

Entwicklung von technischen Möglichkeiten zur Vernetzung von Lebensräumen unter Brücken

FA 2.261

Forschungsstelle: Froelich und Sporbeck Umweltplanung und Beratung, Bochum

Bearbeiter: Sporbeck, O./Meinig, H./Herrmann, M./Ludwig, D./Lüchtemeier, J.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: April 2012

1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die Isolations- und Barriereeffekte insbesondere von Straßen (Ähnliches gilt auch für andere Verkehrsstraßen) für Tierpopulationen sind ein hinlänglich bekanntes Problem (z. B. Reck & Kaule 1993 [1], Geiger 1986 [2], Olschowy 1981 [3], Mader 1980ff. [4], Blab 1977 [5]). Mittlerweile sind Grünbrücken eine etablierte Maßnahme zur Vernetzung von Lebensräumen über Straßen und andere Verkehrswege hinweg (Georgii et al. 2011, 2007 [6], Proschek 2005 [7]). Darüber hinaus existiert eine Vielzahl von Brückenbauwerken und Unterführungen, denen keine spezifische Vernetzungsfunktion für Tierpopulationen als Ziel zugeordnet ist.

Hinsichtlich der Querung durch Tierarten stellen sich viele Flächen unter Brückenbauwerken von der Bodenbeschaffenheit und der Vegetationsausprägung sehr lebensfeindlich dar. Unter den Brücken finden sich häufig naturferne verdichtete Rohböden und kein oder wenig Vegetationsaufwuchs. Ein Verfahren zur Beurteilung von Flächen unter solchen Bauwerken hinsichtlich ihrer ökologischen Nutzbarkeit schlagen Schmeilkamp & Tegethof (2012) [8] vor.

Im Rahmen des Vorhabens wurden vorhandene Brückenbauwerke mit Wasserzuführung unterschiedlicher Konstruktionsweisen auf ihre Effizienz bzgl. der Minderung von Barriere- und Isolationswirkungen für bodengebundene Tierarten sowie

bzgl. ihres Kosten-Nutzen-Verhältnisses (Herstellungs-, Betriebs- und Wartungskosten im Verhältnis zu Effektivität und Funktionalität) unter Einbeziehung der jeweiligen topografischen, vegetationskundlichen und faunistischen Gegebenheiten auch im brückenunbeeinflussten Umfeld untersucht. Ziel ist es, Hinweise zur Verbesserung der Funktion von Brückendurchlässen als Vernetzungselemente bei gleichzeitiger Reduzierung der Herstellungs- und Betriebskosten für etwaige technische Anlagen abzuleiten. Schwerpunktmäßig standen dabei technische Bewässerungssysteme im Vordergrund der Untersuchung, um deren Effekte für eine positive Vegetationsentwicklung zu klären. Das Untersuchungsprogramm war dabei so angelegt, dass differenzierte Aussagen im Hinblick auf die untersuchten Tierarten für die verwendeten Bewässerungssysteme unter Berücksichtigung der umgebenden Habitatausstattung und Vegetationsstrukturen möglich sind. Ebenfalls werden Hinweise zu technischen Verbesserungen der Systeme bzw. der Gestaltung und Ausstattung der Oberfläche unter den Brücken zur Stützung des Passageerfolgs gegeben. Letztendlich werden Folgerungen für technische Verbesserungen der eingesetzten Systeme abgeleitet. Außerdem wurden an zwei bzw. drei vorhandenen Brückenbauwerken unterschiedliche, bisher noch nicht erprobte Systeme zur Bewässerung installiert, um deren Effekte im Rahmen einer Vorher-Nachher-Untersuchung beurteilen zu können.

2 Untersuchungsmethodik

2.1 Voruntersuchungen

An den 22 bzw. 20 Brückenbauwerken der Vor- und vertiefenden Untersuchungen wurden neben der Aufnahme von baulichen Charakteristika (lichte Höhe, Breite, Aufweitungen etc.) Schall-, Licht- und Windmessungen durchgeführt. Regenmessungen erfolgten exemplarisch an einigen Brücken.

Die Grundkartierungen an den 17+3 Brückenbauwerken der vertiefenden Untersuchungen erfolgten von April bis Juni 2007. Es wurde eine Darstellung der aktuellen Vegetationszonierung auf Biotoptypenebene vorgenommen. Die Bestandsaufnahmen dienten letztendlich der Auswahl von zwölf Standorten für die vertiefenden Aufnahmen. Ausführliche Vegetationsaufnahmen wurden an diesen zwölf ausgewählten Brückenbauwerken durchgeführt.

Wesentliche Parameter für die Ausprägung der Vegetation sind die Wasser- und Lichtversorgung der Standorte unter den Brücken. Bei Brücken mit vierstreifigen Straßen ohne Mittelstreifenaufweitung (in der Regel mit einem RQ 29,5) ist unterhalb von Höhen von etwa vier Metern in der Regel keine ausreichende Lichtversorgung gegeben, sodass auch mit optimaler Wasserversorgung kein nennenswerter Vegetationsaufwuchs zu erzielen ist. Über die Faktoren Licht und Wasser hinaus konnten durch die Grundaufnahmen weitere Faktoren ermittelt werden, die in Wechselwirkung miteinander und in ihrer Wirkung auf die Wasserverfügbarkeit die Vegetationsbildung unter technischen Bauwerken maßgeblich beeinflussen.

Bei den verbreitet anzutreffenden, stark verdichteten und zusätzlich vielfach noch von Bauschutt geprägten Böden ist trotz guter Lichtverhältnisse und trotz ausreichender Wasserversorgung durch Schlagregen kaum Vegetationsbildung zu beobachten (z. B. Teilbereiche Tiefenbachtal, Rosenthalgraben, Teilbereiche Barnekow). Bei mehrwöchigen Überflutungssituationen oder temporär verschlammten Böden ist keine Vegetationsentwicklung zu beobachten (z. B. Fuhse, Teilbereiche Barnekow).

Bei hoher Geländeneigung ist auch bei guter Lichtversorgung und Schlagregen auf skelettreichen Böden vielfach keine Vegetationsentwicklung zu beobachten (z. B. Teufelstalbrücke, Brücke Zeitgrund). Bei starken Bodenbewegungen und -verdichtungen durch Tritt, Abstellen von landwirtschaftlichen Fahrzeugen oder Befahren mit Zweirädern wächst trotz ansonsten ausreichender Licht- und Wasserversorgung und geeigneter Böden keine Vegetation bzw. verschwindet die Vegetation infolge der Bodenbewegungen und -verdichtungen (z. B. Zehmen, Radegast – lokal, Teilbereiche Barnekow, Zwester Ohm, Trebeltal – Wendeschleife, Schunter, Kinzigbrücke).

2.2 Ergebnisse der vertiefenden Untersuchungen

2.2.1 Böden

Es wird die Hypothese vertreten, dass bei 70 % der derzeit vegetationslosen Flächen unter Brückenbauwerken mit einer Verbesserung des Bodens (inklusive des Ausschlusses jeglicher landwirtschaftlicher Nutzung mit Düngungseffekten und Fehlnutzungen mit Bodenverdichtungen) und der Zuleitung von Wasser die Vegetationsdeckung und damit das Strukturangebot für migrierende Tiere verbessert werden können.

2.2.2 Wind

Wind hat einen Einfluss auf den Feuchtigkeitshaushalt des Bodens und damit auf die Vegetation unterhalb eines Brückenbauwerks. Allgemein herrscht unterhalb von Brücken eine durchschnittlich höhere Windgeschwindigkeit als in einiger Entfernung von den Bauwerken. Dies wird durch die Einengung des Querschnitts von Talräumen durch Brückenaufbauten und das Bauwerk selbst beeinflusst ("Düsenwirkung"). Dadurch kommt es zu einer erhöhten Verdunstung von Pflanzen und Boden, was einen großen Einfluss auf die Vegetationsstruktur unterhalb der Brückenbauwerke hat. Mit zunehmender Höhe der Brückenbauwerke nimmt der Effekt der Steigerung der Windgeschwindigkeiten unter den Bauwerken ab, weil die Einengung des Talquerschnitts geringer wird.

2.2.3 Licht

Die Messungen zeigen, dass selbst unter niedrigen Brücken mit einer Höhe von 4 bis 5 m und einer Nord-Süd-Ausrichtung des Bauwerks eine noch ausreichende Einstrahlung von mind. ca. 3 % für das Wachstum von schattenverträglichen Gefäßpflanzen gegeben ist. Die Messungen der Lichtintensität unterhalb der Brücken sowie der angrenzenden Flächen offenbaren sehr gravierende Unterschiede. In den beschatteten Bereichen unterhalb der Brücken konnte eine bis zu 150-mal geringere Lichtintensität als in den besonnten Bereichen außerhalb des Schattens der Brücke gemessen werden. Es ist daher davon auszugehen, dass die Schattenwirkung der Brücken einen Einfluss auf die Zusammensetzung und Dichte der Vegetation unterhalb der Bauwerke hat, einen Pflanzenwuchs jedoch nicht nachhaltig ausschließt.

2.2.4 Schall

Die höchsten Schallimmissionen tagsüber sind an den Brückenwiderlagern festzustellen. Dabei ist es unerheblich, ob es sich um Brücken mit oder ohne Schallschutz handelt. Insbesondere die knallartigen, dumpfen Überfahrgeräusche an den Dehnungsfugen geben Schall in einem Frequenzbereich ab, der Tiere erschrecken lassen kann. Für Säugetiere, die Flächen unter einem Bauwerk passieren wollen, ist der Dauerschallpegel einer Lärmquelle nicht der primär zu betrachtende Störeinfluss. Vielmehr sind kurzfristige Spitzenschallpegel – kombiniert mit anderen Sinneseindrücken (optische, olfaktorische) – die Konstellationen, die am ehesten ein Meidungsverhalten sich nähernder Säuger auslösen (vgl. Herrmann 2001 [9]).

2.2.5 Niederschlag und Wasserzufuhr

Wind bedingt, dass Niederschlagswasser unter die Brücke verdriftet wird. Insbesondere bei Gewitterereignissen und starken Regenfällen kann dies zu signifikanten Niederschlägen in Teilbereichen auch unter dem Bauwerk führen. Allerdings ist dies abhängig von der Exposition des Bauwerks relativ zur Hauptwindrichtung. Bei Nieselregen wird zwar ebenfalls Niederschlag unter die Brücke verdriftet, allerdings scheint durch die meist erhöhten Windgeschwindigkeiten unter dem Bauwerk hierdurch kein Benässungseffekt feststellbar.

2.2.6 Vegetation

Im Wesentlichen zeigen die Ergebnisse der Vegetationsaufnahmen, dass die Bodenfeuchte und -struktur das Vorkommen von Vegetation unter Brücken bestimmen. Darüber hinaus wirkt sich der Standortfaktor Licht auf die Vegetationsstruktur aus. Lichtmangel beeinflusst die Artenzusammensetzung, Dichte und Vitalität der Vegetation. Ob überhaupt Pflanzenwuchs möglich ist, bestimmen aber Feuchtigkeit und Bodenstruktur.

2.2.7 Mittel- und Großsäuger

Insgesamt wurden an den untersuchten Brückenbauwerken 251 Spurenerfassungen durchgeführt. Als Mittel- und Großsäuger sind die Huftiere (Reh, Damwild, Wildschwein) zusammengefasst. In der Kategorie Raubtiere sind Fuchs, Dachs, Baumarder, Steinmarder, Iltis, Marderhund und Waschbär gelistet. Die Kategorie Hasenartige gibt die Zahl der Hasen- und Kaninchenspuren wieder. Für Mittelsäuger insgesamt sind Vegetationsstrukturen auf Flächen unter Brückenbauwerken für die Passage zwar wichtig, treten jedoch gegenüber anderen Faktoren (Waldrandlage, geringe Frequentierung durch den Menschen), die die ökologische Durchlässigkeit unter Brückenbauwerken für Säugetiere beeinflussen, zurück. Im Fall von Großsäugern ist für die Querung unter Brücken ein Vorkommen von Vegetation unter den Bauwerken von untergeordneter Relevanz.

2.2.8 Kleinsäuger

An allen untersuchten Brückenbauwerken sind anhand der festgestellten Bewegungsmuster von Kleinsäufern Barrierewirkungen im Bereich vegetationsloser und -armer Zonen zu beobachten (vgl. auch Mader & Pauritsch 1981 [10], Mader 1979 [11]). Innerhalb bewachsener Teilflächen sind häufigere Ortswechsel zu beobachten als zwischen unbewachsenen Teilflächen, wenn hierbei offene Teilflächen überwunden werden müssen. Eine Meidung von nicht in ausreichendem Maße Deckung bietenden Fallengruppen gegenüber in dichten Vegetationsbeständen gelegenen lässt sich auch innerhalb der vorliegenden Untersuchung hochsignifikant nachweisen.

3 Darstellung der Techniken

3.1 Eingesetzte Bewässerungstechniken

3.1.1 Auswahl der Brückenstandorte zur Ausstattung mit Beregnungsanlagen

Ausschlaggebend für die Auswahl der Brücken, die mit einer Beregnungsanlage ausgestattet wurden, ist der Umstand, dass das Fehlen von Vegetation unter dem jeweiligen Bauwerk mit hoher Wahrscheinlichkeit auf eine Unterversorgung mit Wasser zurückzuführen war. Nach den Voruntersuchungen war davon auszugehen, dass sowohl ein Minimum an Licht (abhängig von einer lichten Höhe von mindestens ca. 4 m bei vierstreifigen, Nord-Süd ausgerichteten Brückenbauwerken ohne Mittelstreifenaufweitung) als auch ein von Pflanzen noch besiedelbares Bodensubstrat unter den Brücken vorhanden sein muss.

Es wurden zwei Brückenbauwerke für die Installation von Beregnungsanlagen, die das Beregnungswasser mittels Pumpen aus den Vorflutern entnehmen und über Düsen versprühen, ausgewählt. Es handelte sich um die Brücke im Zuge der A 2 über den Wasserlauf der Aue/Erse und angrenzende Flächen zwischen Harvesse und Wendeburg (Gemeinde Wendeburg, Landkreis Peine, Niedersachsen) mit Betrieb der Beregnungsanlage ab Ende Mai 2008 und um die Brücke im Zuge der B 3a über das Muldenal der Zwester Ohm in der Gemeinde Fronhausen (Landkreis Marburg-Biedenkopf, Hessen), deren Beregnungsanlage ab Anfang Juni 2009 arbeitete. Ab Spätsommer und Herbst 2007 bzw. 2009 wurden an allen drei Brückenstandorten (s.u.) jährlich wiederkehrende Untersuchungen der faunistischen Artengruppen sowie der Vegetation durchgeführt, um die Effekte der Beregnung und Bewässerung exemplarisch ermitteln zu können. Zusätzlich wurde eine Brücke in Rheinland-Pfalz in der Gemeinde Altrich im Landkreis Berncastel-Wittlich (Brücke im Zuge der A 60 im Bereich Königsbuche) ausgewählt und in das Untersuchungsprogramm aufgenommen, wobei Flächen unter der Brücke mit straßenbürtigem Regenwasser aus der Straßenentwässerung über Verrieselungsteller bewässert werden (Betrieb ab Oktober 2008).

3.1.2 Brückenbauwerk Aue/Erse

Das Wasser für die Beregnungsanlage wurde aus dem Wasserlauf der Aue/Erse mittels eines Saugschlauchs (Durchmesser 3,2 cm) und einer Zentrifugalpumpe (Kreiselpumpe) mit einer Leistung von 1,1 kW/h entnommen. Für einen Beregnungsgang an einem Tag zur Simulation der natürlichen Niederschlagsverhältnisse außerhalb des Brückenbauwerks (440 mm Niederschlag in acht Monaten) wurden ungefähr 1,10 m³ Wasser benötigt. Der Saugschlauch war unterirdisch verlegt. Vom Pumpengehäuse verliefen die Druckrohre zu den insgesamt zehn schwenkbaren Sprinklerdüsen an den vier westlich gelegenen Brückenpfeilern. Sie waren in einer Höhe von etwa 4 m über Grund installiert und wurden vom Wasserdruck bewegt. An den beiden außen liegenden Brückenpfeilern waren jeweils zwei Düsen, an den beiden innen liegenden Brückenpfeilern jeweils drei Düsen befestigt. Die Wasserzufuhr wurde an den Pfeilern hochgeführt. Die unter den beiden westlich des Wasserlaufs gele-

genen Brückensegmenten berechnete Fläche wies nach der technischen Auslegung insgesamt eine Größe von ca. 600 m² auf.

3.1.3 Brückenbauwerk Zwester Ohm

Das Wasser für die Beregnungsanlage wurde aus dem Wasserlauf der Zwester Ohm mittels eines Saugschlauchs (Durchmesser ca. 3,3 cm) und einer selbstsaugenden Pumpe (max. Pumpleistung 3,5 m³/h bei 1,5 kW/h) entnommen. Für einen Beregnungsgang an einem Tag zur Simulation der natürlichen Niederschlagsverhältnisse außerhalb des Brückenbauwerks wurden ungefähr 1,55 m³ Wasser benötigt (460 mm Niederschlag in acht Monaten). Der Saugschlauch war unterirdisch verlegt. Vom Pumpengehäuse wurde die Beregnungsanlage durch eine ca. 130 m lange Druckleitung (Durchmesser 4 cm) versorgt. Die installierten feinen Nebeldüsen (als Düsenrohranlage ca. 25,80 m x 28,20 m mit sechs Strängen) und die Zuleitungen waren an insgesamt sechs parallel zur Straße verlaufenden Metalldrahtverbindungen im Bereich des vierten Brückenfelds (von Süden gezählt) zwischen den jeweils vier Brückenpfeilern befestigt. Die Metalldrahtverbindungen hingen an zwei quer zur Fahrbahn, im Bereich der Brückenpfeiler installierten Stahlseilen und befanden sich an der Unterseite des Brückenbauwerks; sie wiesen einen Abstand zueinander von jeweils ca. 4,10 m in einer Höhe von etwa 4,00 m auf. Die Wasserzufuhr wurde an einem Pfeiler hochgeführt. Die unter dem Brückenbauwerk im vierten Brückenfeld berechnete Fläche betrug nach der technischen Auslegung insgesamt ca. 800 m².

3.1.4 Brückenbauwerk Königsbuche

Bei Regenereignissen wird durch die sieben Bewässerungs- oder Verrieselungsteller straßenbürtiges Regenwasser aus der Straßenentwässerung nahezu auf der gesamten Brückenlänge auf die Flächen unter dem Brückenbauwerk geleitet. Bewässert wird dabei nicht die gesamte Brückenbreite (ca. 30 m), sondern lediglich ein Streifen in der Mitte des Bauwerks. Aufgrund der lichten Höhe des Bauwerks (maximal 16 m, im Minimum ca. 6,50 m) weist das Wasser damit eine respektable Fallhöhe auf.

3.2 Brücken mit anderer Wasserversorgung/ Bewässerungstechnik

Darüber hinaus wurden weitere Brücken mit unterschiedlicher Wasserversorgung/Bewässerungstechnik untersucht. Es handelte sich u.a. um die Brücken Radegast und Greeser Bach (A 20, Mecklenburg-Vorpommern), die in Niedermoorbereichen liegen, so dass die umgebenden Böden in Fließrichtung durchströmt werden, sie den unter den Brücken gelegenen Bereich befeuchten und so zu einer nahezu durchgängigen Vegetation unter den Bauwerken führen. Unter der Brücke über die Schunter (A 2, Niedersachsen) wird das von der Autobahn stammende Wasser in unter der Brücke angelegte Becken geleitet, von wo aus das Wasser in die angrenzenden Bereiche versickert. An der Südseite der Werratalbrücke (A 7, Niedersachsen) befindet sich ein kleinräumig und temporär arbeitender Wasserspender, wie er im Gemüseanbau üblich ist.

4 Folgerungen für die Praxis

4.1 Optimierungsmöglichkeiten an bestehenden Brücken

Neben der Verfügbarkeit von Wasser und Licht spielen unter vielen Brücken auch andere Faktoren eine bedeutende Rolle für das Vegetationswachstum und damit für die Durchwanderbarkeit für viele Tiergruppen. Diese Faktoren lassen sich in vielen Fällen mit geringerem Aufwand positiv beeinflussen, als es durch die Zuführung von Wasser mit technischen Maßnahmen erreicht werden kann. Bei vielen der untersuchten Brückenbauwerke beeinflussen baubedingte Auswirkungen, Unterhaltungsmodus und (Fehl-) Nutzungen die Vegetationsbestände mehr als ein Mangel an Wasser und Licht (vgl. auch Henneberg et al. 2006 [12]).

Unter nahezu allen untersuchten Brückenbauwerken wurden während des Baus erhebliche Eingriffe in die Bodenverhältnisse vorgenommen. Durch eine Bodenverbesserung (evtl. mit Austausch des Substrats) könnte unter vielen Brückenbauwerken an nicht zu steilen Standorten die Ausbreitung von Vegetation gefördert werden, insbesondere in Bereichen, in denen eine Befeuchtung durch Grundwasserströme oder Schlagregen gegeben ist.

Außer von der Bodenqualität ist die ungenügende Vegetationsentwicklung unter Brückenbauwerken häufig auch durch starke mechanische Störwirkungen und Fehlnutzungen begründet. Um eine bessere Vernetzung unter tierökologischen Aspekten innerhalb der Landschaft zu erreichen, sind solche Nutzungen einzudämmen.

Mehrfach wurde während des Untersuchungszeitraums festgestellt (z. B. unter den Brücken Zwester Ohm, Tiefenbachtal und Rosenthalgraben), dass randlich und unter einem Bauwerk wachsende Gehölze, ohne dass sie die Brücke überragten oder eine Höhe erreicht hätten, in der sie an die Unterseite der Brücke gelangt wären, fast vollständig zurückgeschnitten oder gerodet wurden. Für die verbesserte Vernetzung von Tierhabitaten unterhalb von Brückenbauwerken ist es von großer Bedeutung, für möglichst viele auentypische Lebensräume eine große Durchgängigkeit zu gewährleisten. Daher sollten die unter und unmittelbar neben den Brückenbauwerken wachsenden Gehölze nicht oder nur möglichst selten (bei Erfordernissen des Betriebsdiensts) zurückgeschnitten werden.

4.2 Einsatzmöglichkeiten von technischen Berechnungsanlagen in der Praxis

Der Einsatz technischer Berechnungsanlagen mit elektrischer Wasserförderung mittels einer Pumpe durch Leitungen, Sprinkler- oder Nebeldüsen sollte nach derzeitigem Stand der Technik in der Praxis auf Neubauten mit einer besonderen naturschutzfachlichen Notwendigkeit (z. B. bei Querung von Naturschutz- und/oder FFH-Gebieten) beschränkt werden. Die während der Studie eingesetzten Prototypen erwiesen sich zwar teilweise als wirksam bei der Entwicklung erster Vegetationsbestände unter den Bauwerken, erforderten aber bzgl. Wartung und Reparatur einen hohen Aufwand, sodass dieser in der Praxis kaum bei einer größeren Anzahl von Brücken zu gewährleisten sein wird. Installierte Berechnungsanlagen sollten durch den Betriebsdienst unterhalten werden.

4.3 Zusammenfassung der Ergebnisse und Bewertung

Die Ergebnisse der Untersuchungen können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Berechnungsanlagen sind in der Lage, den Bodenwasserhaushalt unter niedrigen Brücken zu verbessern und die Voraussetzung für eine grasig-krautige Vegetationsdecke zu schaffen.
- Auch Kombinationen aus baulichen Aufweitungen, der Zuführung von straßenbürtigem Wasser und hoch anstehendem Oberflächenwasser fördern die Vegetationsentwicklung unter Brückenbauwerken.
- Zusammen mit flankierenden Maßnahmen (Bodenverbesserungen, Verzicht auf Unterhaltungswege, Eindämmen von Fehlnutzungen) kann die Vegetationsentwicklung und damit die Vernetzungsfunktion der Flächen unter niedrigen Brückenbauwerken weiter verbessert werden.
- Aufgrund der Herstellungskosten (ca. 25 000 bis 30 000 € pro Anlage), der Störanfälligkeit, des hohen Wartungsbedarfs und zusätzlicher Betriebskosten für die Instandhaltung der Berechnungsanlagen empfiehlt sich eine Verwendung nur bei speziellen Situationen.
- Günstiger stellt sich eine Wasserzufuhr in Flächen unter niedrigen Brückenbauwerken durch eine mechanische Verregnung von Straßenabwässern nach etwaiger Vor-

reinigung dar (Herstellungskosten ca. 9 000 €). Dabei sind Verkehrsbelastungen und wasserrechtliche Vorgaben der einzelnen Bundesländer zu beachten.

- Als kostengünstige Lösung zur Verbesserung der Vernetzungsfunktion insbesondere für bodengebundene Kleinsäuger können auch quer zum Bauwerk eingebrachte Reissigpassagen unter niedrigen Brücken angesehen werden. Hierbei sind Aspekte des Brandschutzes zu berücksichtigen.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Reck, H.; Kaule, G. (1993): Straßen und Lebensräume: Ermittlung und Beurteilung straßenbedingter Auswirkungen auf Pflanzen, Tiere und ihre Lebensräume, Stuttgart
- [2] Geiger, A. (1986): Wer rettet Amphibien vor dem Straßentod? Bibliographie: Schutz der Amphibien an Straßen. – LÖLF-Mitt., 1 (1986), S. 45–46
- [3] Olschowy, G. (1981): Straße und Umwelt. Zielkonflikte und ihre Auswirkungen. – Natur und Landschaft, 56 (1981), S. 388–391
- [4] Mader, H.-J. (1980): Die Verinselung der Landschaft aus tierökologischer Sicht. – Natur und Landschaft, 55 (1980), S. 91–96
- Mader, H.-J. (1981): Der Konflikt Straße – Tierwelt aus ökologischer Sicht, Bonn
- Mader, H.-J. (1985): Die Verinselung der Landschaft und die Notwendigkeit von Biotopverbundsystemen, – LÖLF-Mitt., 4 (1985), S. 6–14
- [5] Blab, J. (1977): Tierwelt und Straße. Problemübersicht und Planungshinweise. – Jahrbuch für Naturschutz und Landschaftspflege, 26 (1978), S. 91–115
- [6] Georgii, B.; Keller, V. u. a. (2011): Use of wildlife passages by invertebrate and vertebrate species. – Online-Ressource: www.oeko-log.com/gruenbruecke11.pdf
- Georgii, B.; Peters-Ostenberg, E. u. a. (2007): Nutzung von Grünbrücken und anderen Querungshilfen durch Säugetiere. – Forschungsprojekt, Bonn
- [7] Proschek, M. (2005): Strategische Planung für Lebensraumvernetzung in Österreich. Prioritätensetzung für Nachrüstvorschläge für Grünbrücken über Autobahnen und Schnellstraßen. Wildökologische Bedeutung und raumplanerische Sinnhaftigkeit untersucht anhand der Tierarten Bär (*Ursus arctos*), Luchs (*Lynx lynx*), Wolf (*Canis lupus*), Elch (*Alces alces*) und Rothirsch (*Cervus elaphus*)
- [8] Schmellekamp, C.; Tegethof, U. (2012): Vernetzungseignung von Brückenbauwerken im Bereich von Lebensraumkorridoren, Bergisch Gladbach
- [9] Herrmann, M. (2001): Lärmwirkung auf frei lebende Säugetiere – Spielräume und Grenzen der Anpassungsfähigkeit, in: Reck, H. (Bearb.): Lärm und Landschaft. – Angewandte Landschaftsökologie, 44 (2001), S. 41–70
- [10] Mader, H.-J. ; Pauritsch, G. (1981): Nachweis des Barriereeffektes von verkehrsarmen Straßen und Forstwegen auf Kleinsäuger der Waldbiozönose durch Markierungs- und Umsetzungsversuche. – Natur und Landschaft, 56 (1981), S. 451–454
- [11] Mader, H.-J. (1979): Die Isolationswirkung von Verkehrsstraßen auf Tierpopulationen untersucht am Beispiel von Arthropoden und Kleinsäugetern der Waldbiozönose. – Schriftenreihe Landschaftspflege und Naturschutz, 19 (1979), S. 126
- [12] Henneberg, M ; Peters-Ostenberg, E. u. a. (2006): Untersuchung zur Wirkung der Querschnittsaufweitung von Talbrücken im Trassenverlauf der BAB A 20 hinsichtlich verbesserter Vegetationsentwicklung unter den Bauwerken – Abschlussbericht – Forschungsprojekt, Bonn