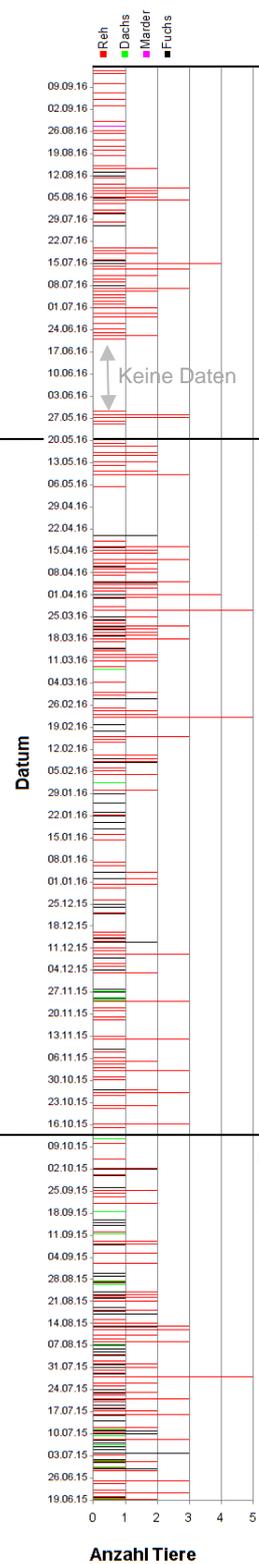


Abb. 25 Erfasste Wildtiere im Vorraum der Brücke am Standort 4.

Abbau Kamera am Standort 4. (14.09.2016)

Reduzierung der Höhe des Blendschutzes. (20.05.2016)

Installation des Blendschutzes. (12.10.2016)

3.4 Diskussion

Die Installation eines provisorischen Blendschutzes aus Holz am Geländer eines gut vernetzten Brückenbauwerks über die Autobahn A1 hat im Untersuchungszeitraum keine Erhöhung der Durchlässigkeit bewirkt, obwohl nachweislich beidseits Rehpopulationen vorhanden sind. Woran kann dies gelegen haben?

Mit dem Blendschutz wurden auf dem Brückenbauwerk die Lichtemissionen, aber kaum die Lärmemissionen der Fahrzeuge minimiert. Lichtemissionen scheinen demnach nicht der alleinige Grund sein, weshalb Rehe das Bauwerk nicht queren. Ein weiterer Aspekt ist die Tatsache, dass Rehe für die Querung des asphaltierten, relativ schmalen Brückenbauwerks ihre gewohnten Umgebungsstrukturen verlassen müssen. Neben der Minimierung von Licht- und Lärmemissionen wäre zu überprüfen, ob Brückenbauwerke zusätzlich mit einem offenen Bodenbelag sowie Strukturen wie z. B. seitlicher Bepflanzung mit Gehölzen durchlässiger gemacht werden können.

Als Folge des ca. 2 m hohen Blendschutzes könnte ein Tunneleffekt entstanden sein, welcher die Tiere von einer Querung abgehalten hat. Um diese Wirkung auszuschliessen, wurde nach 7 Monaten der Blendschutz auf eine Höhe von ca. 1,1 m gekürzt. In den darauffolgenden 5 Monaten konnte allerdings ebenfalls keine Querung eines Rehs nachgewiesen werden. Dies verwundert, angesichts der Tatsache, dass bei einer Untersuchung von Querungsbauwerken an der Autobahn A7 im Thurgau (siehe Kapitel 2.5.1) insgesamt drei Brückenbauwerke ohne spezielle Massnahmen regelmässig von Rehen zur Querung benutzt wurden. Ein markanter Unterschied zwischen den Autobahnen A1 und A7 ist der durchschnittliche Tagesverkehr (DTV). Die A1 wird täglich von durchschnittlich ca. 80 000 Fahrzeugen befahren während die A7 je nach Abschnitt nur von 12 000 bis 48 000 Fahrzeugen benutzt wird. Es ist demnach vorstellbar, dass die Verkehrsdichte der Autobahn einen Einfluss auf die Durchlässigkeit ihrer Querungsbauwerke hat. Der Blendschutz-Versuch könnte deshalb einen Hinweis darauf geben, dass Optimierungsmassnahmen an Bestandesbauwerken bei sehr hohen Verkehrszahlen auf der Autobahn, nicht den gleichen Effekt erzielen, wie an Autobahnen mit geringeren Verkehrszahlen. Oder anders formuliert, an Autobahnen mit sehr starkem Verkehr bedarf es für die Wildtierdurchlässigkeit aufwendigere und umfangreichere Massnahmen als an Autobahnen mit geringem Verkehr.

4 Ermittlung des Querungspotentials für Wildtiere an Nationalstrassen

4.1 Einleitung

Bestehende Querungsbauwerke werden unter bestimmten Voraussetzungen von Wildtieren zur Querung von umzäunten Autobahnen benutzt [12], [13]. Aus der internationalen Literatur ist bekannt, dass die Häufigkeit, mit welcher Wildtiere (mittlere bis grosse Säugetiere) ein Bauwerk zur Querung einer umzäunten Autobahn nutzen, von verschiedenen Faktoren abhängt. Als wichtigste Faktoren werden der Bauwerkstyp (Unter- bzw. Überführung, Gewässerdurchlass, Talbrücke) [14]–[18] und dessen Dimensionen (Länge, Breite und bei Unterführungen die Höhe) [16], [19]–[21]] aufgeführt. Ein weiterer, in der Literatur zu findender Faktor, welcher grossen Einfluss auf die Nutzungshäufigkeit von Querungsbauwerken durch Wildtiere hat, ist die Störung durch den Menschen [14], [18], [22]. Störungen können Lärm- und Lichtemissionen, aber auch verschiedene Freizeitnutzungen an oder auf den Bauwerken sein. Verschiedene Untersuchungen heben zudem die Bedeutung der Lage der Bauwerke in der Landschaft [20], [23]–[25] sowie deren Gestaltung [22], [24], [25] hervor.

Im Folgenden werden vier Methoden für die Bewertung des Potentials von bestehenden Bauwerken, von Wildtieren zur Querung von umzäunten Nationalstrassen benutzt zu werden, vorgestellt:

1. Gutachterliche Bewertung durch Begehung
2. Erhebung der effektiven Durchlässigkeit mittels automatischer Fotofallen
3. Erfassung des Potentials zur Mitbenutzung mittels Luftbildanalyse
4. Ermittlung der Grunddurchlässigkeit mittels Bauwerksdurchlässigkeitsindex

4.2 Gutachterliche Bewertung durch Begehung

Bei der gutachterlichen Bewertung durch Begehung von Bauwerken, werden alle Bauwerke entlang des Trassees durch einen Experten begangen. Neben den faunarelevanten Eigenschaften jedes Bauwerks werden auch vorgefundene Wildtierspuren auf einem strukturierten Protokollblatt festgehalten. Zusätzlich werden Informationen und Erfahrungen der zuständigen Wildhüter zur faunistischen Funktionalität bzw. dem diesbezüglichen Potential der Bauwerke eingeholt. Basierend auf dieser Grundlage kann gutachterlich beurteilt werden, ob ein Querungsbauwerk Potential für eine Nutzung durch die Fauna aufweist oder nicht. Bei diesem Verfahren können gleichzeitig detaillierte Massnahmen für eine faunaspezifische Aufwertung der Bauwerke gegeben werden, da der Experte vor Ort jegliche Hindernisse z. B. Zäune, Stufen usw. erkennen und bewerten kann.

4.3 Erhebung der effektiven Durchlässigkeit mittels Fotofallen

Bei dieser Methode wird die Grunddurchlässigkeit ermittelt, indem die effektive Nutzung der Querungsbauwerke durch Wildtiere (z. B. Dachs, Marder, Fuchs, Reh, Rotwild, Wildschwein, Feldhase) in einem festgelegten Zeitraum durch automatische Fotofallen festgestellt wird (Methodik siehe Kapitel 2.2). Die Anzahl querender Arten sowie Tiere wird anschliessend für jedes Querungsbauwerk auf einer Karte dargestellt. Die dadurch erhaltenen Informationen erlauben es, Defizite bei der Grunddurchlässigkeit zu erkennen und darauf basierend gezielt zu handeln.

4.4 Erfassung des Potentials zur Mitbenutzung mittels Luftbildanalyse

Mittels Luftbildanalyse lässt sich die faunaspezifische Eignung von Querungsbauwerken gutachterlich abschätzen. Als Hauptkriterium bewertet dabei ein Experte jedes Bauwerk anhand eines Luftbildes aufgrund seiner Lage und Anbindung an die umgebende Landschaft. Zusätzlich fließen Bauwerksmasse mit in die Bewertung ein. Bauwerke, welche gut mit der Landschaft vernetzt sind - z. B. durch Wald auf beiden Seiten oder durch ein Fließgewässer - und zusätzlich für die Fauna geeignete Bauwerksmasse aufweisen, werden somit als Bauwerke mit potentieller Bedeutung für die Fauna eingestuft. Bauwerke, welche z. B. beidseits von Siedlung umgeben sind und/ oder ungeeignete Bauwerksmasse aufweisen, werden als Bauwerke ohne Potential für die Fauna eingestuft [26], [27].

Diese Methode ist sehr gut geeignet für eine Bestandsaufnahme von Bauwerken welche der Fauna als Querungsmöglichkeiten dienen könnten. Allerdings lässt sich die faunistische Relevanz der Bauwerke nicht untereinander vergleichen. Eine Priorisierung der Bauwerke für Optimierungsmassnahmen ist mit dieser Bewertungsmethode nicht möglich, da die Bauwerke in nur zwei Kategorien eingeteilt werden (potentielle Bedeutung ja oder nein). Alle Arbeitsschritte sind vom Computer aus möglich. Eine Begehung im Feld ist nicht notwendig.

Diese Methode wurde für die Einstufung aller Querungsbauwerke des schweizerischen Nationalstrassennetzes angewendet [26]. Die generierten Daten wurden in die Kunstbautendatenbank KUBA des ASTRA eingefügt. Folgende faunaspezifische Daten der Querungsbauwerke sind dort verfügbar: potentielle Bedeutung ja bzw. nein, effektive Bedeutung, Entfernungen zu Gebäuden, Wald und Hecken jeweils beidseits des Trassees. Diese Daten dienen Experten als wichtige Grundlage für den Einbezug der Lebensraumvernetzung bei zukünftigen Erhaltungsplanungen (UPlaNS) von Kunstbauwerken.

4.5 Ermittlung der Grunddurchlässigkeit mittels Bauwerksdurchlässigkeitsindex (BDI)

Diese Methode wurde von der Kaden & Partner AG in Frauenfeld (TG) entwickelt und auf dem Streckenabschnitt der Autobahn A4 zwischen Küssnacht (SZ) und Brunnen angewendet [28]. Die Methode wurde zudem mit einer gutachterlichen Bewertung der Querungsbauwerke [29] verglichen [30] und mit effektiven Querungen von Wildtieren (Fotofallendaten) validiert (siehe Kapitel 4.6). Die faunaspezifische Eignung von Querungsbauwerken wird dabei nach festgelegten Kriterien rechnerisch ermittelt und ist somit unabhängig von der persönlichen Einschätzung eines Gutachters. Als Grundlage für die Berechnung werden die wichtigsten Faktoren, welche eine Mitbenutzung durch die Fauna beeinflussen berücksichtigt (siehe Kapitel 4): Daten über die Bauwerksmasse, der Landnutzung in der Umgebung, dem Lärmniveau in der Umgebung sowie die Nutzung des Bauwerks durch den motorisierten Verkehr. Die benötigten Grundlagendaten sind sehr einfach und kostenlos für die gesamte Schweiz erhältlich. Als Ergebnis der Berechnung erhält man einen Wert zwischen 0 und 1, mit welchem sich Bauwerke qualitativ miteinander vergleichen lassen. Hiermit ist eine Priorisierung von Bauwerken entlang eines Streckenabschnittes für Optimierungsmassnahmen möglich. Alle Arbeitsschritte sind vom Computer aus möglich. Eine Begehung im Feld ist nicht notwendig. Die Grundlagendaten werden für die Berechnung des Bauwerksdurchlässigkeitsindex (BDI) in eine vorgefertigte Excel-Tabelle eingefügt. Zur Veranschaulichung ist es zu empfehlen, die Werte der vier berechneten Faktoren in einem Liniendiagramm darzustellen. Somit erhält man einen schnellen Überblick über die Durchlässigkeit des untersuchten Streckenabschnittes. Der BDI setzt sich folgendermassen aus vier Faktoren zusammen:

$BDI = F_{\text{Bau}} * F_{\text{Nutz}} * F_{\text{Lärm}} * F_{\text{Mot}}$	mit	F_{Bau} : Faktor Bauwerkstyp F_{Nutz} : Faktor Landnutzung $F_{\text{Lärm}}$: Faktor Lärm F_{Mot} : Faktor motorisierter Verkehr
---	-----	---

Im Folgenden wird die Berechnung der einzelnen Faktoren im Detail beschrieben:

Faktor Bauwerkstyp/ Bauwerksmasse (F_{Bau})

Die Benutzung von Querungsbauwerken durch die Fauna ist stark von deren Typ abhängig. Geeignete Überführungen können von den meisten Tiergruppen genutzt werden. Bei Unterführungen sind deren Bauwerksmasse, insbesondere der sog. *openness Index* (Höhe x Breite / Länge) entscheidend bei die Frage, inwiefern das Bauwerk von grösseren Huftieren wie z. B. Rehen benutzt wird. Aus diesem Grund wird bei der folgenden Berechnung zwischen den beiden Bauwerkstypen unterschieden.

<u>Unterführung</u>		
$F_{\text{Bau}} = \log_{10}(\textit{openness Index} + 1)$	mit	$\textit{openness Index} = \textit{Höhe} * \textit{Breite} / \textit{Länge}$
<u>Überführung</u>		
$F_{\text{Bau}} = \log_{10}(10 * B\ddot{u} / L + 1)$	mit	$B\ddot{u}$: Breite der Überführung L : Länge des Bauwerks Wenn $B\ddot{u} > 40 \rightarrow B\ddot{u} = 40$ Wenn $B\ddot{u} < 10 \rightarrow B\ddot{u} = 10$

Bei spezifischen Wildtierüberführungen ist bekannt [21], dass bei einer Breite (aus Sicht der Tiere) von >40-50 m nicht mit einer wesentlich höheren Nutzungsfrequenz gerechnet wird. Fotofallenuntersuchungen haben zudem gezeigt, dass Bauwerke mit einer Breite <10 m auch von grösseren Wildsäugern genutzt werden können [31].

Der Zehnerlogarithmus wird angewendet, damit die Werte zwischen 0 und 1 zu liegen kommen.

Faktor Flächennutzung in der Bauwerksumgebung (F_{nutz})

Mittels GIS-Analyse wird die Wald-, Siedlungs- sowie Wasserfläche im Umkreis von 500 m um das Bauwerk bestimmt. Als Grundlage empfiehlt sich hier, die Verwendung der aktuellsten Schweizer CORINE Landnutzungsdaten (CLC-CH). Die CORINE-Daten sind von sehr guter Qualität und für die Schweiz flächendeckend kostenlos verfügbar (http://www.wsl.ch/fe/landschaftsdynamik/projekte/corine_landcover_update/index_DE). Für die Berechnung der Durchlässigkeit der verschiedenen Landnutzungsformen werden folgende Annahmen gemacht: Wald ist am durchlässigsten und erhält den Wert 1, Siedlung ist nicht durchlässig und erhält den Wert 0, grössere Wasserflächen sind mit dem Wert 0,1 nur bedingt durchlässig. Landwirtschaftsflächen sind in etwa halb so durchlässig wie Wald mit einem Wert von 0,4.

$F_{\text{Nutz}} = \frac{A_{\text{Wald}} + (0.4 * (A_{\text{Ges500}} - (A_{\text{Wald}} + A_{\text{Sied}} + A_{\text{Was}})) + (0.1 * A_{\text{Was}})}{A_{\text{Ges500}}}$
mit A_{Wald} : Waldfläche im Umkreis von 500 m um das Bauwerk A_{Sied} : Siedlungsfläche im Umkreis von 500 m um das Bauwerk A_{Was} : Wasserfläche im Umkreis von 500 m um das Bauwerk

Faktor Lärm in der Umgebung des Bauwerks ($F_{\text{Lärm}}$)

Berücksichtigt wird hier die Fläche um ein Bauwerk, welche einer Lärmbelastung während der Nacht (22:00 - 6:00 Uhr) von > 60 dB (A) ausgesetzt ist. Diese wird per GIS-Analyse ermittelt. Als Datengrundlage findet die flächendeckende GIS-Lärmdatenbank sonBase [32]. Verwendung. Mit der Berücksichtigung des nächtlichen Lärms in der Umgebung des Bauwerks werden nicht nur die Lärmemissionen der Autobahn, sondern auch solche von z. B. parallel verlaufenden Kantonsstrassen, welche einen entscheidenden Einfluss auf die faunaspezifische Eignung eines Bauwerks haben können, erfasst.

$$F_{\text{Lärm}} = \frac{A_{60\text{dB}}}{A_{\text{Ges500}}} - 1 * (-1)$$

mit $A_{60\text{dB}}$: Fläche im Umkreis von 500 m um das Bauwerk >60 dB(A)
 A_{Ges500} : Gesamtfläche Radius 500 m

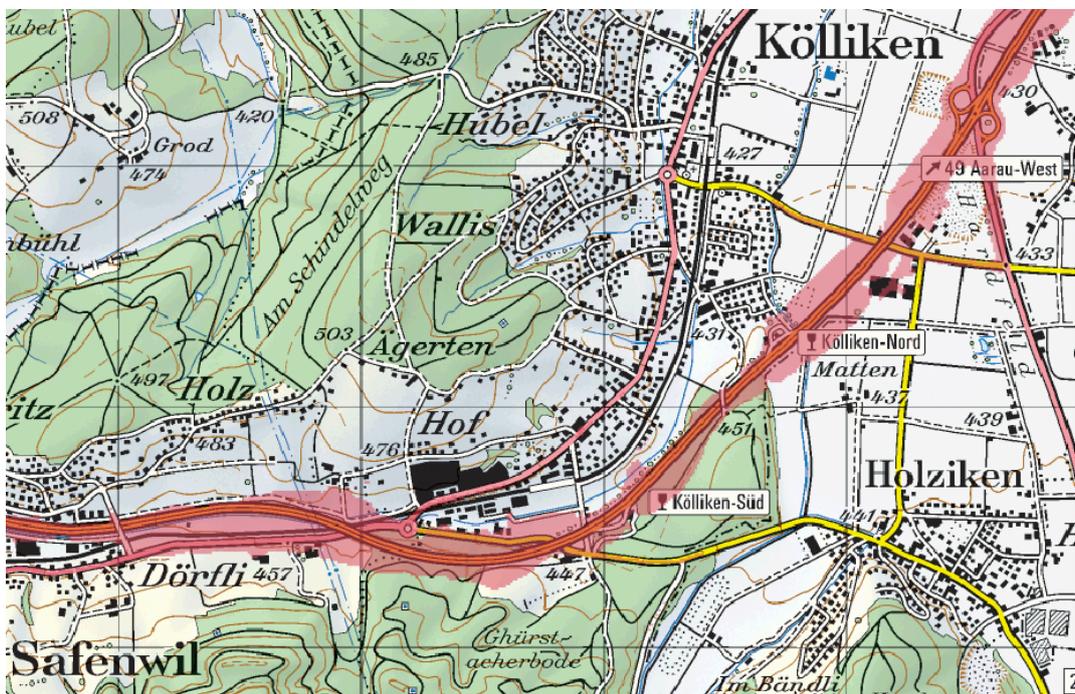


Abb. 26 Darstellung der Fläche (rot) beidseits der Autobahn welcher einer Lärmbelastung während der Nacht (22:00 – 6:00 Uhr) von mehr als 60 dB (A) ausgesetzt ist. Der Kartenausschnitt zeigt die Autobahn A1 südlich der Anschlussstelle Aarau-West. (Quelle: BAFU, sonBase Lärmdatenbank [32], Datenstand 2010; Karte: swisstopo).

Faktor nächtlicher motorisierter Verkehr auf dem Bauwerk (F_{motVer})

Die nächtliche Störungsintensität durch Fahrzeuge welche das Bauwerk benutzen, hat entscheidenden Einfluss auf die Querungshäufigkeit von Wildtieren. Leider sind Daten zur Anzahl Fahrzeuge pro Nacht (22:00 bis 6:00 Uhr) nur in den seltensten Fällen erhältlich. Diese kann aber anhand der durchschnittlichen, täglichen Verkehrsstärke (DTV) - mit der Annahme, dass 10% des Verkehrsaufkommens auf die Nacht fallen- berechnet werden. Ab 1'000 Fahrzeugen, welche pro Nacht das Bauwerk benutzen, kann davon ausgegangen werden, dass dieses Bauwerk nicht oder nur sehr eingeschränkt von Wildtieren genutzt wird.

$$F_{motVer} = \frac{N_{nacht}}{1000} - 1 * (-1)$$

mit N_{nacht} : Anzahl Fahrzeuge während der Nacht (22:00 bis 6:00 Uhr)
 Wenn $N_{nacht} > 1000 \rightarrow N_{nacht} = 1000$

4.6 Validierung des Bauwerksdurchlässigkeitsindex mit Fotofallendaten

Im Folgenden wird der berechnete Bauwerksdurchlässigkeitsindex (BDI) für die Querungsbauwerke mit den Daten der Fotofallenuntersuchungen der Autobahn A1 und A7 verglichen (siehe Kapitel 2). Dadurch soll dieser überprüft und festgestellt werden, wie gut sich der BDI eignet, um das Nutzungspotential von Querungsbauwerken durch Wildtiere abzuschätzen.

Die untenstehenden Abbildungen 15 und 16 zeigen jeweils für die Autobahn A1 und A7 den Wert des berechneten BDI (rote Linie) sowie die mit den Fotofallen erfassten Tierzahlen (Balken grün u. rot) für jedes Bauwerk der Untersuchungsstrecke.

Um einen statistischen Zusammenhang zwischen dem BDI und der Anzahl gequert Wildtiere von insgesamt 98 Querungsbauwerken zu testen, wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass ein starker statistischer Zusammenhang ($R^2 = 0.44$; $p < 0.001$) zwischen den geprüften Variablen besteht. Dies bedeutet, dass der BDI gut geeignet ist, um das Nutzungspotential von Querungsbauwerken durch Wildtiere abzuschätzen.

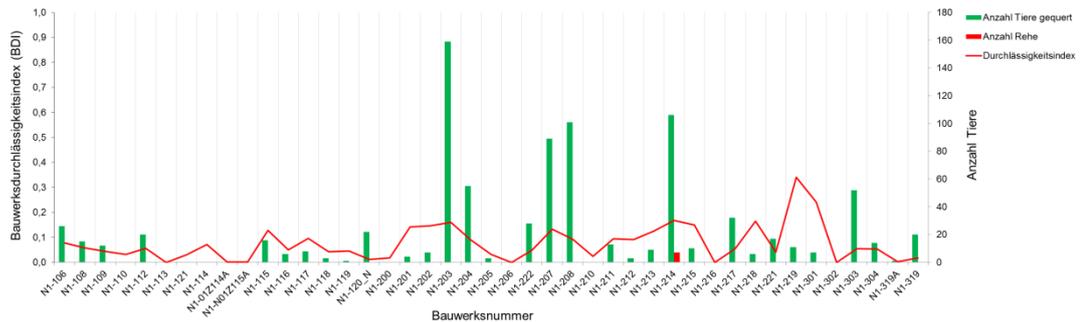


Abb. 27 Autobahn A7: Vergleich des berechneten Durchlässigkeitsindex mit den durch Fotofallen ermittelten Tierzahlen für jedes Bauwerk entlang der Untersuchungsstrecke.

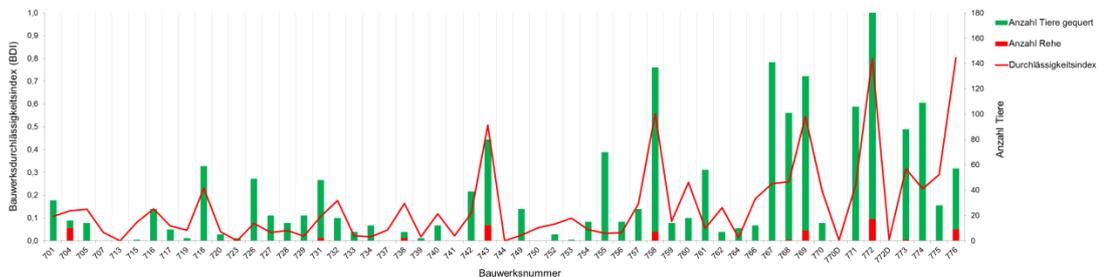


Abb. 28 Autobahn A1: Vergleich des berechneten Durchlässigkeitsindex mit den durch Fotofallen ermittelten Tierzahlen für jedes Bauwerk entlang der Untersuchungsstrecke.

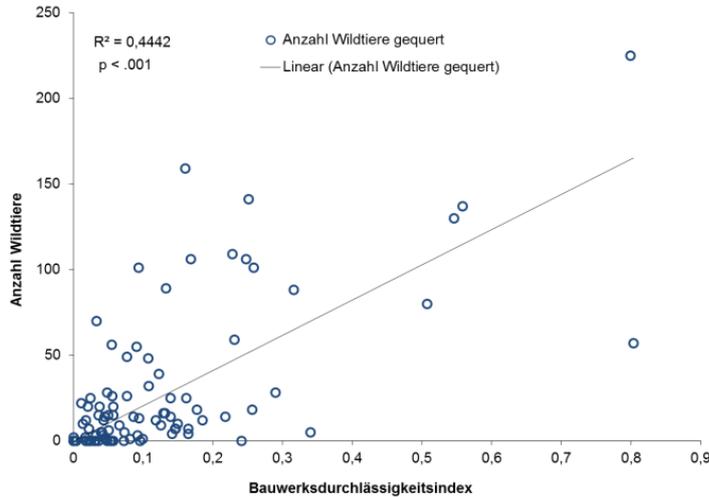


Abb. 29 Die Regressionsanalyse zeigt einen starken Zusammenhang ($R^2=0.44$; $p < .001$) zwischen der Anzahl gequerrer Wildtiere und dem berechneten Bauwerksdurchlässigkeitsindex (BDI) ($n=98$).

4.7 Vergleich der ermittelten Durchlässigkeit mit der Luftbildanalyse der KUBA Bewertung

Mittels Luftbildanalyse (siehe Kapitel 4.4) wurde das Potential der faunaspezifischen Vernetzungsfunktion der Querungsbauwerke entlang des Nationalstrassennetzes abgeschätzt [26], [27]. Wurde aufgrund der Luftbildanalyse eine faunistische Eignung festgestellt, so wurde diesem Bauwerk eine potentielle Bedeutung zugeschrieben. Die Daten wurden in KUBA 5.0 abgelegt und dienen seitdem für die zukünftige Erhaltungsplanung der Kunstbauten als wichtige Grundlage. Im folgenden Vergleich werden die potentielle Bedeutung für die Fauna aus der Luftbildanalyse sowie der berechnete Durchlässigkeitsindex (BDI) mit der effektiven Nutzung der Bauwerke durch Wildtiere - ermittelt durch die Fotofallenuntersuchung - gegenübergestellt.

In Abb. 30 u. Abb. 31 sind diejenigen Bauwerke grau hinterlegt, welchen in KUBA 5.0 eine potentielle Bedeutung für die Fauna zugeschrieben worden ist. Die Anzahl der per Fotofallen erfassten Tiere (siehe Kapitel 2) ist im Diagramm durch Balken (grün, rot) dargestellt. Die rote Linie zeigt den berechneten Durchlässigkeitsindex (siehe Kapitel 4.5) für jedes Bauwerk.

Der Vergleich zeigt, dass die meisten Bauwerke welchen in KUBA 5.0 eine potentielle Bedeutung für die Fauna zugesprochen worden ist, sowohl hohe Querungsraten von Tieren als auch einen hohen Durchlässigkeitsindex (BDI) aufweisen. Allerdings wurde auch einigen Bauwerken eine faunistische Bedeutung zugesprochen, welche weder effektive Wildtierquerungen noch einen guten Bauwerksindex aufweisen.

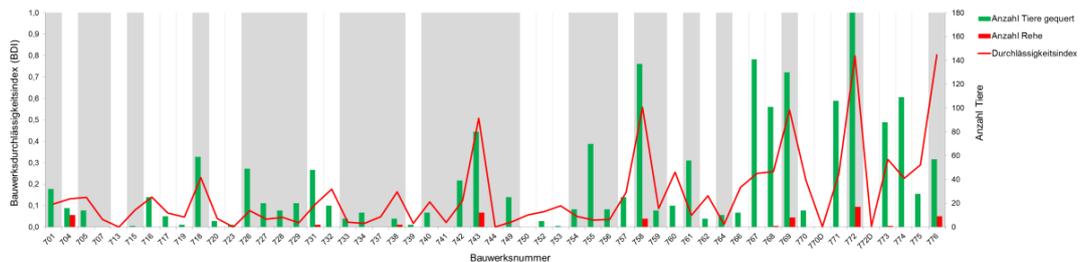


Abb. 30 Vergleich der KUBA 5.0 Daten der Bauwerke welchen eine potentielle faunistische Bedeutung zugesprochen worden ist (graue Hinterlegung) [26] mit Fotofallendaten (grün bzw. rote Balken) und berechnetem Bauwerksdurchlässigkeitsindex (rote Linie) des untersuchtem Streckenabschnittes an der A7 im Thurgau.

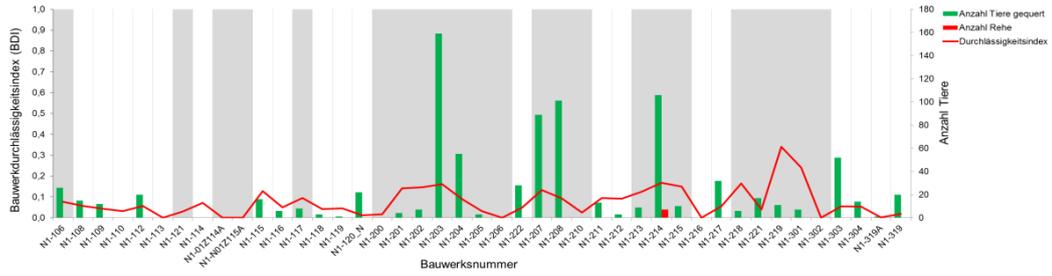


Abb. 31 Vergleich der KUBA 5.0 Daten der Bauwerke welchen eine potentielle faunistische Bedeutung zugesprochen worden ist (graue Hinterlegung) [26] mit Fotofallendaten (grün bzw. rote Balken) und berechnetem Bauwerkdurchlässigkeitsindex (rote Linie) des untersuchten Streckenabschnittes an der A1 im Aargau/Solothurn.

4.8 Übersicht der Methoden zur Ermittlung des Querungspotentials

Die folgende Tabelle vermittelt einen schnellen Überblick über die Vor- bzw. Nachteile der vier verschiedenen Methoden, mit welchen das Querungspotential von Bauwerken ermittelt werden kann.

Methode	Feldarbeit	Aufwand	Gutachter hat Einfluss auf Bewertung	Wildtier-experte nötig	Priorisierung der Bauwerke für Optimierungs-massnahmen möglich?	Aufwand für Beschaffung der Grund-lagedaten	Planung von Optimierungs-massnahmen möglich
Gutachterliche Bewertung durch Begehung	Jedes Bauwerk einmal begehen	hoch	ja	ja	ja	mittel	ja
Erhebung der effektiven Durchlässigkeit	Jedes Bauwerk mehrmals besuchen	sehr hoch	nein	ja	bedingt	hoch	ja
Erfassung des Potentials zur Mitbenutzung durch Luftbildanalyse	Nein, alle Arbeitsschritte am Computer möglich	gering-mittel	ja	ja	nein	mittel	nein
Berechnung der faunaspezifischen Eignung mittels Durchlässigkeitsindex	Nein, alle Arbeitsschritte am Computer möglich	gering-mittel	nein	nein	ja	mittel	nein

Abb. 32 Vor- und Nachteile der Methoden zur Ermittlung des Querungspotentials von Bauwerken an Nationalstrassen.

Die beiden Methoden „Gutachterliche Bewertung durch Begehung“ und „Erhebung der effektiven Durchlässigkeit mittels Fotofallen“ haben gegenüber den beiden anderen aufgeführten Methoden den Vorteil, dass der Gutachter vor Ort einen Eindruck über das Bauwerk bekommt. Vor Ort können Einflüsse, welche auf dem Luftbild oder anhand des Bauwerksdurchlässigkeitsindex nicht ersichtlich werden, erkannt und beurteilt werden. So können z. B. schlecht geführte Zäune die Durchlässigkeit eines Bauwerks deutlich verschlechtern. Allerdings ist die Begehung von jedem Bauwerk entlang eines Streckenabschnitts sehr aufwändig.

Für die Methode „Berechnung der faunaspezifischen Eignung mittels Durchlässigkeitsindex“ sei darauf hingewiesen, dass für die eigentliche Berechnung des Index kein Wildtierexperte erforderlich ist, ein solcher aber für die Interpretation der Ergebnisse und deren Einordnung in den richtigen Kontext unabdingbar ist.

Abschliessend lässt sich festhalten, dass für die Identifikation von geeigneten Bauwerken für eine faunaspezifische Aufwertung und die weitere Optimierungsplanung eine Kombination verschiedener Methoden das beste Ergebnis erzielt. Dementsprechend könnte für eine grosse Anzahl an Bauwerken der Durchlässigkeitsindex berechnet werden um die Grunddurchlässigkeit eines bestimmten Streckenabschnittes zu erkunden. Darauf aufbauend können dann gezielt Bauwerke mit einem hohen Wert des Durchlässigkeitsindexes für die Optimierungsplanung durch einen Experten vor Ort besucht werden.

5 Massnahmen zur Optimierung Durchlässigkeit

5.1 Einleitung

Die Strategie Biodiversität Schweiz [7] betont die Bedeutung der Grunddurchlässigkeit des Nationalstrassennetzes. Die Optimierung von Querungsbauwerken entlang von umzäunten Nationalstrassen kann eine kostengünstige und effektive Massnahme darstellen, um die Grunddurchlässigkeit eines Streckenabschnitts für Wildtiere zu erhöhen [33]. Sie stellt allerdings bei nationalen Wildtiertierkorridoren keinen Ersatz für spezifische Querungsbauwerke (Grünbrücken) dar. Querungsbauwerke mit Aufwertungspotential können mit den in Kapitel 4 aufgeführten Analysemethoden ermittelt werden.

Bei der Optimierung der faunaspezifischen Eignung von Querungsbauwerken muss berücksichtigt werden, dass nicht nur die Optimierung des Bauwerks selbst, sondern in besonderem Masse auch die Umgebung - d.h. die ökologische Vernetzung des Bauwerks mit der umgebenden Landschaft - in die Optimierungsplanung miteinbezogen werden sollte.

Nebst dem Populations- bzw. Abwanderungsdruck und den in einer Region Wanderbewegungen der vorkommenden Wildtierarten sowie der Vernetzung der Querungsbauwerke mit der umgebenden Landschaft sind folgende Grundsätze für die Funktionalität eines Bauwerks von massgeblicher Bedeutung:

Die Wahrscheinlichkeit der Benutzung durch die Fauna steigt,

- je naturnaher der Bodenbelag ausgebildet ist,
- je mehr Kleinstrukturen vorhanden sind,
- je geringer Störungen (z. B. Verkehr, Spaziergänger) auf bzw. innerhalb des Bauwerks sind.

Im Folgenden werden Massnahmen für Bauwerke beschrieben, welche in erster Linie aus technischen Gesichtspunkten erstellt und genutzt worden sind und erst später für die Mitbenutzung durch Wildtiere optimiert werden sollen.

5.2 Überführungen/ Brücken

5.2.1 Bodenbelag

Bestehende Überführungen weisen hauptsächlich einen festen Belag aus Asphalt oder Beton auf. Besonders für Kleinsäuger und Amphibien ist jedoch ein natürlicher Boden ein wichtiger Faktor. Für die Tiere kann diese Abweichung von ihrer natürlichen Umgebung ausreichen, um die Überführung als Arealgrenze anzusehen. Aus diesem Grund sollte im Idealfall die Fahrbahn auf der Überführung mit Kies und an den Rändern mit einem dem Standort entsprechenden Bodenmaterial belegt werden (*Abb. 33*).

Zudem ist ein in das Gelände integrierter, kombinierter Blend- und Lärmschutz (sog. Irritationsschutz) zu empfehlen, um nicht nur Lärm und Licht auf dem Bauwerk zu reduzieren, sondern auch um die Wahrscheinlichkeit zu minimieren, dass Kieselsteine auf die darunterliegende Fahrbahn gelangen können. Im Idealfall ist der mit lockerem Boden ausgestattete Randbereich mit Vegetation bewachsen oder mit Strukturen wie Reisigholz oder Totholz für Wildtiere attraktiver gestaltet.

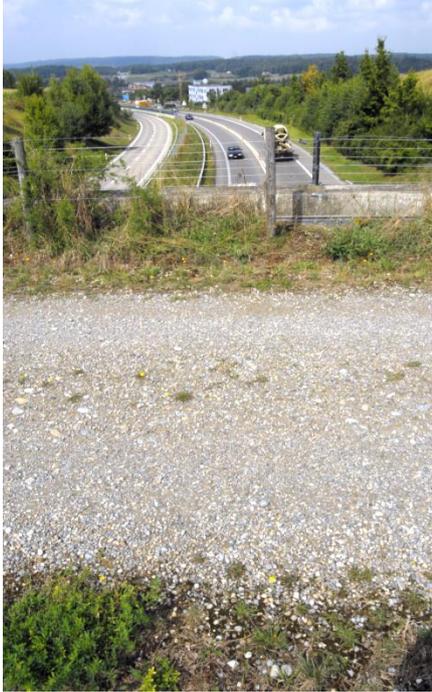


Abb. 33 Wirtschaftswegüberführung mit Kiesbelag und beidseitigem Vegetationsstreifen über die A4 bei Andelfingen (ZH). Leider wurde auf diesem Bauwerk nichts gegen Licht- und Lärmemissionen der Strasse unternommen. Die Installation einer Irritationsschutzwand würde dieses Bauwerk für Wildtiere deutlich attraktiver machen.

5.2.2 Irritationsschutz

Die durchgeführte Untersuchung mit einem provisorischen Blendschutz auf einer Überführung hat gezeigt (Kapitel 3), dass ein Blendschutz, der hauptsächlich die Lichtemissionen des Strassenverkehrs abschirmt, nicht ausreicht, um ein Bauwerk durchlässiger zu gestalten. Aus diesem Grund sollten zusätzlich die Lärmemissionen der Fahrzeuge durch einen Irritationsschutz minimiert werden. Sollte ein Kiesbelag auf dem Bauwerk vorhanden sein, minimiert dieser zudem die Wahrscheinlichkeit, dass Kieselsteine auf die darunterliegende Fahrbahn gelangen können. Ist mit einem hohen nächtlichen Verkehr zu rechnen, ist es empfehlenswert, den Irritationsschutz weiter entlang des Wildzauns der Nationalstrasse zu verlängern, um eine deutliche Verminderung der Licht- und Lärmemissionen zu erreichen. Zusätzlich dienen Irritationsschutzwände als Leiteinrichtungen für zahlreiche strukturegebundene Fledermausarten [34].

5.2.3 Strukturen für Kleintiere

Kleintiere bewegen sich hauptsächlich entlang von Strukturen welche ihnen ausreichend Versteckmöglichkeiten bieten. Die Durchlässigkeit von Brückenbauwerken kann durch das Anlegen von Randbereichen, diemit Vegetation bewachsen und/oder mit Strukturen wie Reisigholz oder Totholz angereichert sind, erhöht werden.



Abb. 34 Beidseitig angelegte Vegetationsstreifen einer Wirtschaftswegüberführung über die A4 bei Andelfingen (ZH).

5.3 Unterführungen

5.3.1 Bodenbelag

Bestehende Unterführungen weisen hauptsächlich einen versiegelten Belag, z. B. Asphalt oder Beton, auf. Besonders für Kleinsäuger und Amphibien ist jedoch ein natürlicher Boden ein wichtiger Faktor. Für die Tiere kann diese Abweichung von ihrer natürlichen Umgebung ausreichen, um den Raum innerhalb der Unterführung als Arealgrenze erscheinen zu lassen. Aus diesem Grund sollte im Idealfall der Boden entsiegelt und mit einem dem Standort entsprechenden Bodenmaterial ausgetauscht werden. Sollte ein Austausch des Bodens nicht flächig möglich sein, bieten sich schmale Streifen mit natürlichem und lockerem Bodenmaterial am Rande des Bauwerks als Alternative an.

5.3.2 Strukturen für Kleintiere

Auch bei Unterführungen sind Vegetationsstrukturen, die Kleintieren Schutz bieten, von grosser Bedeutung. Allerdings ist bei den meisten Unterführungen aufgrund ihrer langen und niedrigen Bauweise ein Wassereintrag durch Niederschlag nicht gegeben. Ist die Feuchtigkeit innerhalb des Bauwerks zu gering, kann sich keine dauernde Vegetation ausbilden. Es fehlt somit an Deckungsmöglichkeiten für querende Kleintiere. Als Alternative können in Reihen aufgehäuftes Reisigholz und Totholz in Kombination mit grobem Gesteinsmaterial als deckungsgebende Strukturen verwendet werden.



Abb 35 Unterführung bei Rothenburg für die gemeinsame Nutzung von Strassenverkehr und Wildtieren. Im rechten Bereich besteht ein lockerer Boden mit eingebrachten Strukturen (Steinhaufen), welche Kleintieren Versteckmöglichkeiten bieten. (Foto: A. Righetti)



Abb 36 Bei dieser Unterführung an der A16 wurden Strukturen für Kleintiere durch Ausbringen von Wurzelstöcken eingebracht. (Foto: M. Trocmé)

5.3.3 Störungen

Regelmässige Störungen innerhalb als auch in der näheren Umgebung des Bauwerks verringern – besonders in der Nacht - entscheidend die Wahrscheinlichkeit, dass Wildtiere ein Bauwerk benutzen. Störungen können vielfältiger Natur sein: z. B. ein in der Nähe liegender Grillplatz, nächtlicher Verkehr oder häufig passierende Spaziergänger mit Hunden.

Ist von einem erhöhten, regelmässigen nächtlichen Verkehr auf dem Brückenbauwerk auszugehen, können durch lärmindernde Irritationsschutzwände auf der Brückenkappe die optischen Reize durch die Scheinwerfer der Fahrzeuge sowie die Lärmemissionen stark reduziert werden. Für scheue Arten wird empfohlen, die Irritationsschutzwände soweit über das Brückenbauwerk entlang des Wildzauns der Nationalstrasse zu verlängern, dass eine deutliche Schallminderung erreicht wird. Zusätzlich muss auf leise Fahrbahnübergänge geachtet werden, da die Konstruktion der Schlepplatten ein erhebliches Lärmpotential innerhalb der Bauwerke aufweisen. Die Lärmemissionen der Schlepplatten sind deshalb so problematisch, da der Lärm plötzlich auftritt und dem Klangbild von Schüssen ähnlich ist. Als besser geeignete Fahrbahnübergänge haben sich sog. Fingerübergangskonstruktionen bewährt. Bei Bauwerken mit einer lichten Höhe von mehr als 40 m und grosser Spannweite (Viadukt) sollten die Lärmemissionen vor Ort beurteilt werden.

In ländlichen Gebieten besteht die Gefahr, dass eine unsachgemässe Drittnutzung der Querungsbauwerke - z. B. das Unterstellen von Fahrzeugen oder die Lagerung von Material - die Durchlässigkeit für die Fauna vermindert. Um solche Fremdnutzungen zu verhindern, sollten wenn möglich direkte Zu- und Durchfahrten durch grosse Steinblöcke oder Ähnliches blockiert werden.

5.4 Gewässerdurchlässe

Diese Querungsmöglichkeiten sind für die ökologische Vernetzung von besonderer Bedeutung. Gemäss Gewässerschutzgesetz (GschG) [35] kommt der Erhaltung des natürlichen Verlaufs der Gewässer samt Gewässerraum höchste Priorität zu (vgl. Art. 37 Abs. 2 und Art. 38a GSchG).

Gewässerdurchlässe wurden für die Durchleitung von kleinen Bächen oder Drainagesystemen konzipiert. Einige werden das ganze Jahr hindurch mit Wasser durchlaufen, andere nur zeitweise nach starken Regenfällen oder während der Schneeschmelze. Bei Gewässerdurchlässen, welche die meiste Zeit des Jahres mit Wasser befüllt sind, ist es wichtig, dass der Verlauf des Gewässers möglichst naturnah ausgestaltet ist; D.h., dass die Sohle unbedingt eine natürliche Struktur und keine Abstürze aufweisen sollte. Gleichzeitig sollte die Uferzone nicht unterbrochen werden. Dies kann durch seitlich angebrachte Laufflächen (sog. Bermen) innerhalb des Durchlasses erreicht werden, welche barrierefrei an den Uferbereich ausserhalb des Durchlasses anschliessen und über dem Niedrigwasserpegel liegen. Die VSS Norm 640 696 „Fauna und Verkehr; Gewässerdurchlässe, faunagerechte Gestaltungsmaßnahmen“ [36] beinhaltet Standardmassnahmen, mit welchen vorhandene Gewässerdurchlässe durch bauliche Massnahmen für die Fauna durchgängiger gestaltet werden können.

Nebst Grünbrücken sind Gewässerdurchlässe nicht nur für aquatische und terrestrische Tierarten von grosser Bedeutung, sondern auch für zahlreiche Fledermausarten [34], [37].

Danksagung

Die Autoren bedanken sich recht herzlich bei allen Personen, die zur Erarbeitung der vorliegenden Arbeit beigetragen haben.

Ein besonderes Dankeschön geht an Andy Heller (Leiter Tiefbauamt Thurgau), Roman Kistler (Leiter Jagd- und Fischereiverwaltung Thurgau) sowie Dr. Hannes Geisser (Direktor Naturmuseum Frauenfeld) für ihre Unterstützung bei der Projektidee bis hin zur Umsetzung der Fotofallenuntersuchung an der A7 im Thurgau.

Herzlichen Dank auch an Halil Yildiz und sein Team (NSNW, Standort Schafisheim) für die unkomplizierte und professionelle Erstellung des provisorischen Blendschutzes.

Vielen Dank geht auch an Mark Struck (Amt für Jagd und Fischerei Solothurn) und Reto Fischer (Jagd u. Fischerei Aargau) für die Bereitstellung der Jagd- und Fallwildstatistik entlang der Untersuchungsstrecke der A1.

Besten Dank auch an Roman Zbinden sowie Paul Burch vom ASTRA für die Unterstützung bei den Arbeiten an der A1.

Ein herzliches Dankeschön auch an die Mitglieder der VSS-Kommission der NFK 2.6, besonders Antonio Righetti, für die sorgsame Durchsicht des Manuskriptes.

Glossar

Begriff	Bedeutung
Blendschutz	Schützt die wandernden Tiere vor störenden Blendwirkungen des Strassenverkehrs. Strassenlärm wird durch einen Blendschutz nur minimal verringert.
Durchlässigkeit	Quantifiziert die Möglichkeit von Wildtieren, Verkehrsinfrastrukturen überqueren zu können.
Grunddurchlässigkeit	Quantifiziert die Durchlässigkeit eines Querungsbauwerks oder eines Streckenabschnitts ohne faunaspezifische Vorkehrungen.
Irritationsschutz	Schützt die wandernden Wildtiere gleichzeitig vor störendem Lärm und Blendwirkungen des Strassenverkehrs.
KUBA	Kunstabautendatenbank des ASTRA, in welcher Daten zu allen Kunstbauten abgelegt sind. Diese Daten dienen in erster Linie zur Planung der Überwachung und Erhaltungsmaßnahmen.
Marderartige	Tierarten wie Stein- und Baummarder, Iltis, Wiesel.
Querungsbauwerk	Kunstabauwerk, das die Strasse über- oder unterquert.
Wildtiere	Alle Wirbeltierarten, die nicht gezähmt sind und in Freiheit leben, Fledermäuse nicht inbegriffen. Synonym: Fauna.

Literaturverzeichnis

- [1] P. Oggier, A. Righetti, and L. Bonnard, **“COST 341 - Zerschneidung von Lebensräumen durch Verkehrsinfrastrukturen,”** Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bundesamt für Strassen (ASTRA), Bern, 2001.
- [2] J. Jaeger and R. Holderegger, **“Schwellenwerte der Landschaftszerschneidung,”** *GAIA*, vol. 14/2, pp. 113–118, 2005.
- [3] L. Fahrig, **“Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity,”** *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, vol. 34, no. 1, pp. 487–515, 2003.
- [4] R. Holderegger and M. Di Giulio, **“The genetic effects of roads: A review of empirical evidence,”** *Basic and Applied Ecology*, vol. 11, no. 6, pp. 522–531, 2010.
- [5] M. Trocmé *et al.*, **“COST 341 - Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure - The European Review,”** Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2003.
- [6] BUWAL, **“Landschaftskonzept Schweiz – Teil 1 Konzept,”** Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 1998.
- [7] BAFU, **“Strategie Biodiversität Schweiz,”** Bundesamt für Umwelt, Bern, 2012.
- [8] SASVZ, **“Schweizerische automatische Strassenverkehrsählung,”** Bundesamt für Strassen (ASTRA), 2014.
- [9] J. Jumeau and Y. Handrich, **“Latest technologies to assess utilization of fauna underpasses by wildlife,”** in *IENE Conference 2016 - Integrating Transport Infrastructure with Living Landscapes*, Lyon, 2016.
- [10] P. Schiefenhövel, S. Arnold, and B. Kunz, **“Autobahntunnelungen als Querungsmöglichkeit für Wildtiere,”** *Decheniana*, vol. 163, pp. 121–135, 2010.
- [11] B. Luell *et al.*, **“COST 341 - Habitat fragmentation due to transportation infrastructure: Wildlife and traffic : a European handbook for identifying conflicts and designing solutions,”** KNNV, 2003.
- [12] M. N. Kachamakova and D. P. Zlatanova, **“Use of non-specialised structures as wildlife passages, Lyulin Motorway, Bulgaria,”** in *IENE Conference 2016 - Integrating Transport Infrastructure with Living Landscapes*, Lyon, 2016.
- [13] L. Balčiauskas and L. Balčiauskiene, **“Safeguarding wild animals and vehicles on the main roads of Lithuania: an assesment oft the effectiveness of measures,”** in *IENE Conference 2016 - Integrating Transport Infrastructure with Living Landscapes*, Lyon, 2016.
- [14] A. Clevenger and N. Waltho, **“Factors influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada,”** *Conservation Biology*, vol. 14, no. 1, pp. 47–56, 2000.
- [15] J. W. Gagnon, N. L. Dodd, K. S. Ogren, and R. E. Schweinsburg, **“Factors associated with use of wildlife underpasses and importance of long-term monitoring,”** *The Journal of Wildlife Management*, vol. 75, no. 6, pp. 1477–1487, 2011.
- [16] B. Luell *et al.*, **“Wildlife and Traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions,”** 2003.
- [17] A. Clevenger and N. Waltho, **“Performance indices to identify attributes of highway crossing structures facilitating movement of large mammals,”** *Biological Conservation*, vol. 121, pp. 453–464, 2005.
- [18] B. Georgii, E. Peters-Ostenberg, and M. Henneberg, **“Nutzung von Grünbrücken und anderen Querungsbauwerken durch Säugetiere,”** Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung - BMVBS-, Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr, 2007.
- [19] A. Clevenger and M. P. Huijser, **“Wildlife Crossing Structure Handbook - Design and Evaluation in North America,”** Central Federal Lands Highway Division, Lakewood, USA, 2011.
- [20] V. Hlaváč and P. Anděl, **“On the permeability of roads for wildlife - a handbook,”** Roads and Highways Directorate of the Czech Republic, Prague, 2002.
- [21] H. P. Pfister, B. Georgii, V. Keller, D. Heynen, and F. Lerber, **“Häufigkeit und Verhalten ausgewählter Wildsäuger auf unterschiedlich breiten Wildtierbrücken (Grünbrücken) Ergebnisse von Beobachtungen mittels Infrarot-Video-Technik,”** Schweizerische Vogelwarte, Sempach, 1998.
- [22] C. Schmellenkamp and U. Tegehof, **“Vernetzungseignung von Brücken im Bereich von Lebensraumkorridoren,”** Bundesanstalt für Strassenwesen, Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen Heft V 214, 2012.
- [23] H. Reck and B. Georgii, **“Empfehlungen für Querungshilfen an Straßen und Gleisen,”** Verbände-Vorhaben „Überwindung von Barrieren“, 2007.
- [24] R. van der Ree, D. J. Smith, and C. Grilo, **“Handbook of road ecology.”** John Wiley & Sons, 2015.

-
- [25] J. P. Beckmann, Ed., *Safe passages: highways, wildlife, and habitat connectivity*. Washington, DC: Island Press, 2010.
-
- [26] A. Righetti, **“Erfassung faunaspezifischer Daten in KUBA, Luftbildanalyse,”** Piu GmbH, Waldstrasse 47, 3097 Liebefeld, Bundesamt für Strassen ASTRA, 2011.
-
- [27] A. Righetti, **“Erfassung faunaspezifischer Daten in KUBA, Bericht Fachkonzept,”** Piu GmbH, Waldstrasse 47, 3097 Liebefeld, Bundesamt für Strassen ASTRA, 2011.
-
- [28] K. Krause and J. Rieder, **“Ermittlung von Bauwerken mit Potenzial für eine faunaspezifische Aufwertung mittels Bauwerksdurchlässigkeitsindex auf der Strecke Küsnacht (SZ) – Brunnen Nord der A4,”** Kaden & Partner AG, Frauenfeld, Bundesamt für Strassen ASTRA, 2015.
-
- [29] A. Righetti, **“A4 Abschnitt Küsnacht-Brunnen – Analyse der faunaspezifischen Funktion der Bauwerke, Ist-Zustand/ Massnahmen zur Verbesserung/ Priorisierung der Umsetzung der Massnahmen,”** Piu GmbH, Waldstrasse 47, 3097 Liebefeld, Amt für Natur, Jagd und Fischerei Kt. Schwyz, 2013.
-
- [30] K. Krause and J. Rieder, **“Durchlässigkeitsindex vs. gutachterliche Bewertung - Bewertungsmethoden für die faunaspezifische Funktion von Querungsbauwerken im Vergleich, Abschnitt A4 Küsnacht Brunnen,”** Kaden & Partner AG, Frauenfeld, Bundesamt für Strassen ASTRA, 2011.
-
- [31] K. Krause and J. Rieder, **“Untersuchung über die Durchlässigkeit der Autobahn A7 für Wildtiere im Kanton Thurgau,”** *Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft TNG*, vol. 67, 2014.
-
- [32] BAFU, **“SonBase – GIS-Lärmdatenbank der Schweiz. Grundlagen,”** Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 0908, 2009.
-
- [33] J. Kintsch, S. Jacobson, B. Charry, and K. McAllister, **“The untapped potential of retrofitting: Upgrading existing infrastructure to reduce fragmentation impacts and enhance wildlife passage,”** in *IENE 2016 - Integrating Transport Infrastructure with Living Landscapes*, Lyon, 2016.
-
- [34] R. Brinkmann *et al.*, **“Planung und Gestaltung von Querungshilfen für Fledermäuse - Eine Arbeitshilfe für Straßenbauvorhaben im Freistaat Sachsen,”** Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, 2012.
-
- [35] GSchG, **“Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer,”** Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft, 2016.
-
- [36] VSS Norm 640696, **“Fauna und Verkehr, Gewässerdurchlässe, faunagerechte Gestaltungsmassnahmen.”** Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), 2010.
-
- [37] L. Bach, P. Burkhardt, and H. Limpens, **“Tunnels as a possibility to connect bat habitats,”** *Mammalia*, vol. 68, no. 4, 2004.
-
- [38] BUWAL, **“Korridore für Wildtiere in der Schweiz”**, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 2001, Bern
-

Auflistung der Änderungen

Ausgabe	Version	Datum	Änderungen
2017	V1.00	06.07.2017	Inkrafttreten Ausgabe 2017.

