

## BASSt – Forschungsprogramm Straßenwesen

FE 02.263/2005/LRB

# „Annahme von Kleintierdurchlässen – Einfluss der Laufsohlenbeschaffenheit und des Kleinklimas auf die erfolgreiche Durchquerung“



ENDBERICHT

SEPTEMBER 2010

von:

Beratungsgesellschaft NATUR dbR

Dipl.-Biol. **Malte FUHRMANN**

Taunusstraße 6  
56357 Oberwallmenach

und

Dipl.-Biol. **Jens TAUCHERT**

Alemannenstraße 3  
55299 Nackenheim



Im Auftrag der  
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)

**Forschungs- und Entwicklungsprojekt 02.263/2005/LRB**

**„Annahme von Kleintierdurchlässen –  
Einfluss der Laufsohlenbeschaffenheit  
und des Kleinklimas auf die  
erfolgreiche Durchquerung“**

September 2010

Beratungsgesellschaft NATUR dbR (BGNATUR)

Alemannenstraße 3, 55299 Nackenheim

Tel.: 06135 – 8544 oder 06772 / 95151

Fax: 06135 – 950876 oder 06772 / 95152

E-Mail: [fuhrmann@bgnatur.de](mailto:fuhrmann@bgnatur.de)

# IMPRESSUM

**Auftraggeber:** Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung  
Robert-Schuman-Platz 1, 53175 Bonn

**vertreten durch:** Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)  
Brüderstraße 53, 51427 Bergisch-Gladbach

**Laufzeit:** 1.1.2006 bis 23.07.2010

**Betreuendes Gremium:** Referat V3, Herr Dr. Udo Tegethof

## Projektbegleitende Arbeitsgruppe:

Marita Böttcher, Bundesamt für Naturschutz, Außenstelle Leipzig  
Arno Geiger, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz in Nordrhein-Westfalen  
Susann Korff-Meyer, Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (Lüneburg)  
Adolf Noack i. R., Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (Hannover)  
Richard Podloucky, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- u. Naturschutz  
Albrecht Schlierer i. R., Innenministerium Baden-Württemberg, Abteilung Straßenwesen  
Sabine Attermeyer, Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg  
Uta Skrabania, Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg  
Andreas Wehner-Heil, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Referat S 13

## Projektbearbeitung:

André Arnold	Dr. Patrick Leopold
Matthias Beck	Désirée Levy
Jan Blau	Heike Moltan-Schmitz
Dr. Vilmut Brock	Katja Mroos
Udo Christiansen	Johannes Niederstraßer
Dr. Lukas Dörr	Maria Rätz
Ilse Englmaier	Eva Reimann
Malte Fuhrmann	Ivo Rücker
Lutz Goldammer	Michael Schmitz
Stefan Haase	Frederick Schotte
Günter Hahn	Ralph Stüber
Anja Hainz	Heike Stüer
Anno Heimerzheim	Jens Tauchert
Holger Henschel	Dagmar Tiedjen
Iris John	Birgit Trautmann
Stefan Kolling	Ralf Thiele
Jörn Kreye (Materialprüfamt für Bauwesen)	Patrick Urbanke
Susanne Leber	Oliver Weirich
Hinnerk Lehmann	Christian Winter (Kurz und Fischer GmbH)

**Projektleitung und Berichtverfasser:** Malte Fuhrmann

## KURZFASSUNG

Das 4-jährige Forschungsprojekt verfolgte das Ziel, den möglichen Einfluss der Laufsohlenbeschaffenheit und des Mikroklimas vor und in Durchlässen von Amphibienschutzanlagen auf die erfolgreiche Durchquerung zu ergründen. Es sollte geklärt werden, welche Verhaltensweisen Amphibien und andere Kleintiere bei der Tunneldurchquerung zeigen, welche physikalischen und mikroklimatischen Eigenschaften verschiedene Durchlasstypen und Laufsohlen haben und wie diese Einflüsse das Verhalten der Tiere beeinflussen. Das Ziel lag schließlich in einer konzeptionellen Betrachtung zum optimalen Einsatz sowie zur Gestaltung und Unterhaltung derartiger Straßenbauwerke.

Untersucht wurden Hygroskopizität und Alkalität, Magnetfeldmuster, Vibrationen und verkehrsbedingte Lärmentwicklungen sowie die Lichtverteilung am Durchlasseingang. Gemessen wurden außerdem Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und deren Austrocknungswirkung. In abgezünten Versuchsarenen wurden eingesetzte Amphibien verschiedenen Wahlexperimenten ausgesetzt sowie die Auswirkungen auf das Verhalten anwandernder Tiere an Durchlässen mit vorgenommenen Veränderungen analysiert. Getestet wurden folgende Parameter: Ferromagnetismus, Lichtblitze vorbeifahrender Autos, Beleuchtung des Durchlasses, Luftzug und Lärm im Durchlass, Bodenfeuchtigkeit vor und im Durchlass, Versteckplatzangebote im Durchlass und Zuleitung zur Durchlassöffnung. Außerdem wurde die Effizienz eines nachträglich eingebauten Einfallrohrs überprüft.

Gut gewässerte Betonbauteile erwiesen sich als unwesentlich hygroskopisch. Viele Betonbauteile waren nur im oberen Tunnelbereich deutlich alkalisch, die Laufbereiche aber immer pH-neutral. Das Erdmagnetfeld wurde an Metallzäunen und metallarmierten Betonbauteilen aller Anlagen stark verändert und fiel dadurch als Orientierungsmöglichkeit für anwandernde und querende Tiere völlig aus. Tunnel mit schallhartem Betonboden waren lauter als Stelztunnel über einem Naturboden. Verkehrsbedingte Bodenvibrationen und Schallpegel konnten innerhalb der Durchlässe in ihrer Wirksamkeit aber eher vernachlässigt werden. Durchlässe waren hinsichtlich ihrer Lichtverhältnisse natürlichen Tiergängen vergleichbar und wurden bei grabfähigem Untergrund auch als Tagesversteck genutzt. Mikroklimatisch führten Durchlässe von Amphibienschutzanlagen zu einer deutlichen Dämpfung von Tagesschwankungen der bodennahen Lufttemperatur, Luftfeuchte und von böigen Luftverwirbelungen, wie sie vor Leitanlagen und Durchlasseingängen herrschen. Trotzdem erhöhten Luftbewegungen in den Tunneln die Wasserverdunstung bis zum Doppelten, aber ohne erkennbare negative Auswirkungen auf das Wanderverhalten der Amphibien.

Die Tiere liefen vor den Durchlasseingängen häufig hin und her. Etwa 13 % der beobachteten Tiere versuchte (erfolglos) durch Hochstellen und Klettern an Leit- und Sperrrichtungen das Schutzanlagensystem zu umgehen. Die meisten Tiere hielten sich dicht an der Sperrwand, bzw. unmittelbar vor den Durchlasseingängen auf, während nur ein geringer Anteil auch tatsächlich hineinwanderte. An Durchlässen mit einem Fallrohr und auch beim Versuchsaufbau mit einem Kombinationssystem aus 1- und 2-Wegedurchlass waren die Eintrittsquoten dagegen nahezu vollständig. Neben Amphibien wurden auch Tiere zahlreicher anderer Tiergruppen bei der Durchquerung der Kleintierdurchlässe beobachtet. Anhand der Ergebnisse erscheint eine Überarbeitung des Merkblatts für Amphibien an Straßen (MAmS) sinnvoll.

# Acceptance of protection systems for small animals – Influences of the nature of the surfaces of the routes and microclimates on the successful passing through.

## Executive Summary

The research project carried out over a period of four years pursued the goal of determining the possible influences of the nature of the surfaces of the routes and microclimates in front of and within passages belonging to amphibian protection systems, thereby taking the successful passing through of the facility by small animals into consideration. The objective was, to investigate the behaviour of amphibians and other small animals when passing through the tunnels, to discover which physical and microclimatic properties the various types of tunnels and beds possess, and, to discover how these influences affect the animals. In the end the objective was the conceptual approach for the optimal use and the designing and maintenance of such road structures.

During the project investigations were carried out on the hygroscopicity and alkalinity, of magnetic field patterns, on vibrations and noise caused by traffic, and, on light distribution at the passage entrances. In addition to this measurements were carried out on air temperature, humidity and wind speed and their desiccation effect. A number of selection experiments were carried out on amphibians in special fenced off arenas, with the effect on the amphibians by changes made to the tunnels also being analysed. The following parameters were tested: Ferromagnetism, flashes of light caused by cars passing by, tunnel lighting, drafts in tunnels, ground moisture in front of and within tunnels, places to hide in tunnels and guides leading to tunnel entrances. In addition to this investigations were carried out to check the efficiency of an inlet pipe assembled at a later date, into which the animals fell.

Very damp concrete components proved to be only slightly hygroscopic. Many of the concrete components proved to be noticeably alkaline in the upper areas of the tunnels only, but the areas where the animals moved along were found to be pH-balanced. There were considerable changes to the geomagnetic field near metal fences and metal reinforced concrete components of all facilities, meaning that this aspect could not be considered as being a method of orientation for animals approaching or passing through the tunnels. Tunnels with a firm and hard sound-reflecting base were louder than tunnels raised above natural ground. However, the effect of ground vibrations and noise levels inside tunnels caused by traffic could more or less be neglected. With regard to the lighting conditions tunnels could be compared with natural animal paths, whereby these were used for concealment if it was possible to burrow into the ground. The microclimate existing in the tunnels belonging to amphibian protection systems led to a noticeable reduction in the daily fluctuation of ground level air temperature, humidity and gusty air turbulence such as exists at the entrance of guiding facilities and tunnel entrances. Nevertheless, air movement within the tunnels increased the evaporation of water by up to double the amount, but without any noticeable effect on the amphibians' migration behaviour.

The animals frequently moved back and forth in front of the entrances. Just 13 % of the animals attempted (but unsuccessfully) to avoid the protection systems by stretching up and climbing over guiding fences and blocking-planks belonging to the systems. Most of the animals remained close to the blocking-walls or immediately in front of the tunnel entrances with only a small number actually entering the tunnels. In comparison, at entrances with an inlet pipe into which animals fell and also during the experimental set-up with a combination of 1- and 2-way tunnels, almost all of the animals entered. Apart from amphibians numerous other types of animals were observed making use of the tunnels. On the basis of the results it appears that it would make sense to revise the instruction leaflet for “*Amphibians at the Roadside*” (MAmS).

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einführung .....</b>	<b>16</b>
1.1 Zielsetzungen des Projektes .....	16
1.2 Bedeutung des Projektes in Hinblick auf die Betroffenheit wildlebender Tierpopulationen .....	20
1.3 Bedeutung des Projektes in Hinblick auf Investitionen der Baulastträger .....	27
1.4 Betrachtung möglicher Problemfelder an dauerhaften Amphibienschutzanlagen in Hinblick auf Funktionalität und Wirksamkeit .....	28
<b>2. Vorgehensweise .....</b>	<b>32</b>
2.1 Umfrage bei Landesbehörden und Naturschutzverbänden zu Amphibienschutzanlagen in Deutschland.....	33
2.2 Erfassung physikalischer Eigenschaften der Schutzanlagenteile .....	34
2.2.1. <i>Sektoreneinteilung des Raums vor den Tunneleingängen</i> .....	34
2.2.2. <i>Alkalität von Bauteilen der Amphibienschutzanlagen</i> .....	34
2.2.3. <i>Wassereindringvermögen</i> .....	35
2.2.4. <i>Para- und ferromagnetische Eigenschaften</i> .....	36
2.2.5. <i>Vibrationen</i> .....	37
2.2.6. <i>Lärm</i> .....	38
2.3 Erfassung der Lichtverhältnisse und des Mikroklimas an und in den Durchlässen.....	39
2.3.1. <i>Lichtmenge</i> .....	39
2.3.2. <i>Temperatur, Luftfeuchte und Luftbewegung</i> .....	40
2.3.3. <i>Austrocknungsexperimente</i> .....	42
2.4 Verhaltensbeobachtungen an Amphibien vor und in den Durchlässen.....	42
2.5 Arenaversuche und experimentelle Veränderungen an Durchlässen .....	45
<b>3. Untersuchte Amphibienschutzanlagen .....</b>	<b>51</b>
3.1 Amphibienschutzanlagen in Deutschland.....	51
3.2 Auswahl und Übersicht der untersuchten Anlagen .....	53
3.3 K 7 und B 9 bei Worms (Rheinland-Pfalz).....	64
3.4 Parkstraße in Darmstadt (Hessen).....	65
3.5 K 28 an Holmer Teiche bei Buchholz (Niedersachsen).....	66

3.6	Bruchstraße und B 240 bei Duingen (Niedersachsen).....	67
3.7	L 51 bei Byhleguhre (Sachsen) .....	68
3.8	L 130 bei Urexweiler (Saarland) .....	69
3.9	L 356 bei Ramstein (Rheinland-Pfalz).....	70
3.10	L 254 bei Reidenbruch (Rheinland-Pfalz).....	71
3.11	B 96 am Knappensee bei Groß-Särchen (Sachsen).....	72
3.12	B 3 bei Karlsruhe (Baden-Württemberg) .....	73
3.13	B 27 bei Walldürn (Baden-Württemberg) .....	74
3.14	B 49 bei Koblenz (Rheinland-Pfalz) .....	75
3.15	A 94 bei Winhöring (Bayern) .....	76
3.16	A 8 bei Perl (Saarland).....	77
<b>4.</b>	<b>Untersuchungsergebnisse .....</b>	<b>78</b>
4.1	Physikalische Rahmenbedingungen .....	78
4.1.1.	<i>Laufsohlengestaltung in und vor verschiedenen Durchlässen .....</i>	<i>78</i>
4.1.2.	<i>Eigenschaften von Betonbauteilen.....</i>	<i>80</i>
4.1.3.	<i>Ferromagnetismus an verschiedenen Schutzanlagenteilen.....</i>	<i>83</i>
4.1.4.	<i>Vibrationsmessungen in und vor verschiedenen Durchlässen.....</i>	<i>87</i>
4.1.5.	<i>Lärmmessungen in und vor verschiedenen Durchlässen.....</i>	<i>89</i>
4.1.6.	<i>Lichtverhältnisse in und vor verschiedenen Durchlässen.....</i>	<i>92</i>
4.2	Mikroklimatische Rahmenbedingungen .....	93
4.2.1.	<i>Temperaturverteilung in und vor verschiedenen Durchlässen .....</i>	<i>93</i>
4.2.2.	<i>Verteilung der Luftfeuchtigkeit in und vor verschiedenen Durchlässen.....</i>	<i>94</i>
4.2.3.	<i>Luftströmungen und Verdunstung in und vor verschiedenen Durchlässen .....</i>	<i>96</i>
4.3	Verhaltensbeobachtungen.....	103
4.3.1.	<i>Amphibien in und vor verschiedenen Durchlässen .....</i>	<i>103</i>
4.3.2.	<i>Sonstige Tierbeobachtungen in und vor verschiedenen Durchlässen.....</i>	<i>116</i>
4.3.3.	<i>Verhaltensbeobachtungen von Amphibien bei den Arenaversuchen.....</i>	<i>116</i>
4.3.4.	<i>Verhaltensbeobachtungen von Amphibien bei experimentellen Veränderungen an und in verschiedenen Durchlässen .....</i>	<i>117</i>



<b>5. Bewertung der Ergebnisse</b> .....	<b>120</b>
5.1 Methodenkritische Auseinandersetzung .....	120
5.2 Einfluss physikalischer Parameter auf das Verhalten anwandernder und querender Tiere.....	123
5.3 Einfluss mikroklimatischer Parameter auf das Verhalten anwandernder und querender Tiere .....	127
5.4 Einfluss baulicher Gestaltungen auf das Verhalten anwandernder und querender Tiere.....	129
<b>6. Konzeptionelle Betrachtungen</b> .....	<b>132</b>
6.1 Wann ist der Bau einer dauerhaften Amphibienschutzanlage sinnvoll?.....	132
6.2 Welche Anforderungen sind an den Bau einer dauerhaften Amphibienschutzanlage zu stellen? .....	134
6.3 Was ist bei der Unterhaltung einer dauerhaften Amphibienschutzanlage zu beachten?.....	138
<b>7. Zusammenfassung</b> .....	<b>140</b>
<b>8. Danksagung</b> .....	<b>143</b>
<b>9. Literatur</b> .....	<b>145</b>
<b>10. Anhang (auf DVD beim Auftraggeber)</b> .....	<b>149</b>

## Abbildungen

Abbildung 1:	Skizzen von zwei Bauprinzipien für Passagedurchlässe unter Straßen als wesentlicher Bestandteil einer Amphibienschutzanlage .....	18
Abbildung 2:	Wanderneigung verschiedener phänologisch-ökologischer Gruppen einheimischer Amphibienarten .....	20
Abbildung 3:	Zeitreihe der Entwicklung der effektiven Maschenweite in Baden-Württemberg 1930 – 2004 .....	23
Abbildung 4:	Gesamtfahrleistungen verschiedener Kraftfahrzeugarten 1991 – 2007 .....	24
Abbildung 5:	Schema von Amphibienwanderstrecken zwischen Landlebensraum und Laichplatz ohne und mit Unterquerung einer Straße mit dauerhafter Amphibienschutzanlage .....	28
Abbildung 6:	Schemazeichnungen verschiedener Tunnelvarianten .....	29
Abbildung 7:	Schemazeichnungen verschiedener „Einweiser“ am Tunneleingang .....	30
Abbildung 8:	Sektorale Einteilung zur Beschreibung des Tunnelvorfeldes.....	34
Abbildung 9:	Bestimmung des pH-Wertes an verschiedenen Schutzanlagenteilen .....	34
Abbildung 10:	Wasserdichte Abdichtung von Bohrprüfkernen im Labor des MPA Wiesbaden ...	35
Abbildung 11:	Eingesetzter Kompass zur Bestimmung von Abweichungen der horizontalen Magnetfeldausrichtung an verschiedenen Bauteilen von Amphibienschutzanlagen und Einteilung der Messsektoren .....	36
Abbildung 12:	Einsatz von Beschleunigungsmessern zur Erfassung von Vibrationen an Schutzanlagenteilen durch den Straßenverkehr.....	37
Abbildung 13:	Messungen des Schalldruckpegels in zwei Stelztunneln der Amphibienschutzanlage an der B 3 bei Karlsruhe .....	38
Abbildung 14:	Messungen zum Mikroklima im Eingangsbereich der beobachteten Tunnel: .....	39
Abbildung 15:	Langzeitmessungen zur Temperatur und relativen Luftfeuchte in einer Teilauswahl der beobachteten Tunnel mittels Datalogger im Scheckkartenformat.....	40
Abbildung 16:	Messung der Luftzugverhältnisse an verschiedenen Positionen vor und innerhalb von Amphibientunneln .....	41
Abbildung 17:	Austrocknungsversuche in Tunneln von Amphibienschutzanlagen mittels Wägung wassergefüllter Haushaltsschwämmchen bei Ausbringung und nach ca. 72 Stunden Expositionsdauer .....	42
Abbildung 18:	Kennzeichnung von Beobachtungssektoren im Eingangsbereich von Tunnelöffnungen und Einsatz von Videokameras .....	43
Abbildung 19:	Markierungsbeispiele von Erdkröten, Grasfröschen, Teich- und Kammmolchen .....	44
Abbildung 20:	Aufbau der Versuchsarenen.....	45

Abbildung 21: Arenaversuchsaufbauten.....	46
Abbildung 22: Montage eines Fallrohrs an je einem Tunneleingang eines Stelztunnels an der B 3 bei Karlsruhe im Frühjahr (oben) sowie im Sommer (unten) 2009.....	48
Abbildung 23: Verteilung der gemeldeten Amphibienschutzanlagen über die Straßenklassen und verwendeten Leiteinrichtungsmaterialien an diesen.....	51
Abbildung 24: Querschnittsprofile der Durchlässe in den gemeldeten Amphibienschutzanlagen und Typus der Lauffläche in ihnen.....	52
Abbildung 25: Repräsentativer Überblick über Amphibienartnachweisen in den Jahren 2002 bis 2009 an 112 mobilen Schutzanlagen an Straßen aus allen Naturraum-Großeinheiten Deutschlands außer Alpen (Auswertung von Daten des NABU) ..	53
Abbildung 26: Verteilung der untersuchten Amphibienschutzanlagen auf die Naturraum-Großeinheiten in Deutschland (Karte aus SSYMANK et al. 1998).....	54
Abbildung 27: Standorte der im Forschungsprojekt untersuchten Amphibienschutzanlagen .....	57
Abbildung 28: Prinzipskizze einer Einwege-Röhre der Amphibienschutzanlage an der B 3 bei Karlsruhe .....	63
Abbildung 29: Luftbild und Überblicksfoto zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der B9 und K7 bei Worms.....	64
Abbildung 30: Luftbild und Überblicksfotos zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der Parkstraße in Darmstadt-Kranichstein.....	65
Abbildung 31: Luftbild und Überblicksfotos zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der K 28 neben den Holmer Teichen bei Buchholz.....	66
Abbildung 32: Luftbild und Überblicksfotos zur Amphibienschutzanlage (ASA) und Fangeinrichtungen an der B240 und Bruchstraße bei Duingen-Weenzen.....	67
Abbildung 33: Luftbild und Überblicksfotos zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der L 51 im Biosphärenreservat Spreewald bei Byhleguhre.....	68
Abbildung 34: Luftbild und Überblicksfotos zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der L 130 westlich der Illaue bei Marpingen-Urexweiler .....	69
Abbildung 35: Luftbild und Überblicksfotos zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der L 356 bei Ramstein-Miesenbach .....	70
Abbildung 36: Luftbild und Überblicksfotos zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der L 254 am Waldsee bei Reidenbruch .....	71
Abbildung 37: Luftbild und Überblicksfoto zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der B96 am Knappensee bei Groß-Särchen.....	72
Abbildung 38: Luftbild und Überblicksfoto zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der B3 zwischen Karlsruhe-Grötzingen und Weingarten .....	73
Abbildung 39: Luftbild und Überblicksfotos zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der B27 zwischen Walldürn und Buchen (Odenwald).....	74
Abbildung 40: Luftbild und Überblicksfoto zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der B49 („Südtangente“) bei Koblenz.....	75

Abbildung 41: Luftbild und Überblicksfotos zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der A 94 in der Innaue bei Winhöring .....	76
Abbildung 42: Luftbild und Überblicksfotos zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der A 8 bei Perl .....	77
Abbildung 43: Beispiele zur Untersgrundsituation vor und in verschiedenen Durchlässen .....	79
Abbildung 44: Wasseraufnahmeprüfung von Betone in drei Versuchsreihen in Anlehnung an DIN 52617 .....	80
Abbildung 45: Alkalität auf der Oberfläche verschiedener Bereiche von Amphibienschutzanlagen, ermittelt aus Messungen an 9 Betondurchlässen .....	82
Abbildung 46: Änderung der horizontalen Magnetfelder um 90° auf wenige Zentimeter entlang der Betonwand in der Amphibienschutzanlage an der B 49 bei Koblenz (aus URBANKE 2008) sowie an Fugen und Eisenstangen bis zu 180° ....	83
Abbildung 47: Erdmagnetfeldanomalien im östlichen Durchlass der Amphibienschutzanlage an der Weiterstädter Landstraße in Darmstadt.....	84
Abbildung 48: Verlauf der Magnetfeldlinien an Metall-Leitelementen, die in Ost-West-Richtung verlaufen und ferromagnetisches Gesteinsmaterial aus Müllverbrennungsschlacke im Schotterbett vor einer Amphibienschutzanlage ....	87
Abbildung 49: Schwingungsverlauf in drei Raumachsen eines Vibrationsmessers mit einem deutlichen Lageänderungspeak in der y-Achse.....	88
Abbildung 50: Verlaufskurven des Schallpegels von Verkehrsgeräuschen am Straßenrand und innerhalb von zwei Amphibientunneln (oben mit Betonboden, unten mit Erdeinfüllung) an der B 3 bei Karlsruhe.....	90
Abbildung 51: Differenz der Terzpegelspektren zwischen Straßenrand und Tunneleingang (rote Linien), bzw. Tunnelmitte (braunen Linien) ohne Maßnahme, mit Schallabsorber und mit Leitblendentrichter am Tunnel mit Betonboden (links) und am Tunnel mit Naturboden (rechts) an der B 3 bei Karlsruhe .....	91
Abbildung 52: Differenz der Terzpegelspektren zwischen Straßenrand und Tunneleingang mit und ohne Schallabsorber am Tunnel mit Betonboden (rote Linien) und am Tunnel mit Naturboden (blaue Linien) an der B 3 bei Karlsruhe (aus WINTER 2009) .....	91
Abbildung 53: Lichtstärke, bodennah gemessen vor und in Durchlässen von Amphibienschutzanlagen .....	92
Abbildung 54: Beispiel von Messreihen zur bodennahen Lufttemperatur in und vor zwei Durchlässen in unterschiedlicher Geländelage an der Amphibienschutzanlage in Duingen-Weenzen .....	94
Abbildung 55: Beispiel von Messreihen zur bodennahen Luftfeuchtigkeit in und vor zwei Durchlässen in unterschiedlicher Geländelage an der Amphibienschutzanlage in Duingen-Weenzen .....	96
Abbildung 56: Verhältnis der Mittelwerte gemessener Windgeschwindigkeiten straßenparallel an der Leiteinrichtung (jeweils links und rechts 3 m vom Tunneleingang entfernt) zu Luftbewegungen in Tunnelrichtung (jeweils 3 m innerhalb und am Ausgang auf Leiteinrichtungshöhe) an drei verschiedenen Passagetypen (alle Kastenprofil).....	97

Abbildung 57: Simultan erhobener Tagesgang von Luftzugereignissen in zwei verschiedenen Durchlässen der Amphibienschutzanlage an der B 3 bei Karlsruhe .....	98
Abbildung 58: Temperaturgänge und Luftzuggeschwindigkeiten im mehrstündigen Verlauf innerhalb verschiedener Durchlässe von Amphibienschutzanlagen.....	99
Abbildung 59: 3-tägige Messreihen zur bodennahen Lufttemperatur und zum Luftzug in und vor einem Durchlass der Amphibienschutzanlage an der B 9 bei Worms .....	101
Abbildung 60: Durchschnittliche Wasserverluste innerhalb von einem Tag bei Austrocknungs-versuchen in sechs Durchlässen von zwei Amphibienschutzanlagen, bezogen auf ein Schwammstück mit 1 g- „Trockengewicht“ (= 14,1 g-„Feuchtgewicht“).....	103
Abbildung 61: Bestandsentwicklung der letzten acht Jahre bei den Amphibienzählungen an mobilen Schutzzäunen in Deutschland, differenziert nach Naturräumen .....	109
Abbildung 62: Beispiel eines ausgefüllten Erhebungsbogens zur Protokollierung beobachteter Verhaltensweisen von Amphibien vor einem Durchlasseingang ..	110
Abbildung 63: Kletterfreudigkeit von Molchen an Leitbrett vor Durchlasseingang und unterschiedlicher Wanderabstand bei Erdkröten und Springfröschen entlang von Leiteinrichtungen .....	113
Abbildung 64: Verhaltensweisen der beobachteten Amphibien vor den Durchlässen verschiedener Amphibienschutzanlagen .....	113
Abbildung 65: Registrierte Verweildauer von Amphibien in verschiedenen Aufenthaltsbereichen vor den Durchlässen von Amphibienschutzanlagen .....	114
Abbildung 66: Eintrittshäufigkeit von „Kröten“ (Erd- und Knoblauchkröten), Braunfröschen (Spring-, Gras- und Moorfröschen) und Schwanzlurchen (Molche) beobachteter Tiere vor den Durchlässen verschiedener Amphibienschutzanlagen .....	115
Abbildung 67: Masseneinwanderung von Springfröschen u. a. Amphibien über Einfallrohr in Ein-Weg-Durchlass.....	115
Abbildung 68: Eintrittshäufigkeit von Erdkröten, Springfröschen und Molchen (Teichmolche und Kammmolche) vor Durchlässen, die durch bauliche Maßnahmen „optimiert“ wurden .....	117
Abbildung 69: Magnetfeld bei paramagnetischen Materialien (aus URBANKE 2008) .....	125
Abbildung 70: Situationen zur Raumnutzung durch Amphibienpopulationen, für die eine durchlassarme Schutzanlagenkonzeption denkbar ist (L = Laichplatz, S / W = Sommer- / Winterhabitat; aus KORDGES 2003, verändert).....	132
Abbildung 71: Prinzipskizze einer Kombination aus Ein-Weg- und Zwei-Wege-Durchlass, auch zum nachträglichen Einbau in bestehende Kleintierschutzanlagen geeignet, evtl. auch nur einseitig (Diskussionsentwurf von NIEDERSTRAßER & FUHRMANN 2010) .....	137

## Tabellen

Tabelle 1:	Amphibienschutzmaßnahmen an Straßen .....	17
Tabelle 2:	Aktionsradien der Jahreslebensräume verschiedener Amphibienarten um ihre Laichplätze (nach BLAB 1986, GÜNTHER 1996, SINSCH 1998, GLANDT 2004 u.a.) .....	21
Tabelle 3:	Verkehrswegebstand und Zunahme der Verkehrswegeföächen .....	22
Tabelle 4:	Beispiele von Baukosten für Amphibienschutzanlagen an Straßen (diverse Quellen).....	27
Tabelle 5:	Verkehrslärmsimulation mittels MPEG3-Player.....	47
Tabelle 6:	Experimentelle Aufbauten an Durchlässen bestehender Amphibienschutzanlagen .....	49
Tabelle 7:	Untersuchte Komponenten mit potenziellem Einfluss auf das Eintritts- und Durchwanderverhalten von Amphibien in Durchlässen von Amphibienschutzanlagen .....	50
Tabelle 8:	Untersuchte Amphibienschutzanlagen an Kreis- und Landesstraßen .....	55
Tabelle 9:	Untersuchte Amphibienschutzanlagen an Bundesfernstraßen.....	56
Tabelle 10:	Verschiedene Typen von Durchlässen mit geschlossener Bodendecke in den untersuchten Amphibienschutzanlagen.....	58
Tabelle 11:	Verschiedene Typen von Durchlässen mit offener Bodendecke in den untersuchten Amphibienschutzanlagen.....	59
Tabelle 12:	Tunnelanordnung im Straßenkörper in Abhängigkeit von der Geländegestalt .....	60
Tabelle 13:	Verschiedene Typen der Gestaltung von Tunnelleingängen der untersuchten Amphibienschutzanlagen .....	61
Tabelle 14:	Verschiedene Typen von „Einweisern“ und anderen „Einwanderhilfen“ in den untersuchten Amphibienschutzanlagen.....	62
Tabelle 15:	Fallrohreingänge zu Einwege-Röhren in zwei der untersuchten Amphibienschutzanlagen .....	63
Tabelle 16:	Messung von pH-Werten an Amphibien und verschiedenen Bauteilen von Amphibienschutzanlagen (n = Anzahl der Messungen) .....	82
Tabelle 17:	Messung von Vibrationen (Schwingungsbeschleunigung) an verschiedenen Bauteilen von Amphibienschutzanlagen (Angaben in Teilen der Erdbeschleunigung „g“ = 9,81 m/s <sup>2</sup> ) .....	88
Tabelle 18:	Arithmetische Mittelwerte der Mittelungspegel L <sub>Aeq</sub> [dB(A)] an verschiedenen Messpunkten an zwei Durchlässen an der Amphibienschutzanlage an der B 3 bei Karlsruhe (Zahlen aus WINTER 2009) .....	89
Tabelle 19:	Schallpegelminderung durch Schaumstoffabsorber oder Leitblendenelemente in zwei Durchlässen an der Amphibienschutzanlage an der B 3 bei Karlsruhe (Zahlen aus WINTER 2009) .....	90

Tabelle 20:	Temperaturverteilung im Eingangsbereich von Durchlässen in unterschiedlicher Geländelage (Messergebnisse während der Verhaltensbeobachtungen) .....	93
Tabelle 21:	Verteilung der relativen Luftfeuchtigkeit im Eingangsbereich von Durchlässen mit unterschiedlichem Feuchtigkeitsgehalt des Tunnelbodens (Messergebnisse während der Verhaltensbeobachtungen) .....	95
Tabelle 22:	Windgeschwindigkeiten im Eingangsbereich verschiedener Passagetunnel.....	97
Tabelle 23:	Luftströmungen in verschiedenen Durchlässen über eine mehrstündige Beobachtungszeit (Messfrequenz: 20 Sekunden) .....	98
Tabelle 24:	Errechnete durchschnittliche Wasserverluste pro Austrocknungsversuch .....	102
Tabelle 25:	Überblick zum Wandergeschehen an den untersuchten Amphibienschutzanlagen an Gemeinde-/Kreisstraßen vor und während des Forschungsprojektes .....	105
Tabelle 26:	Überblick zum Wandergeschehen an den untersuchten Amphibienschutzanlagen an Landes-/Staatsstraßen vor und während des Forschungsprojektes .....	106
Tabelle 27:	Überblick zum Wandergeschehen an den untersuchten Amphibienschutzanlagen an Bundesstraßen vor und während des Forschungsprojektes .....	107
Tabelle 28:	Überblick zum Wandergeschehen an den untersuchten Amphibienschutzanlagen an Bundesautobahnen vor und während des Forschungsprojektes .....	109
Tabelle 29:	Zusammenfassung von Verhaltensbeobachtungen an unveränderten Durchlasseingängen anhand der vor Ort erstellten Protokolle .....	112
Tabelle 30:	Einfluss manipulierter Durchlasseingänge auf die Durchquerungsrate eingesetzter Tiere in Wahlexperimenten bei den Arenaversuchen .....	117
Tabelle 31:	Regelquerschnitte verschiedener Straßenklassen und Empfehlungen des MAmS (Ausgabe 2000) zu den jeweiligen Durchlassgrößen.....	133

# 1. Einführung

## 1.1 Zielsetzungen des Projektes

Das Forschungsprojekt verfolgte das Ziel, den möglichen Einfluss der Laufsohlenbeschaffenheit und des Mikroklimas vor und in Durchlässen von Amphibienschutzanlagen auf die erfolgreiche Durchquerung durch Amphibien und andere Kleintiere zu ergründen. Es umfasste eine Laufzeit von vier Jahren.

Anlass der Betrachtungen waren unterschiedliche Erfahrungen in der praktischen Ausführung und Wirksamkeit dauerhafter Anlagen zum Schutz wildlebender Tiere sowie als Querungshilfe für Wanderungen unter Straßen hindurch. Ausgangspunkt zum Bau derartiger Anlagen als fester Bestandteil von Straßen ist in der Regel ein natur- und artenschutzrechtlich begründeter Lösungsansatz zur Überwindung straßenbau- oder verkehrsbedingter Barrierewirkungen auf Wildtierpopulationen. Überwiegend wird hierbei der erforderliche Amphibienschutz in den Vordergrund gestellt, aber grundsätzlich können auch andere, bodengebunden sich fortbewegende Tiere von Tunnelanlagen quer zur Straße profitieren. Die Begriffe „Kleintierschutzanlage“ und „Kleintierdurchlass“ (s. z. B. FUHRMANN 1998) sind somit synonym zu den allgemeinen Wortgebräuchen „Amphibienschutzanlage“ (vielfach auch als „ASA“ abgekürzt), bzw. „Amphibiendurchlass“ (oder auch „Krötentunnel“).

Der Einbau dauerhafter Schutzanlagen an Straßen, bestehend aus einem System meist aus Beton- und/oder Stahlteilen für Sperreinrichtungen entlang der Straße und Tunneldurchlässe verschiedener Bauformen, gilt bereits seit mehreren Jahrzehnten als eine Standardlösung zur Vermeidung und Minderung von Beeinträchtigungen des Naturhaushalts. Die alternative Aufständigung einer Straße findet aufgrund der deutlich höheren Baukosten bislang nur in Sonderfällen Anwendung. Weitere Möglichkeiten des Kleintierschutzes an Straßen (insbesondere für die Tiergruppe der Amphibien) sind hinsichtlich ihrer Einsatzgelegenheit sowie verbundener Vor- und Nachteile in Tabelle 1 aufgeführt.

Planungshilfen für Schutzeinrichtungen und Hinweise zu erforderlichen Durchlassdimensionen sowie zur Gestaltung von Land- und Wasserlebensräumen für Amphibien bietet seit Ende der 1980er Jahren das Merkblatt zum Amphibienschutz an Straßen (MAMs), das vom Bund/Länder-Ausschuss „Landschaftspflege und Naturschutz im Straßenwesen“ beim Bundesministerium für Verkehr (BMV)<sup>1</sup> den obersten Straßenbaubehörden der Länder zur Anwendung empfohlen wird (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR 1987 u. BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN 2000). Es dient als Grundlage beim Bau von Bundesfernstraßen, soll aber im Interesse einer einheitlichen Handhabung sinngemäß auch bei sonstigen Straßen umgesetzt werden. Gegenüber der ersten Version berücksichtigt die aktuelle Ausgabe aus dem Jahr 2000 Erkenntniszugewinne bezüglich der empfehlenswerten Auswahl von Materialien für Sperr- und Leiteinrichtungen (Verzicht auf Holzbohlen und Schutzplanken) und weist auf Möglichkeiten zum nachträglichen Einbau oberflächennaher Durchlässe bei schwierigen Untergrundverhältnissen hin. Auch wurde das ursprünglich aufgeführte Doppelröhren-System mit einer Zwangspassage für hineinrutschende Tiere auf die gegenüberliegende Straßenseite als eines der Bauprinzipien herausgenommen (s. Abb. 1).

---

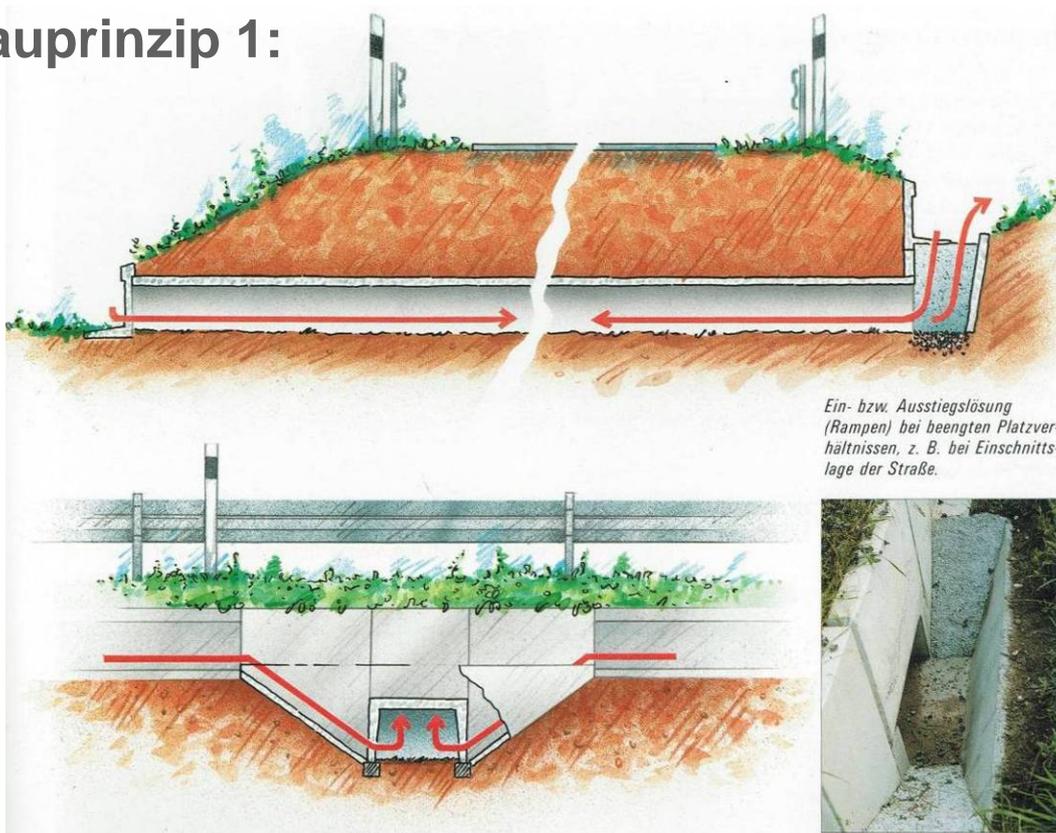
<sup>1</sup> heutige Bezeichnung: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS)

Tabelle 1: Amphibienschutzmaßnahmen an Straßen

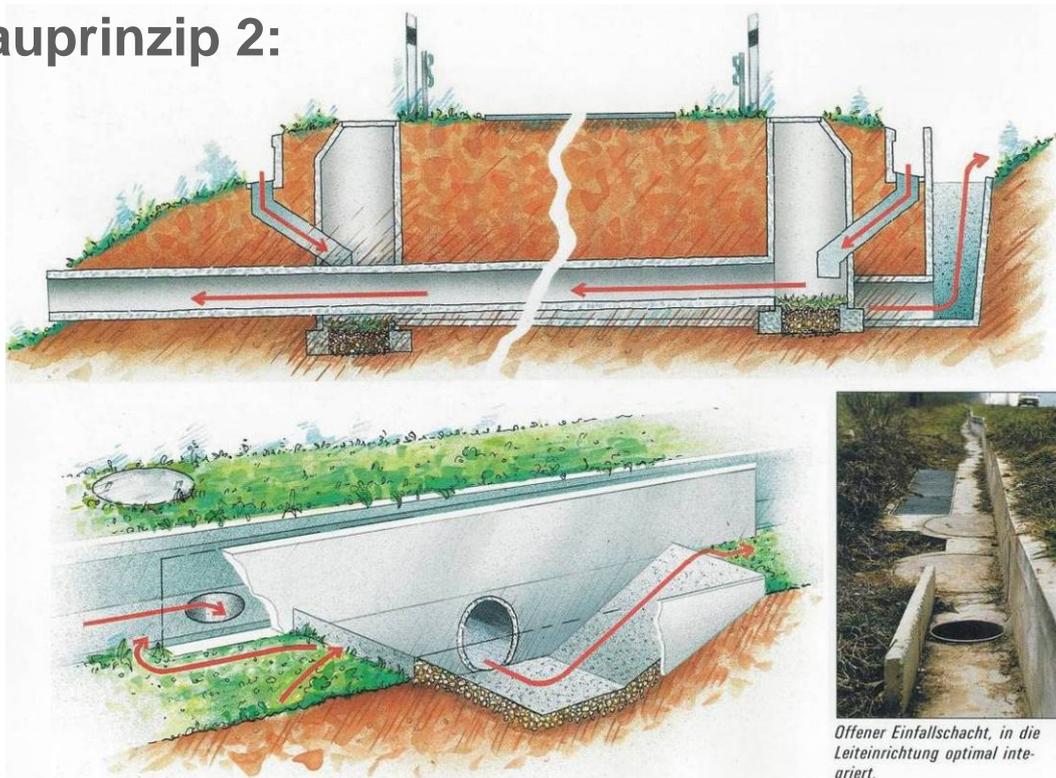
Schutzmaßnahme	Einsatzbereiche	Vorteile	Nachteile
<b>Straßensperrung</b> <sup>2</sup>  	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nach § 45, Abs. 1a, Nr. 4a der Straßenverkehrsordnung (StVO) besteht auf Anordnung der zuständigen Straßenverkehrsbehörde das Recht zur Beschränkung des Verkehrs, „<i>hinsichtlich örtlich begrenzter Maßnahmen aus Gründen des Arten- oder Biotopschutzes</i>“</li> <li>In der Regel nur bei Straßen mit geringem Verkehrsaufkommen (Umleitungsmöglichkeit muss gegeben sein)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hohe Schutzfunktion auch bei Reduktion der Sperrzeiten auf tatsächliche Wanderzeiten der Tiere (meist auf Nachtstunden beschränkt)</li> <li>Preiswert</li> <li>Flexible Anpassung an örtliche Gegebenheiten (z. B. Sperrungsaufhebung bei nachlassender oder räumlich verlagerter Wanderaktivität)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Meist nur Absicherung der Hauptwanderzeit der Amphibien im Frühjahr (kein Jungtierschutz)</li> <li>Bisweilen schwierig, bei Anwohnern Akzeptanz zu erreichen (vor allem, wenn sich die Wanderung räumlich verteilt oder witterungsbedingt kaum sichtbar über langen Zeitraum hinzieht)</li> </ul>
<b>Mobile Sperrzäune</b> <sup>3</sup> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>An Gemeinde-, Kreis- und Landesstraßen</li> <li>Aufgrund hoher Fahrgeschwindigkeiten auf Bundes-/Staatsstraßen oder Autobahnen meist zu hohes Gefährdungsrisiko für Sammelhelfer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hohe Schutzfunktion</li> <li>Geringe Materialkosten</li> <li>Flexible Anpassung an örtliche Gegebenheiten (z. B. leichte Zaunverlängerung bei räumlich verlagerter Wanderaktivität)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hoher Betreuungsaufwand (dadurch meist Beschränkung auf Frühjahrswanderzeit)</li> <li>Verkehrsflussbegrenzung zum Schutz der Helfer (während der Sammelzeiten Tempolimit auf 30 km/h)</li> </ul>
<b>Dauerhafte Amphibienschutzanlagen</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>An allen Straßenklassen</li> <li>Primär beim Straßenneu- oder -ausbau realisierbar</li> <li>Nachträglicher Einbau auch in bestehende Straßen möglich (vielfach aber Einschränkungen bei der Bauausführung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ganzjährig hohe Schutzfunktion</li> <li>Schutz theoretisch aller bodengebunden wandernden Kleintiere</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hohe Baukosten</li> <li>Regelmäßige Pflege und Wartung erforderlich</li> <li>Überprüfung tatsächlicher Wirksamkeit aufwändig</li> </ul>
<b>Anlage von Ersatzlebensräumen</b> <sup>4</sup>  	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ausgleich vom Verlust und der Zerschneidung von Lebensräumen durch Laichplatzangebot(e) fernab von Gefährdungsbereichen</li> <li>artenschutzrechtliche Kompensation auf Populations-ebene</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maßnahme zur Biotop- und Landschaftsentwicklung (positive Wirkung auch auf immobile und flugfähige Arten: z. B. Pflanzen, Libellen)</li> <li>Schutzmaßnahmen an der betroffenen Straße können minimal ausfallen (einfache Sperr-einrichtung, Einzeldurchlass) oder evtl. sogar ganz wegfallen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erfordernis eines langfristig angelegten Pflege- und Entwicklungsplans mit Monitoring</li> <li>Verluste anderer Kleintiere an der Straße bleibt ggf. bestehen (Fokussierung auf Amphibienschutz)</li> </ul>

<sup>2</sup> Bild unten (<http://www.amphibienschutz.de/schutz/amphibien/sperrung.htm>)<sup>3</sup> Bild (Naturschutzhaus-Wiesbaden e. V.)<sup>4</sup> Bild oben (Naturschutzhaus-Wiesbaden e. V.); unten ([http://www.gfkb-mv.de/html/body\\_teichsanierung.html](http://www.gfkb-mv.de/html/body_teichsanierung.html))

## Bauprinzip 1:



## Bauprinzip 2:



**Abbildung 1:** Skizzen von zwei Bauprinzipien für Passagedurchlässe unter Straßen als wesentlicher Bestandteil einer Amphibienschutzanlage (Bauprinzip 1: von beiden Straßenseiten durchwanderbarer „Zweiwegedurchlass“; Bauprinzip 2: als Zwangspassage fungierender „Einwegedurchlass“, der in der MAmS – Ausgabe 2000 – nicht mehr aufgeführt wird, aber in Baden-Württemberg nach wie vor empfohlen wird; vgl. INNENMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG 2009; Bilder und Zeichnungen aus VERKEHRSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG 1991)

Berichte über Erfahrungen bei der Anwendung des MAmS wurden im „Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau Nr. 2/2000“ des BMVBS an die obersten Straßenbaubehörden der Länder zwar erbeten, liegen aber bislang höchstens in Form uneinheitlicher Erfassungen in einzelnen Bundesländern vor. Es fehlt bereits an einem aktuellen Überblick über realisierte Amphibienschutzanlagen. Die erhaltenen Rückmeldungen einer deutschlandweiten Umfrage im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes liefern hierzu neue Einblicke.

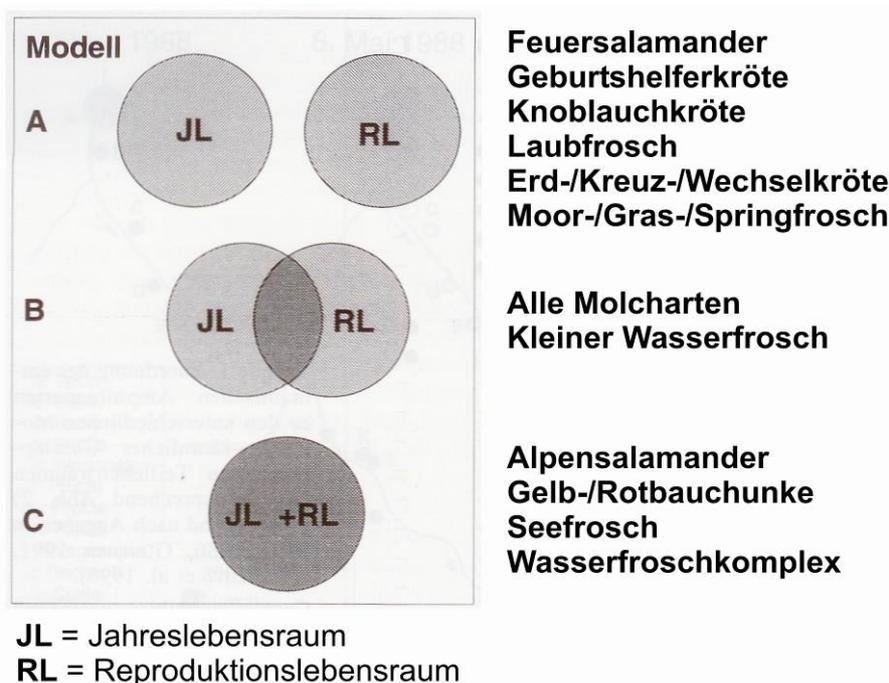
Vereinzelt durchgeführte Wirksamkeitsuntersuchungen jüngerer Datums an Amphibienschutzanlagen zeigten eine unterschiedliche und zum Teil nur eine eingeschränkte Annahme durch die Tiere bzw. geringe Querungserfolge. Entsprechend wirkt diese nach dem europäischen Artenschutzrecht und der Eingriffsregelung des Bundesnaturschutzgesetzes (s. u.) zu erbringende Minimierungsmaßnahme nicht immer zufriedenstellend und Amphibienpopulationen brechen trotz hoher Mittelaufwendungen offensichtlich in einigen Fällen ein. Einzelbeobachtungen zufolge kehren bereits in die Tunnel eingewanderte Tiere nach einigen Metern wieder um und verlassen ihn. Ursächlich für niedrige Querungsraten scheint demnach nicht eine Scheu vor dem Betreten der Tunnel zu sein. Es besteht vielmehr die Vermutung, dass in den Durchlässen austrocknende und abkühlende Verhältnisse herrschen, welche die Tiere zum Abbruch ihrer Querungen bewegen. Aber auch andere mögliche Ursachen für dieses Verhalten der Tiere sollten überprüft werden. Ziel des Projektes war die Bestätigung oder Ablehnung der Hypothese, dass Laufsohlenbeschaffenheit und Mikroklima wesentlichen Einfluss auf die Durchquerung der Tunnel durch Amphibien nehmen. Dies wurde experimentell an einer Auswahl unterschiedlicher Amphibientunnel überprüft. Es sollten auch Vorgaben zur Optimierung der Laufsohlenbeläge und Maßnahmen zur Verbesserung des Mikroklimas entwickelt werden. Damit wurde erwartet, eine Steigerung der Wirksamkeit derartiger Anlagen mindestens bis zum notwendigen Maß bewirken zu können, nämlich einer für den Erhalt der Populationen notwendigen Querungsrate.

Die Forschungsfragen und -ziele des Projektes fokussierten daraus abgeleitet folgende Aspekte:

- 1.) Welche Verhaltensweisen zeigen Amphibien und andere Kleintiere bei der Tunneldurchquerung?
- 2.) Welche physikalischen und mikroklimatischen Eigenschaften haben verschiedene Durchlasstypen und Laufsohlen?
- 3.) Welche Einflüsse haben das Mikroklima und die Laufsohle auf das Verhalten der querenden Tiere?
- 4.) Lässt sich die Durchquerungsrate durch bauliche Veränderungen erhöhen?

## 1.2 Bedeutung des Projektes in Hinblick auf die Betroffenheit wildlebender Tierpopulationen

Die Anlässe für Ortswechsel bei Tieren sind vielfältig. Im Falle aktiver Wanderbewegungen sind sie mit Energieaufwendungen verbunden, müssen also dem Individuum einen Vorteil bringen und zumindest langfristig der Arterhaltung dienen. Wichtige Gründe sind deshalb Nahrungserwerb und Schutz vor Fressfeinden, Partnerwahl und Nestbau oder auch Ausbreitung in neue Lebensräume bei steigendem innerartlichen Konkurrenzdruck (z. B. NOWAK, E. 1977, KLOFT & GRUSCHWITZ 1988, HOVESTADT et al. 1994). Ein weiterer sicherlich naheliegender Grund für einen notwendigen Wechsel des Standortes ist die Flucht aus einem Ungünstbereich in ein günstigeres Umfeld (z. B. GEIGER, G. 1942). Wechselwarme Tiere (z. B. Insekten, Amphibien und Reptilien) nutzen beispielsweise die Morgensonne, um auf „Betriebstemperatur“ zu gelangen, fliehen aber vor einer Überhitzung zur sommerlichen Mittagszeit in Schattenbereiche. Durch Veränderungen der mikroklimatischen Bedingungen im Tages- und Jahresverlauf kommt es deshalb häufig sogar zu regelmäßigen Ortswechselln, nicht selten auf tradierten Wegen. Allgemein üblich ist eine Unterteilung in drei grobe Entfernungsklassen – Kurz-, Mittel-, Fernstrecke –, deren tatsächlicher Größenbereich zwischen den verschiedenen Tiergruppen aber enorm unterschiedlich ausfällt<sup>5</sup>.



**Abbildung 2: Wanderneigung verschiedener phänologisch-ökologischer Gruppen einheimischer Amphibienarten** (nach KLEIN & VEITH 1997, ergänzt)

Auch bezogen auf die Tiergruppe der 19 in Mitteleuropa heimischen Amphibienarten lassen sich mehrere ökologische Gruppen mit unterschiedlich stark ausgebildeter Wanderneigung und Streckenleistung unterscheiden. Bei zehn Arten findet in der Regel eine strikte räumliche Trennung statt zwischen Landlebensraum (für Nahrungserwerb der adulten Tiere, Überwin-

<sup>5</sup> Beispielsweise nur wenige Quadratmeter bei Schnecken, meter- bis kilometerweit innerhalb des Jagdreviers von Eidechsen oder einem mittelgroßen Säugetier, bzw. bis zu viele 1000 Kilometer bei Zugvögeln, einzelnen Fledermaus- und Schmetterlingsarten oder Wanderströmen von Walen, Aale und Lachsen im Meer und entlang von Flüssen sowie von Elefanten, Rentieren, Lemmingsen auf dem Festland usw.

terung und zum Teil auch Zusammenkunft der Geschlechtspartner) sowie Reproduktionsstätte (Laichplatz und Larvenentwicklungshabitat). Bei den vier Molcharten und dem Kleinen Wasserfrosch durchmischen sich beide Teillebensräume stärker miteinander. Bei den beiden Unkenarten und dem Wasserfroschkomplex (inkl. Seefrosch) ist die Bindung an das Laichgewässer als Gesamtjahres-Lebensraum noch enger und der Alpensalamander bringt seinen Nachwuchs an Land zur Welt (vgl. Abb. 2). Vor diesem Hintergrund unterscheidet BLAB (1986) bei den wandernden Amphibienarten zwischen einem „Aktionszentrum 1. Ordnung“ (Laichgewässer), einem „Aktionszentrum 2. Ordnung“ (Sommerhabitat der Population) und dem dazwischen liegenden „Wanderterritorium“. Im Falle ausreichend strukturierter Landlebensräume in unmittelbarer Gewässernähe können aber auch wanderfähige Arten ortstreu bleiben, abgesehen vom populationsgenetisch erforderlichen Dispersionsverhalten einzelner Individuen. Die allgemeine Jahresstreckenleistung an Land differenziert sich gemäß Tab. 2.

**Tabelle 2: Aktionsradien der Jahreslebensräume verschiedener Amphibienarten um ihre Laichplätze** (nach BLAB 1986, GÜNTHER 1996, SINSCH 1998, GLANDT 2004 u.a.)

Entfernung	bis 100 m	bis 500 m	bis 800 m	bis 2000 m	bis 4000 m (u. m.)
<b>Amphibienarten</b>	Geburts-helferkröte	Feuersalamander Kammolch Teichmolch Fadenmolch Bergmolch Grasfrosch Moorfrosch Laubfrosch Kreuzkröte (Geburts-helferkröte)	Springfrosch Knoblauchkröte Wechselkröte	(Springfrosch)	Erdkröte (Grasfrosch)

STEINICKE et al. (2002) weisen schließlich auf die „starke Verantwortlichkeit“ Deutschlands zum Bestandserhalt einzelner Amphibienarten auf Grundlage nationaler und internationaler Gefährdungsstufen hin. Für fünf Amphibienarten beträgt der Arealanteil in Deutschland 1/10 bis 1/3 des jeweiligen gesamten Verbreitungsareals und teilweise liegt hier zudem das Zentrum der Gesamtverbreitung (Bergmolch, Kammolch, Gelbbauchunke, Kreuzkröte und Teichfrosch). Für den Springfrosch besteht darüber hinaus eine „Verantwortlichkeit in besonderem Maße für Vorposten“, die sich im stark fragmentierten Verbreitungsmuster dieser Art innerhalb Deutschlands (vor allem in Mecklenburg-Vorpommern) begründet.

Dauerhafte Amphibienschutzanlagen können dann essenziell werden, wenn Verkehrswege den Gesamtlebensraum einzelner Populationen zerschneiden. Im Sinne einer Biotop-(wieder-)vernetzung können sie auch für einen sporadischen Individuenaustausch zwischen verschiedenen Populationen dienen. Gerade Letzteres ist darüber hinaus auch für zahlreiche andere Tiergruppen mit bodengebunden lebenden Arten bedeutsam, soweit diese ebenfalls von den Leiteinrichtungen zu den Durchlässen geführt werden. Im Forschungsprojekt wurde deshalb auch darauf Wert gelegt, diese nicht-amphibischen Anlagennutzer mit zu erfassen.

Die Klärung der Frage zur Betroffenheit wildlebender Tierpopulationen bedarf zudem eine Betrachtung der allgemeinen Flächeninanspruchnahme durch Siedlungs- und Verkehrsflächen (SuV) auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland (Gesamtfläche über 357.000

km<sup>2</sup>). Mit knapp 47.000 km<sup>2</sup> sind mehr als 13% der Landesfläche überbaut, die Verkehrsflächen nehmen davon knapp 18.000 km<sup>2</sup> ein (= 5% der Landesfläche oder 38% der SuV). Der Anteil der überörtlichen Infrastruktur des gesamten Verkehrswegebestandes ist bemerkenswert hoch (40% der Gesamtlänge inkl. Bahnstrecken, vgl. Tab. 3). <sup>2</sup>/<sub>3</sub> davon machen die Land- und Kreisstraßen aus. Erwähnenswert ist darüber hinaus, dass die Versiegelungsfläche in den letzten hundert Jahren nicht nur stetig mehr wurde, sondern die Zunahme dieses Flächenanteils sich von Jahr zu Jahr steigert. Im 5-Jahreszeitraum 2003 – 2007 lag die tägliche Zunahme der SuV bei 113 Hektar (zum Vergleich: die nationale Zielvorgabe liegt bei 30 ha/Tag für das Jahr 2020 und ab 2050 soll kein weiterer Zuwachs erfolgen<sup>6</sup>). Tabelle 3 gibt eine detaillierte Übersicht über den Flächenbestand und die Zuwachsrate in Bezug auf verschiedene Verkehrswegeklassen. Fast die Hälfte aller neu versiegelten Fläche geht auf den Aus- und Neubau überörtlicher Straßen zurück (Bestandsveränderungen 1995 – 2008<sup>7</sup>: + 13% bei Autobahnen, – 3% bei Bundes-, ± 0% bei Landes- und + 3% bei Kreisstraßen). Der Bedarfsplan für den Ausbau des Bundesfernstraßennetzes sieht bis 2015 einen weiteren Aus- und Neubau von Autobahnen auf 4.100 km Länge und von Bundesstraßen auf 5.500 km Länge (darunter 850 Ortsumgehungen) vor<sup>8</sup>.

**Tabelle 3: Verkehrswegebestand und Zunahme der Verkehrswegeflächen**

Verkehrswege	Gemeindestraßen		überörtliche Infrastruktur				Summe aller Verkehrswege
	Baugebieterschließung	Feldwege und Radwegenetz	Bundesfernstraßen (BAB u. B)	Land-/Kreisstraßen	Bahnstrecken	Flughäfen	
<b>Bestand 2007<sup>9</sup></b>	396.000 km		54.550 km	176.800 km	36.000 km	550 Stk.	663.350 km
	60 %		8 %	27 %	5 %	—	100 %
<b>Zuwachsrate 2003 – 07<sup>10</sup></b>	6 ha/Tag	7 ha/Tag	5 ha/Tag	7 ha/Tag	– 1 ha/Tag	1 ha/Tag	25 ha/Tag
	24 %	28 %	20 %	28 %	– 4 %	4 %	100 %

Neben dem Flächenverlust durch Überbauung ist unter ökologischen Gesichtspunkten vor allem die Zerschneidung der naturnahen Räume in zunehmend kleinere Flächen als kritisch zu bezeichnen. Dadurch stoßen die Reviere von immer mehr Tieren an Verkehrswege, ihre Wanderwege (zwischen den Populationen und auch saisonale zwischen verschiedenen Teil Lebensräumen) werden immer häufiger unterbrochen. Der Zerschneidungsgrad der Bundesrepublik Deutschland, gemessen als Anteil der (noch) unzerschnittenen Verkehrsräume (UZVR)  $\geq 100$  km<sup>2</sup>, beträgt derzeit 26,5% der Landesfläche (DEUTSCHER BUNDESTAG 2007). Ihre Verteilung im Bundesgebiet ist uneinheitlich. Die meisten dieser Flächen liegen in der östlichen Hälfte des Landes (vgl. Abb. 9 in Kap. 3.2). In einigen dieser 562 UZV-Räume liegen weitere Stichstraßen mit einer Verkehrsbelastung von über 1000 Kfz/Tag. Rechnet man diese Flächen heraus, so verblieben bis zum Jahr 2000 sogar nur knapp 15% des Bundes-

<sup>6</sup> BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2007)

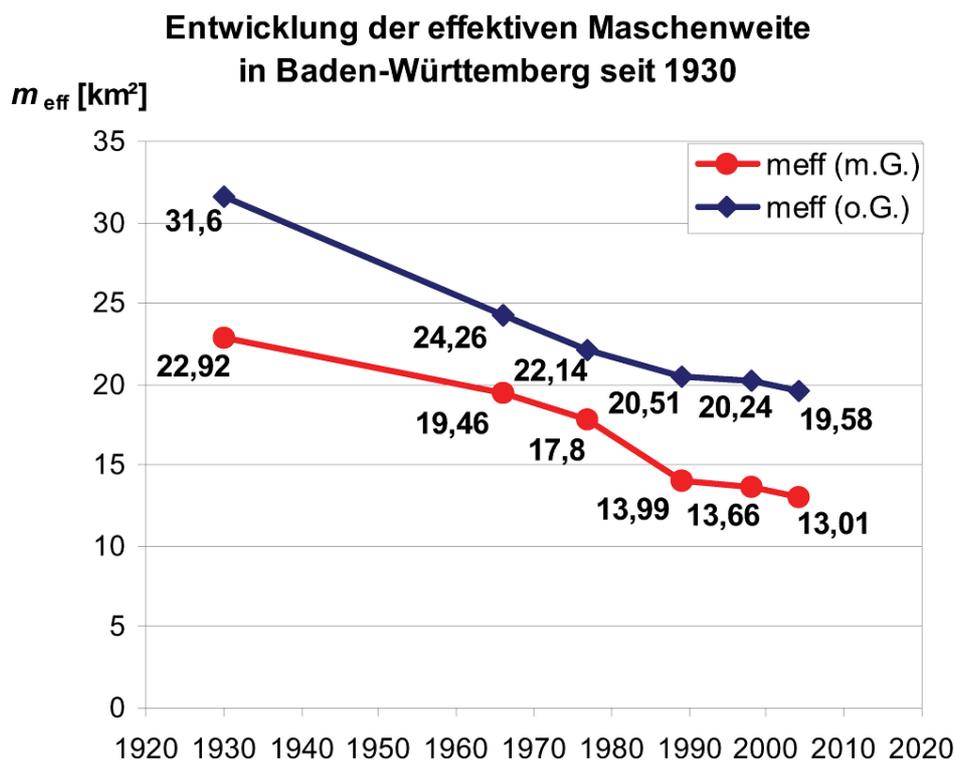
<sup>7</sup> Zahlengrundlage: Bundesanstalt für Straßenwesen ([http://www.bast.de/cln\\_005/nn\\_42248/DE/Statistik/Verkehrsdaten](http://www.bast.de/cln_005/nn_42248/DE/Statistik/Verkehrsdaten))

<sup>8</sup> Bundesministerium für Verkehr (<http://www.bmv.de/Verkehr/Strasse-,1434/Strassenbau.htm>)

<sup>9</sup> Zahlenangaben nach <http://de.wikipedia.org> (Statistisches Bundesamt Deutschland, Stand 1. Januar 2007)

<sup>10</sup> Zahlenangaben nach <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-Umwelt.de>

gebietes als  $UZVR \geq 100 \text{ km}^2$  (GAWLAK 2001). Auch die alternative Berechnung eines mittleren Zerschneidungsgrades der Landesfläche („effektive Maschenweite“  $m_{\text{eff}}^{11}$ ) zeigt den hohen Grad der Verinselung von verkehrswegfreien Räumen. Der bundesdeutsche Durchschnitt liegt bei  $84 \text{ km}^2$ . Im Vergleich der flächenhaften Bundesländer schwankt dieser Wert von  $28 \text{ km}^2$  für Nordrhein-Westfalen bis  $172 \text{ km}^2$  für Mecklenburg-Vorpommern. Am Beispiel des Landes Baden-Württemberg ermittelte ESSWEIN (2007), dass innerhalb von knapp 75 Jahren (1930 – 2004) der Zerschneidungsgrad um insgesamt 40% zunahm (vgl. Abb. 3). Die Anzahl der  $UZVR \geq 50 \text{ km}^2$ <sup>12</sup> nahm in dem 3/4-Jahrhundert von 52 auf 22 ab (Rückgang von 11,8% auf 5,2% der Landesfläche).



**Abbildung 3: Zeitreihe der Entwicklung der effektiven Maschenweite in Baden-Württemberg 1930 – 2004** (m.G. = mit Gemeindestraßen, o.G. = ohne Gemeindestraßen, aus ESSWEIN 2007)

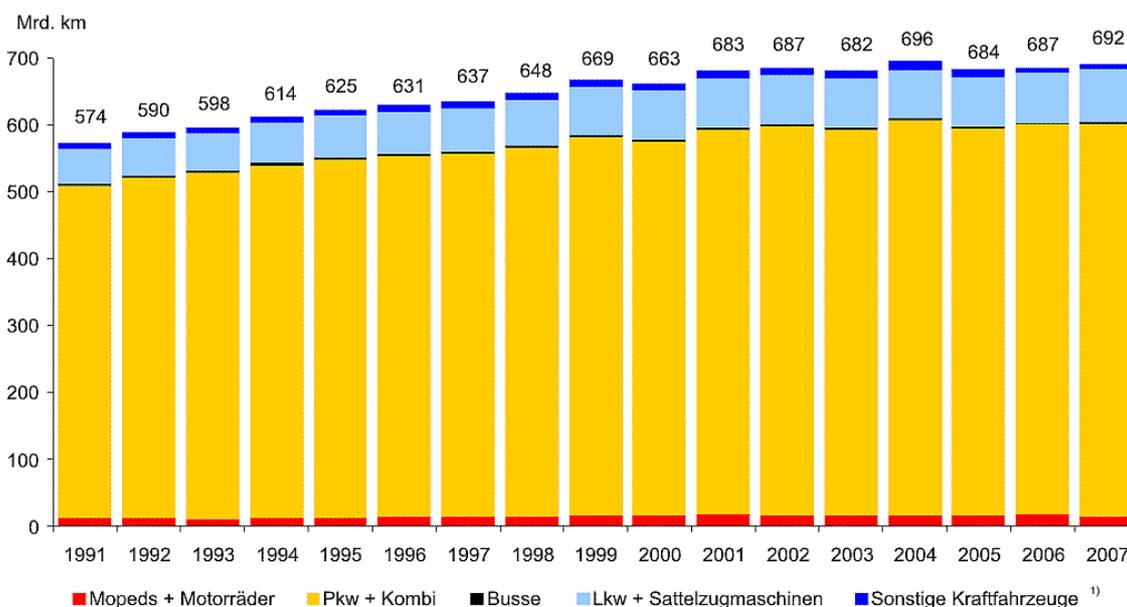
Im gleichen Bundesland wurden 1993 fast 800 Streckenabschnitte mit Amphibienquerungen gezählt mit einer Betroffenheit von über 700.000 Tieren (73% Erdkröten, 16% Grasfrösche, 6% Bergmolche, s. LAUFER & ZURMÖHLE 2007). Gemessen am Bestand der Straßenklassen in Baden-Württemberg entfielen die Meldungen zu je einem Drittel auf Landes- und Kreisstraßen, ein Fünftel auf Gemeindestraßen und nur 12% auf Bundesfernstraßen (B und BAB). Durch dauerhafte Schutzanlagen geschützt waren bis 1993 11% aller Wanderstrecken, in Rheinland-Pfalz sind es 12% von 313 bekannten Amphibienwechsellinien über Straßen hinweg (BITZ & THIELE 1996).

<sup>11</sup> „Die effektive Maschenweite ist ein errechneter Mittelwert für die Maschengröße des Verkehrsnetzes nach der Methode von JAEGER et al. (2001), die neben der Größe aller Teilräume auch die Struktur der Zerschneidung des gesamten betrachteten Raums berücksichtigt.“ (nach <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-Umwelt.de>)

<sup>12</sup> Dies entspricht einer Kreisfläche mit einem 4 km-Radius, was rein rechnerisch ungefähr dem Flächenbedarf einer Erdkrötenpopulation gleichkommt (vgl. Tab. 2).

An Straßen ohne irgendwelche Schutzmaßnahmen sind Verluste durch den Straßenverkehr unausweichlich. Einzelstudien belegen, dass bereits sehr geringe Verkehrsdichten hohe Tötungsraten zur Folge haben können (z. B. 12% bei 6 Kfz/h, KUHN 1987, 30% bei 10 Kfz/h, VAN GELDER 1973, in einem Rechenmodell theoretisch abgeleitet 50% bei 8 Kfz/h, HEINE 1987). HEUSSER wies bereits 1968 darauf hin, dass bei zweimaliger Querung einer Straße innerhalb einer Saison (Hin- und Rückwanderung) allein die durch den Straßenverkehr verursachte Mortalitätsrate eine Erdkrötenpopulation an die Grenze ihrer Überlebensfähigkeit bringen kann. Auch wenn ein Wildtier nicht unmittelbar unter die Räder eines Autos gelangt, können die Druckimpulse von einem sich mit mittlerer Geschwindigkeit über die Fahrbahn hinweg bewegenden Kraftfahrzeug bereits sehr hohe Kräfte freisetzen (z. B. 0,051 kp innerhalb von 0,5 sec bei einem Kleinbus mit 50 km/h Fahrgeschwindigkeit). Auch „zwischen die Räder genommene“ Amphibien werden dabei derart belastet, dass die inneren Organe aus den Körperöffnungen heraustreten oder die Tiere sogar zerplatzen können (HUMMEL 2001).

Die Straßenverkehrsbelastung ist somit ein weiterer Faktor, der die erfolgreiche Querungsmöglichkeit auch einer schmalen Straße sehr schnell begrenzt. Vor diesem Hintergrund verstärkt der Zuwachs des Motorisierten Individualverkehrs (MIV) in Deutschland dieses Problem. Der Kfz-Bestand im Jahr 2007 betrug 57,4 Mio. Fahrzeuge bei 84% PKW-Anteil und verzeichnet seit 1991 einen Zuwachs von über 1,6%/Jahr, was sich innerhalb dieser 17 Jahre auf 28% kumulierte (BMVBS 2008/2009). Noch entscheidender ist im gleichen Zeitraum die Zunahme der Fahrleistungen auf den deutschen Straßen (also auch des Transitverkehrs, vgl. Abb. 4). Auch hierbei ist eine jährliche Zuwachsrate von 1,2% festzustellen, wobei die Verkehrsleistung von fast 700 Mrd. Kilometer pro Jahr nahezu zur Hälfte auf Bundesfernstraßen erbracht wird. 96% der Personenbeförderung und 72% des Güterverkehrs wurden 2008 über die Straße abgewickelt<sup>13</sup>.



<sup>1)</sup> Zugmaschinen und Sonderkraftfahrzeuge; ab 2006 werden Fahrzeuge mit Zweckbestimmung (wie Wohnmobile, Krankenwagen) den Pkw zugeordnet

**Abbildung 4: Gesamtfahrleistungen verschiedener Kraftfahrzeugarten 1991 – 2007** (aus BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG 2008/2009)<sup>14</sup>

<sup>13</sup> nach Statistisches Bundesamt unter <http://www.destatis.de>

<sup>14</sup> download aus <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de>

Diesen Tatbeständen und Entwicklungen stehen Programme des Bundesministerien sowie gesetzliche Vorgaben auf nationaler und europäischer Ebene gegenüber, die gestalterische Maßnahmen am Bestand und beim Ausbau der Verkehrsnetze erfordern, um negative Auswirkungen auf den Bestand wildlebender Tiere auf ein zumindest unerhebliches Maß herab zu setzen. Insbesondere bei neuer Zerschneidung freier „Naturräume“ durch einen Verkehrswegebau ist deshalb zwingend der Nachweis seiner „Durchlässigkeit“ für Wildtiere zu erbringen. Beispielhaft können hier aufgeführt werden:

☞ **Bundesverkehrswegeplan 2003 (Gültigkeit bis 2015)**

*„Neben der Bewertung nach der aktualisierten Nutzen-Kosten-Analyse wurden alle Vorhaben umwelt- und naturschutzfachlich untersucht und hinsichtlich ihrer ökologischen Risiken eingestuft. Darüber hinaus wurde die raumstrukturelle Bedeutung der Vorhaben in einer Raumwirksamkeitsanalyse umfassender als früher ermittelt.“<sup>15</sup>*

☞ **Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt (BMU 2007: Kap. B 2.8 Mobilität)**

*„Erarbeitung eines umfassenden Konzeptes zur Minimierung von Zerschneidungseffekten bis zum Jahre 2010, Gestaltung von Bundesverkehrswegeplan und Verkehrswegekonzepten so, dass erhebliche Beeinträchtigungen der biologischen Vielfalt vermieden werden, Entwicklung eines bundesweiten Konzeptes zur Sicherung vorhandener UZVR bis 2010, weiterhin Sicherstellung der Einbeziehung der Naturschutzaspekte bei der europäischen Verkehrswegeplanung (v. a. Transeuropäische Netze (TEN), COST-Programme, IENE).“*

☞ **Leuchtturmprojekt G 6 „Lebensraumkorridore/Grünbrücken für Bundesfernstraßen“ (Bezeichnung nach DEUTSCHER BUNDESTAG 2007, Zitat aus BMU 2007)**

*„Zukunftsfähige Landschaftsentwicklung – Wiedervernetzung für eine nachhaltige Bewahrung der Biologischen Vielfalt: Entwicklung eines bundesweiten Maßnahmenprogramms zur Überwindung von Barrieren und zur Wiedervernetzung ökologischer Systeme... Neue Verkehrswege (v. a. Straße, Wasserstraße, Schiene) weisen eine ausreichende ökologische Durchlässigkeit auf (z. B. Fischtreppe in Fließgewässern, Grünbrücken an Verkehrswegen). Bis 2020 gehen von den bestehenden Verkehrswegen in der Regel keine erheblichen Beeinträchtigungen des Biotopverbundsystems mehr aus. Die ökologische Durchlässigkeit von zerschnittenen Räumen ist erreicht.“*

☞ **Grundgesetz Art. 20 a**

*„Der Staat schützt auch in Verantwortung für die künftigen Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen...“*

☞ **Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG) gültig ab dem 01.03.2010, BGBl. I Nr. 51**

§ 1 Abs. 5: *„Großflächige, weitgehend unzerschnittene Landschaftsräume sind vor weiterer Zerschneidung zu bewahren... Verkehrswege, Energieleitungen und ähnliche Vorhaben sollen landschaftsgerecht geführt, gestaltet und so gebündelt werden, dass die Zerschneidung und die Inanspruchnahme der Landschaft sowie Beeinträchtigungen des Naturhaushalts vermieden oder so gering wie möglich gehalten werden...“*

§ 15 Abs. 1: *„Der Verursacher eines Eingriffs ist zu verpflichten, vermeidbare Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft zu unterlassen...“*

§ 15 Abs. 2: *„Der Verursacher ist verpflichtet, unvermeidbare Beeinträchtigungen durch Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege auszugleichen (Ausgleichsmaßnahmen) oder zu ersetzen (Ersatzmaßnahmen). Ausgeglichen ist eine Beeinträchtigung, wenn und sobald die beeinträchtigten Funktionen des Naturhaushalts in gleichartiger Weise wieder hergestellt sind...“*

<sup>15</sup> zitiert aus <http://www.bmvbs.de/Verkehr/Programme-,1495/Bundesverkehrswege-plan.htm>

§ 44 Abs. 1: „Es ist verboten,

1. wild lebenden Tieren der besonders geschützten Arten nachzustellen, sie zu fangen, zu verletzen oder zu töten oder ihre Entwicklungsformen aus der Natur zu entnehmen, zu beschädigen oder zu zerstören,
2. wild lebende Tiere der streng geschützten Arten und der europäischen Vogelarten während der Fortpflanzungs-, Aufzucht-, Mauser-, Überwinterungs- und Wanderungszeiten erheblich zu stören; eine erhebliche Störung liegt vor, wenn sich durch die Störung der Erhaltungszustand der lokalen Population einer Art verschlechtert,
3. Fortpflanzungs- oder Ruhestätten der wild lebenden Tiere der besonders geschützten Arten aus der Natur zu entnehmen, zu beschädigen oder zu zerstören,...

§ 44 Abs. 5: „... Sind in Anhang IV Buchstabe a der Richtlinie 92/43/EWG aufgeführte Tierarten, europäische Vogelarten oder solche Arten betroffen, die in einer Rechtsverordnung nach § 54 Absatz 1 Nummer 2 aufgeführt sind, liegt ein Verstoß gegen das Verbot des Absatzes 1 Nummer 3 und im Hinblick auf damit verbundene unvermeidbare Beeinträchtigungen wild lebender Tiere auch gegen das Verbot des Absatzes 1 Nummer 1 nicht vor, soweit die ökologische Funktion der von dem Eingriff oder Vorhaben betroffenen Fortpflanzungs- oder Ruhestätten im räumlichen Zusammenhang weiterhin erfüllt wird. Soweit erforderlich, können auch vorgezogene Ausgleichsmaßnahmen festgesetzt werden...“

☞ **Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (Amtsblatt Nr. L 206 vom 22/07/1992 S. 0007 – 0050)**

Art. 3 Erhaltung der natürlichen Lebensräume und der Habitate der Arten:

(1) „Es wird ein kohärentes europäisches ökologisches Netz besonderer Schutzgebiete mit der Bezeichnung "Natura 2000" errichtet. Dieses Netz ... muss den Fortbestand oder gegebenenfalls die Wiederherstellung eines günstigen Erhaltungszustandes dieser natürlichen Lebensraumtypen und Habitate der Arten in ihrem natürlichen Verbreitungsgebiet gewährleisten.“

Art. 12 Artenschutz:

(1) „Die Mitgliedstaaten treffen die notwendigen Maßnahmen, um ein strenges Schutzsystem für die in Anhang IV Buchstabe a) genannten Tierarten in deren natürlichen Verbreitungsgebieten einzuführen; dieses verbietet: „... b) jede absichtliche Störung dieser Arten, insbesondere während der Fortpflanzungs-, Aufzucht-, Überwinterungs- und Wanderzeiten; ... d) jede Beschädigung oder Vernichtung der Fortpflanzungs- oder Ruhestätten.“

☞ **Raumordnungsgesetz (ROG) vom 22.12.2008 (BGBl. I S. 2986), in Kraft getreten am 31.12.2008 bzw. 30.06.2009, zuletzt geändert durch Gesetz vom 31.07.2009 (BGBl. I S. 2585) mit Wirkung vom 01.03.2010**

§ 2 Abs. 2 Nr. 2: „...es ist ein großräumig übergreifendes, ökologisch wirksames Freiraumverbundsystem zu schaffen. Die weitere Zerschneidung der freien Landschaft und von Waldflächen ist dabei so weit wie möglich zu vermeiden; die Flächeninanspruchnahme im Freiraum ist zu begrenzen.“

§ 2 Abs. 2 Nr. 6: „Der Raum ist in seiner Bedeutung für die Funktionsfähigkeit der Böden, des Wasserhaushalts, der Tier- und Pflanzenwelt sowie des Klimas einschließlich der jeweiligen Wechselwirkungen zu entwickeln, zu sichern oder, soweit erforderlich, möglich und angemessen, wiederherzustellen. Wirtschaftliche und soziale Nutzungen des Raums sind unter Berücksichtigung seiner ökologischen Funktionen zu gestalten; dabei sind Naturgüter sparsam und schonend in Anspruch zu nehmen,...“

### 1.3 Bedeutung des Projektes in Hinblick auf Investitionen der Baulastträger

Der Bundesverkehrswegeplan 2003 umfasst nach Beschluss des Bundeskabinetts für den Zeitraum 2001 bis 2015 einen Investitionsrahmenplan in der Größenordnung von 150 Mrd. Euro. Für den Straßenbau sind davon 80 Mrd. Euro vorgesehen (entspricht im Durchschnitt 8 Mrd. Euro jährlich). Davon sollen 56% für die Erhaltung der Bestandsnetze von Schiene, Straße und Wasserstraße und 44% für den Neu- und Ausbau ausgegeben werden. Je nach Straßenklasse werden diese Bundesmittel als Zuschuss gewährt und stellen in Teilen keine 100%-Übernahme aller Baukosten dar. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die tatsächlich in den Straßenbau investierten Gelder des Bundes, der Länder sowie der Kreise und Kommunen noch höher liegen.

Da dauerhafte Amphibienschutzanlagen Bestandteile von Straßen sind, fallen deren Baukosten ebenfalls in dieses Budget. Überschlägig werden 2 – 5% aller Investitionskosten bei Verkehrsprojekten für naturschutzrechtlich erforderliche Maßnahmen ausgegeben (JEDICKE 2008). Auch die Kosten für die Unterhaltung (Pflege und Wartung) sind vom Baulastträger zu übernehmen. Beim Straßenneubau wird der eventuelle Bedarf an technischen Anlagen zum Kleintierschutz in der Regel bei der Umweltverträglichkeitsstudie ermittelt und im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens in der Landespflegerischen Begleitplanung bezüglich des erforderlichen Umfangs festgelegt. Ähnliches gilt für den Ausbau von Straßen. An bereits bestehenden Straßen ohne aktuelle Ausbaupläne bestehen nach Ansicht der Bundesregierung aufgrund fehlender Rechtsgrundlagen keine Finanzierungsmöglichkeiten (DEUTSCHER BUNDESTAG 2007). Somit stehen vor einer Installation von Amphibienschutzanlagen zumeist langjährige Aktionen engagierter Bürger mit mobilen Schutzzäunen und Sammelbehältern. Nach einer Modellrechnung würden diese Sammelaktionen an provisorischen Leitzäunen allein in Baden-Württemberg (an knapp 800 Wanderstrecken in 1993) jährlich etwa 8,2 Mio € verursachen, die real überwiegend durch ehrenamtliche Arbeit erbracht werden (LAUFER & ZURMÖHLE 2007).

Der Einbau dauerhafter Leitsysteme als Strategie zum Amphibienschutz an Straßen nimmt inzwischen deutlich zu. So wurde beispielsweise an Wanderstrecken im Regierungsbezirk Freiburg die Verdreifachung des Anteils dauerhafter Amphibienschutzanlagen innerhalb von zehn Jahren registriert (LAUFER & ZURMÖHLE 2007). Die Baukosten für eine Anlage sind natürlich abhängig vom betroffenen Straßenabschnitt und der erforderlichen Anzahl an Durchlässen. Tab. 4 vermittelt anhand einiger Beispiele aus einer Internetrecherche eine grobe Vorstellung „üblicher“ Baukosten. Als Durchschnittswerte sind in etwa 1.000 Euro/Meter für Betondurchlässe und 180 – 200 Euro/Meter für Leitwände (Stahl / Beton) anzusetzen.

**Tabelle 4: Beispiele von Baukosten für Amphibienschutzanlagen an Straßen** (diverse Quellen)

Standort	Straßentyp	Baulänge	Anzahl der Durchlässe	Baujahr	Kosten
Byhleguhre	Landesstraße	300 m	9	1999	70.000 €
Weingarten	Bundesstraße	250 m	1	1999	77.000 €
Österreich	Kreisstraße	unbekannt	unbekannt	2007	96.000 €
Barnim	Landesstraße	unbekannt	8	1999	130.000 €
Buchholz	Kreisstraße	1000 m	10	2004	360.000 €
Bonn	Kreisstraße	unbekannt	unbekannt	Planung bis 2013	475.000 €
Österreich	Bundesstraße	1450 m	10	2007	480.000 €
Worms	Kreis-/Bundesstraße	1350 m	18	1999/2000	1.000.000 €

## 1.4 Betrachtung möglicher Problemfelder an dauerhaften Amphibienschutzanlagen in Hinblick auf Funktionalität und Wirksamkeit

Dauerhafte Kleintierschutzanlagen bieten prinzipiell ganzjährig den Tieren die Möglichkeit, die Straße gefahrlos zu unterqueren. In der Regel für Amphibien konzipiert treten an ihnen aber phänologisch im Frühjahr die meisten Tiere auf. Die Anzahl der Tiere und der Zeitpunkt ihres Erscheinens an den Schutzanlagen (der „Wanderpeak“) ist von verschiedenen Faktoren abhängig:

- artspezifische Wanderrhythmen der im Umfeld vorkommenden Amphibien
- Entfernung der Anlage zum (hauptsächlichen) Laichgewässer
- Wanderaktivität in Folge des Witterungsverlaufs (In Jahren mit wenigen feucht-warme Nächte im Frühjahr können auf Einzeltage begrenzt Massenwanderereignisse auftreten, während sich das Wandergeschehen in Jahren mit stark wechselhaftem Frühjahrswetter mit abendlichen Temperaturen  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  auf viele Nächte verteilen kann.)

Neben der Frühjahrswanderung (Hin- und Rückwanderung), die bei Hauptvorkommen von Erdkröten meist in den Monaten März und April stattfindet (bei Springfröschen bereits im Februar, gelegentlich sogar schon im Januar), treten auch zur Abwanderzeit der Jungtiere aus ihren Geburtsgewässern im Sommer (meist Juni/Juli) viele Amphibien an den Schutzanlagen auf. Auch während der Herbstmigration in den Monaten September/Oktober gehen Teile der Populationen zur Aufsuche von Überwinterungsplätzen in Gewässernähe erneut auf Wanderschaft. Bei periodisch hoher Individuendichte kommt es an dauerhaften Amphibienschutzanlagen deshalb nicht selten zu einer massiven Konzentration der Wanderströme auf die vergleichsweise engen Straßendurchlässe, was sich als „rush-hour-Effekt“ beschreiben lässt (vgl. Abb. 5).

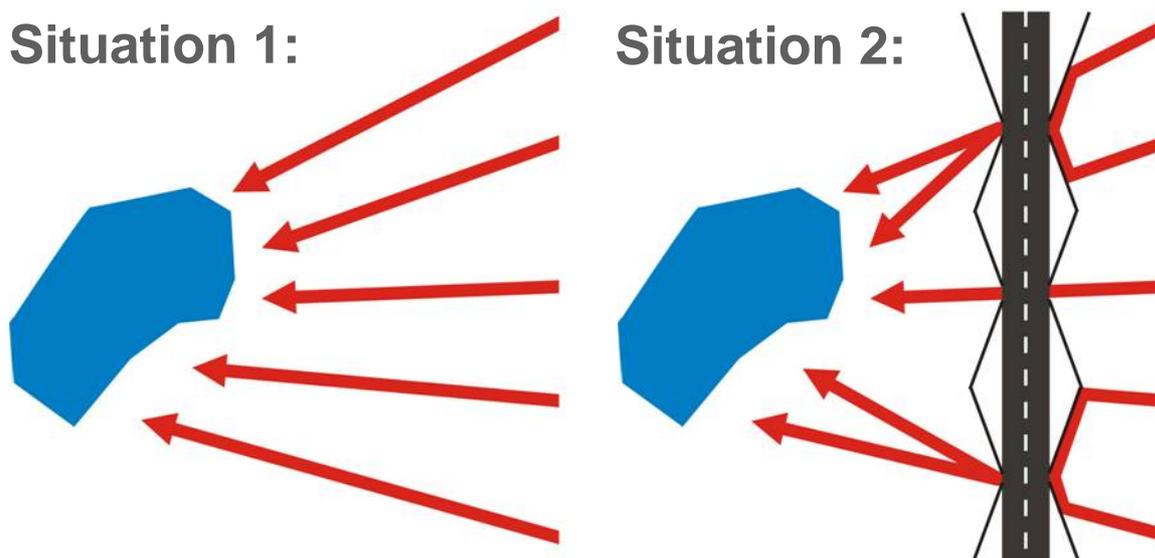
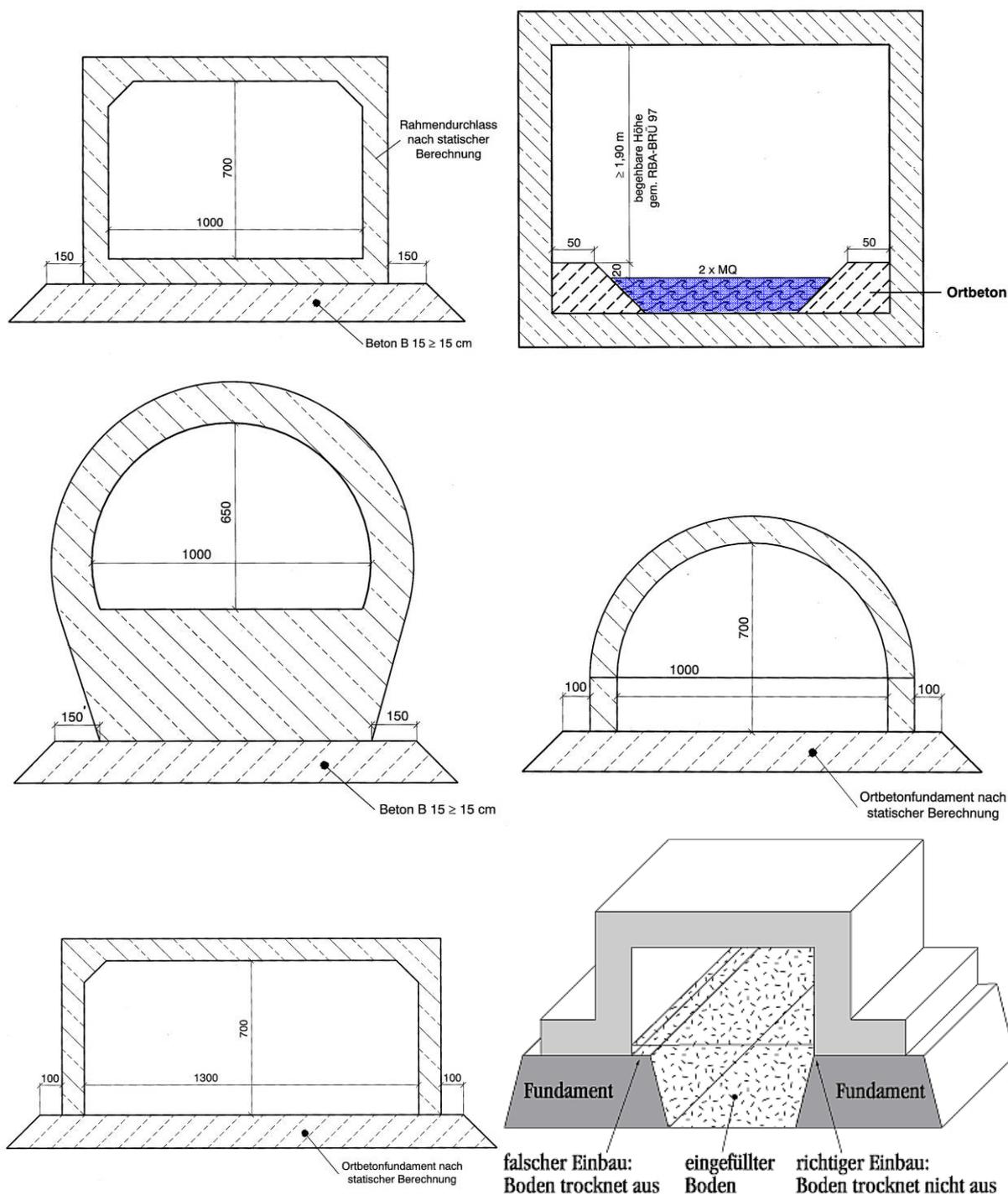


Abbildung 5: Schema von Amphibienwanderstrecken zwischen Landlebensraum und Laichplatz ohne und mit Unterquerung einer Straße mit dauerhafter Amphibienschutzanlage

Hohe Individuendichten an den Durchlässen unter der Straße führen vielfach zu einem so genannten „gauntlet-Phänomen“ (= „Spießrutenlauf“), bei dem einzelne Tiere (meist Erdkrötenmännchen auf der Suche nach einer Partnerin) schmale Tunneleingänge blockieren und durch wildes Hin- und Hergespringe eine zügige Durchwanderung der Querungshilfen für viele Anwanderer behindert wird (s. z. B. FUHRMANN 2001).

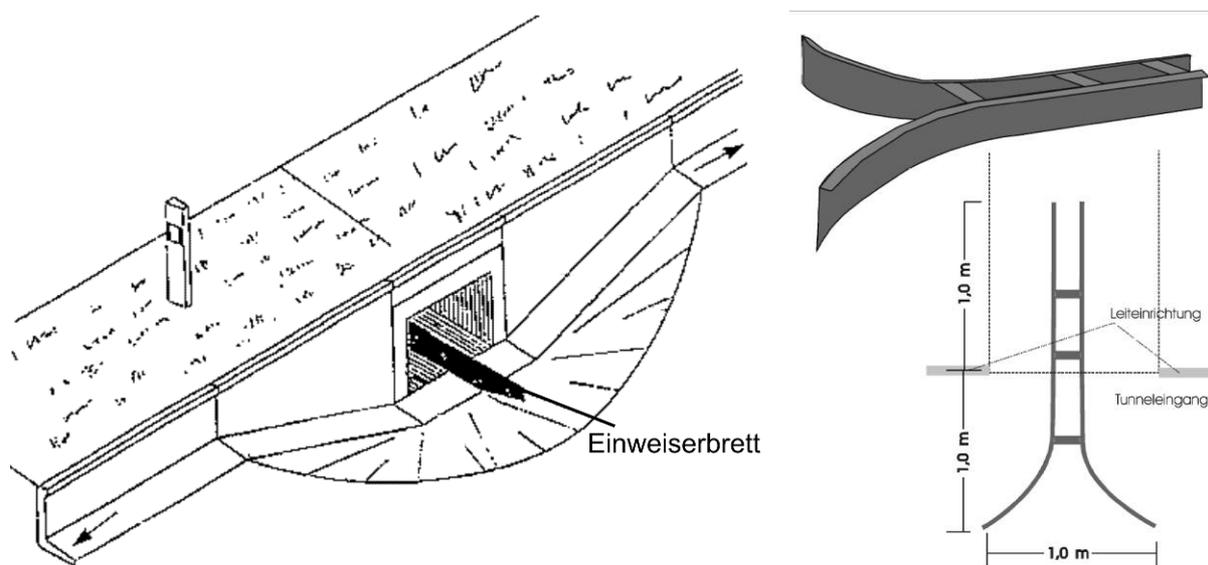


**Abbildung 6: Schemazeichnungen verschiedener Tunnelvarianten** (ob-li.: Rahmendurchlass, ob-re.: Wasserdurchlass mit Bermen, mi-li.: Rohrdurchlass mit Sohlenverbreiterung, mi-re.: Halbkreishaube, un-li.: Rechteckhaube auf flächigem Ortbeton, un-re.: Stelztunnel auf Streifenfundament; aus: BMVBW 2000 und FREY & NIEDERSTRAßER, 1999)

Neben solchen Nutzungsbeeinträchtigungen, bedingt durch meteorologische Ereignisse und Partnersuchverhalten der Tiere, haben aber vermutlich auch mikroklimatische und physikalische Eigenschaften der Kleintierschutzanlagen – besonders aufgrund der künstlichen Bauart – Einfluss auf ihre Funktionalität und Wirksamkeit. Neben den oben bereits dargelegten zwei Grundprinzipien zum Bau von Amphibienschutzanlagen (vgl. Abb. 1) bietet das Merkblatt für Amphibienschutz an Straßen (Ausgabe 2000) eine Auswahl verschiedener Möglichkeiten zur Tunnelform und Laufsohlenbeschaffenheit (vgl. Abb. 6):

1. Rahmendurchlässe (Rechteckprofil, je nach Durchlasslänge mit 1.000 – 2.000 mm lichte Weite und 750 – 1.500 mm lichte Höhe)
2. Rohrdurchlässe (Kreisprofil mit Betonauffüllung für eine Sohlenverbreiterung, je nach Durchlasslänge mit 1.000 – 2.000 mm lichte Weite)
3. Rechteckhauben / Stelztunnelelemente auf flächigem oder in Tunnelängsrichtung streifenförmigem Ortbetonfundament (Rechteckprofil, je nach Durchlasslänge mit 1.100 – 2.000 mm lichte Weite und 600 – 1.100 mm lichte Höhe)
4. Halbkreishauben auf flächigem oder in Tunnelängsrichtung streifenförmigem Ortbetonfundament (Kreisprofil, je nach Durchlasslänge mit 1.000 – 1.600 mm lichte Weite und 700 – 1.100 mm lichte Höhe)

Bei Streifenfundamenten kommen zudem Variationen hinzu, je nach Breite des Fundaments und der Lage der Innenkante. Außerdem können Staunässe oder kleinere Abflussrinnen auch innerhalb von Tierdurchlässen unter der Straße vorhanden sein. In diesen Fällen ist eine beiderseitige Berme oberhalb des mittleren Wasserstandes zur Aufrechterhaltung von Tierwanderungen erforderlich. Damit Tiere, die an den Leitwänden parallel zur Straße entlang laufen, nicht an den Tunneleingängen vorbeilaufen, werden zudem Leitblenden (= „Einweiserbretter“) installiert, die sehr unterschiedlich gestaltet sein können (s. Abb. 7).



**Abbildung 7:** Schemazeichnungen verschiedener „Einweiser“ am Tunneleingang (links: einfaches Brett, aus FREY & NIEDERSTRABER 1999; rechts: Konstruktion in Form eines gebogenen Schwalbenschwanzes, aus ÖFSV 2003)

Der Einfluss dieser verschiedenen Bauformen und anderer Eigenschaften der Lauffläche und von Betonelementen auf das Eintritts- und Durchquerungsverhalten der anwandernden Tiere wurde schon vielfach diskutiert, aber noch nicht an einer Auswahl verschiedener Bautypen und in unterschiedlichen Geländesituationen befindlichen Tunnelsystemen systematisch untersucht. Die im Rahmen des Forschungsprojektes darüber hinaus betrachteten und untersuchten Faktoren umfassen

a) physikalische Eigenschaften:

- Hygroskopizität und Alkalität von Betonelementen
- Magnetfeldmuster entlang verschiedener Anlagenteile
- Vibrationen auf der Bodenoberfläche der Laufflächen
- verkehrsbedingte Lärmentwicklungen in den Durchlässen
- Lichtverteilung und „Lichtblitze“ vorbeifahrender Autos zur abendlichen Wanderzeit

b) mikroklimatische Eigenschaften:

- bodennahe Lufttemperatur innerhalb und außerhalb der Durchlässe
- bodennahe Luftfeuchtigkeit innerhalb und außerhalb der Durchlässe
- bodennahe Windgeschwindigkeit innerhalb und außerhalb der Durchlässe
- Austrocknungswirkungen innerhalb der Durchlässe

Auswirkungen auf das Verhalten anwandernder und querender Tiere wurden direkt vor Ort nach einem einheitlichen Schema protokolliert (Einzeltierbeobachtungen) und durch Filmaufnahmen (Massenbewegungen) ergänzt.

## 2. Vorgehensweise

Das Forschungsprojekt umfasste eine Laufzeit von insgesamt vier Jahren (2006 – 2009). Ein Schwerpunkt der Tätigkeiten im ersten Jahr war die Erlangung eines (groben) Überblicks zum Bestand der Amphibienschutzanlagen an bundesweiten Straßen. Aus einer erarbeiteten Vorschlagsliste wurden schließlich im Projektverlauf 16 für das Forschungsziel geeignet erscheinende Anlagen(teile) ausgewählt. Außerdem wurden Felderfassungsmethoden für vergleichende Mikroklimamessungen und für Verhaltensbeobachtungen von anwandernden Tieren an den Anlagen erprobt und die Vorgehensweise für die nachfolgenden Jahre der Feldarbeit festgelegt. Außerdem wurde in 2006 das Wasseraufnahmevermögen von Beton-elementen unter Leitung von Dipl.-Ing. Jörn KREYE im Labor des Materialprüfamt für Bauwesen an der Fachhochschule Wiesbaden<sup>16</sup> überprüft.

In den drei folgenden Jahren (2007 – 2009) wurde das Verhalten von Amphibien und anderen Tieren vor verschiedenen Eingängen sowie innerhalb von Durchlässen ausgewählter Kleintierschutzanlagen durch direkte Beobachtungen und automatische Videoaufzeichnungen erfasst. Ein Team von insgesamt 33 bundesweit verteilt arbeitenden Fachkräften<sup>17</sup> (Biologen, Landespflegern u. a.) stellte Beobachtungsdaten in drei Frühjahrswanderperioden (Hin- und Rückwanderung) sowie in zwei Jungtierwanderperioden zusammen. An der Bundesstraße 3 bei Karlsruhe fanden auch noch Beobachtungen während einer dritten Jungtierwanderperiode (in 2009) statt.

In den beiden letzten Jahren der Feldarbeit (2008 u. 2009) wurde nicht nur das unbeeinflusste Verhalten der an die Schutzanlagen anwandernden Tiere beobachtet, sondern auch baulich-experimentelle Veränderungen in den Durchlässen und in ihrem Eingangsbereich vorgenommen. Dies diente zur Überprüfung theoretischer Ansätze, die Eintritts- und Durchquerungsrate der beobachteten Tiere zu erhöhen. In 2009 wurde dieser methodische Ansatz noch durch Wahlexperimente an eingesetzten Tieren während der Wanderperioden in abge- zäunten Versuchsarenen an drei Standorten der untersuchten Amphibienschutzanlagen (bei Karlsruhe, Worms und Duingen) ergänzt.

Außerdem wurden vom gleichen Bearbeiterteam parallel sowie unabhängig von Verhaltensbeobachtungen verschiedene physikalische und mikroklimatische Parameter in und an den untersuchten Anlagendurchlässen erhoben. Exemplarisch durchgeführten Messungen zur Lärmentwicklung in zwei Durchlässen der Amphibienschutzanlage bei Karlsruhe wurden in 2009 von einem bauphysikalischen Ingenieurbüro für Prüfverfahren zum Schallschutz (namentlich Herr Dipl.-Ing. Christian WINTER von der Kurz und Fischer GmbH) durchgeführt. Ausgedehnte Messungen zu Magnetfeldern an verschiedenen Anlagenteilen von elf der im Forschungsprojekt untersuchten Amphibienschutzanlagen (plus sieben weiteren) wurden zudem von Herrn Dipl.-Ing. Patrick URBANKE im Rahmen seiner Bachelor-Thesis im Studiengang Landschaftsarchitektur an der Fachhochschule Wiesbaden im Sommersemester 2008 vorgenommen. Das zusammenfassende Ergebnis seiner Studie floß in den Ergebnisteil dieses Projektberichtes mit ein.

---

<sup>16</sup> heutiger Name: „Hochschule Rhein-Main“

<sup>17</sup> Zur Namensliste siehe Impressum

## 2.1 Umfrage bei Landesbehörden und Naturschutzverbänden zu Amphibienschutzanlagen in Deutschland

Um einen aktuellen gesamtdeutschen Überblick über realisierte Amphibienschutzanlagen zu erhalten, die vorzugsweise nach den Kriterien des Merkblatts für Amphibienschutz an Straßen (MAmS) errichtet wurden, wurde ein Fragebogen erarbeitet (s. Anhang). Neben einer dankenswerten, kurzzeitigen Veröffentlichung im Internet beim Bundesfachausschuss Feldherpetologie/Ichthyofaunistik im NABU<sup>18</sup> wurde er auch an 118 Vertreter von 84 relevant erschienenen Stellen<sup>19</sup> direkt per E-Mail versandt.

Aus den erhaltenen Rückmeldungen, ergänzenden Auswertungen aus Publikationen und weiteren Informationsquellen (Internetrecherche, eigenständige Kenntnisse zu Schutzanlagen, gezielte Nachfrage bei Einzelpersonen usw.) wurde anhand des verfügbaren Bild- und Datenmaterials sowie persönlicher Inaugenscheinnahmen eine Vorauswahl hinsichtlich einer möglichen Aufnahme in das Untersuchungsprogramm getroffen. Auswahlkriterien waren zunächst die im ersten Treffen der projektbegleitenden Arbeitsgruppe (PAG) am 28. März 2006 erarbeiteten Wunschkategorien:

- Schutzanlagenbestandteile und –dimensionen gemäß MAmS 2000
- Bevorzugung großer Anlagen mit unterschiedlichen Durchlasstypen/–längen und/oder erwarteter hoher Varianz von Feuchte und Zugluft
- Vorhandensein aussagekräftiger Voruntersuchungen zu hohem Amphibienvorkommen
- Lage der Anlagen im Wanderbereich von Amphibien zwischen Laichplatz und Landlebensraum (Sommer-/Winterhabitate)
- Bevorzugung von Anlagen mit regelmäßigem bis häufigem Vorkommen von einer oder mehrerer der folgenden Amphibienarten: Kammolch, Moor-/Springfrosch, Erdkröte, Scheibenzüngler (Gelbbauch-/Rotbauchunke, Geburtshelferkröte)
- Verteilung der zu untersuchenden Anlagen unter biogeographischen Aspekten (Abdeckung verschiedener Naturräume)

Auf dieser Grundlage wurde dann beim zweiten Treffen der PAG am 14.11.2006 eine erste Auswahl von elf Anlagen(teilen) getroffen. Im Laufe des Projektfortschritts wurde diese Liste beim dritten und vierten Treffen der PAG am 07.02.2007 und 13.02.2008 noch um fünf weitere Anlagen ergänzt, bzw. als Ersatz für nicht weiter untersuchte aufgenommen.

---

<sup>18</sup> unter <http://www.amphibienschutz.de>

<sup>19</sup> s. Verteilerliste im Anhang (31 Obere Straßenbauverwaltungen von Bund und Länder, 21 Untere Straßenbauämter, 22 Naturschutzverbände/ Einzelpersonen und 10 Obere Naturschutzbehörden)

## 2.2 Erfassung physikalischer Eigenschaften der Schutzanlage

### 2.2.1. Sektoreneinteilung des Raums vor den Tunneleingängen

Zur Beschreibung der Laufsohlenbeschaffenheit in den untersuchten Durchlässen und der Bodenverhältnisse im Umfeld zum Tunneleingang wurde ein Protokollbogen erstellt (s. Anhang), der Angaben zur Exposition der Tunnelöffnung, zur Neigung von eventuell vorhandenen Rampen, zum Material der Leiteinrichtungssohle sowie zum Untergrund und Aufwuchs vor und in den Durchlässen abfragt. Zur Vereinheitlichung der Darstellung wurde hierzu das Eingangsvorfeld in verschiedene Sektoren eingeteilt (s. Abb. 25). Während der Beobachtungen zum Verhalten der Amphibien an den Tunneleingängen (s. u.) wurde zudem die Tiefe eventuell vorhandener Wasserpfützen protokolliert.

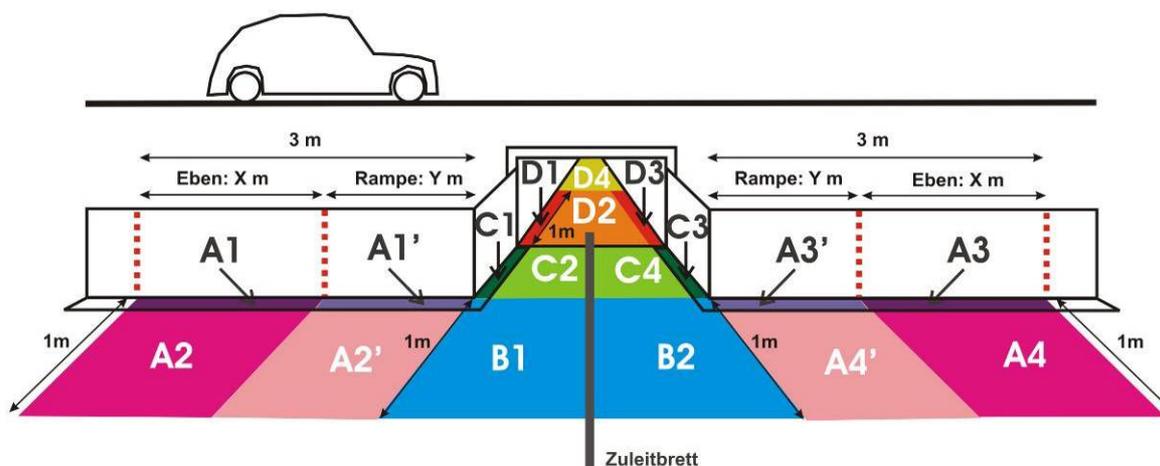


Abbildung 8: Sektorale Einteilung zur Beschreibung des Tunnelvorfeldes

### 2.2.2. Alkalität von Bauteilen der Amphibienschutzanlagen

Neben den Parametern zur Laufsohlenbeschaffenheit wurden auch Messungen zur Alkalität des Bodensubstrats und von Bauteilen im Tunneleingangsbereich vorgenommen.



Abbildung 9: Bestimmung des pH-Wertes an verschiedenen Schutzanlageanteilen

Dazu wurden mit destilliertem Wasser befeuchtete Teststäbchen mit drei Indikatorfarben zur pH-Wert-Bestimmung (pH-Fix 4.5 – 10.0 von MACHEREY-NAGEL, Ablesegenauigkeit 0,5 pH-Skalenwerte) auf verschiedene Bereiche von Schutzanlagenbauteilen mittels Adhäsionskraft geklebt (s. Abb. 9).

### 2.2.3. Wassereindringvermögen

Beim Materialprüfungsamt an der Fachhochschule in Wiesbaden (MPA Wiesbaden) wurden zudem Laborversuche zum Wassereindringvermögen in Beton durchgeführt. Diese dienten zur Klärung der Frage, ob den Tieren bei der Durchwanderung der Amphibiendurchlässe durch die Berührung der Betonoberfläche zuviel Feuchtigkeit entzogen werden kann. Entscheidend hierbei ist, wie rasch ein derartiger Feuchteentzug abläuft. Für einen Vergleich zu Materialeigenschaften von Betonbauelementen verschiedener Hersteller für Amphibiendurchlässe sollte ergründet werden, welche Untersuchungsmethoden hinsichtlich einer „Kurzzeit-Feuchteaufnahme“ am besten geeignet sind<sup>20</sup>.



**Abbildung 10: Wasserdichte Abdichtung von Bohrprüfkernen im Labor des MPA Wiesbaden**

Die Untersuchungen wurden auf horizontalen, geschalteten Flächen von Betonwürfeln vorgenommen, da auch die Amphibiendurchlässe über eher glatte Oberflächen verfügen. Getestet wurden folgende Verfahren:

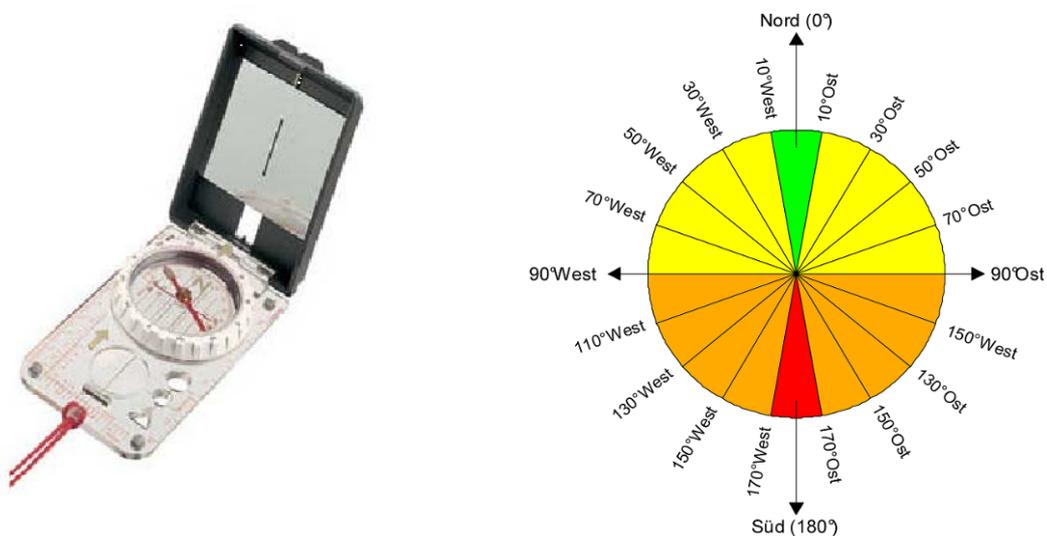
1. Wasseraufnahmeprüfung in Anlehnung an DIN 52617 („W-Wert“), abgewandelt für den Kurzzeitbereich: Hierbei werden Prüfkörper seitlich wasserdicht abgedichtet und mit der zu prüfenden Oberfläche in Wasser getaucht. Die Wasseraufnahmen der Proben werden in bestimmten Abständen durch Wägungen ermittelt (s. Abb. 10). In Abwandlung zur Norm wurde die Prüfung im Zeitraum 10 – 60 Sekunden vorgenommen.
2. Prüfröhrchen nach KARSTEN: Zwei Prüfröhrchen wurden auf die Betonoberflächen aufgekittet und mit Wasser gefüllt. Das Eindringverhalten von Wasser in den Beton innerhalb einer Zeitspanne von 10 Minuten wurde überprüft.
3. Aufträufeln von Wassertropfen: Mit einer Mikroliter-Pipette wurden definierte Volumina Wasser als Tropfen auf die Betonoberfläche gegeben. Anschließend wurde halbquantita-

<sup>20</sup> Zwar kennt das Bauwesen auch Standardprüfungen dieser Art, jedoch sind die zeitlichen Maßstäbe im Bauwesen andere als die hier zugrunde gelegten (z. B. 24 Stunden Wasseraufnahme beim „W-Wert“ gegenüber 60 Sekunden bei der hier durchgeführten Kurzzeitbetrachtung).

tiv die Ausbreitung des Tropfens, der Kontaktwinkel zur Oberfläche und die Zeitdauer bis zum vollständigen Aufsaugen bewertet.

### 2.2.4. Para- und ferromagnetische Eigenschaften

Metallteile in Bauelementen von Amphibienschutzanlagen haben para- und ferromagnetische Eigenschaften, die das örtliche Erdmagnetfeld überlagern können. Zur Bestimmung des Ausmaßes derartiger bodennaher Anomalien in der Horizontalrichtung wurde ein Wanderkompass verwendet, der eine Ablesegenauigkeit von  $2^\circ$  bietet<sup>21</sup>. Bei aufgeklapptem Deckel ergibt sich bei diesem Modell eine knapp 20 cm lange Anlegekante, mit der der Kompass geradlinig entlang von Leitelementen und Durchlasswänden geführt werden konnte (vgl. Abb. 11).



**Abbildung 11: Eingesetzter Kompass zur Bestimmung von Abweichungen der horizontalen Magnetfeldausrichtung an verschiedenen Bauteilen von Amphibienschutzanlagen und Einteilung der Messektoren (aus URBANKE 2008)**

Die unbeeinflusste Nordrichtung wurde vor Beginn der Messungen ungefähr in 1,50 m oberhalb der Amphibienschutzanlage ermittelt. Auf diese Nordrichtung wurde während der Messungen Bezug genommen. Dazu wurde sie am  $360^\circ$ -skalierten Drehring des Kompasses fixiert. Die Winkelbestimmungen der Nadelabweichung an Bauteilen der Amphibienschutzanlagen wurden stets in unmittelbarer Bodennähe durchgeführt, da sich die Amphibien schließlich dort bei ihren Wanderungen aufhalten.

Die Dokumentation der gemessenen Erdmagnetfeldanomalien erfolgte in Schritten von  $20^\circ$  als Horizontalwinkelabweichung von der unbeeinflussten Nordrichtung, wodurch sich insgesamt 18 Sektoren ergeben (vgl. Abb. 11). Dabei wurde der erste Sektor so gewählt, dass dieser von  $10^\circ$  West bis  $10^\circ$  Ost reicht, und somit jenen Bereich repräsentiert, dessen Magnetfeldanomalien als unbedeutend für eine Abweichung von der Wanderzielrichtung der Amphibien angesehen werden können oder auch unterhalb der Messgenauigkeit liegen. Entsprechend existiert auf der gegenüberliegenden Seite des  $360^\circ$ -Vollkreises ein Abwei-

<sup>21</sup> „Universalkompass BW 2“ mit saphirgelagerter Nadel in einer Fluidkapsel,  $\sim 50$  mm  $\varnothing$ , der Firma ESCHENBACH

chungsbereich, der den Bereich von 170° West bis 170° Ost abdeckt. Dies wurde als komplette Invertierung der Horizontalrichtung definiert. Analog ergeben sich durch diese Einteilung jeweils Sektorengrenzen bei 90° West bzw. 90° Ost. Eine Missweisung von mehr als 90° führt dazu, dass man einem Ziel nicht mehr näher kommt, sondern sich davon entfernt.

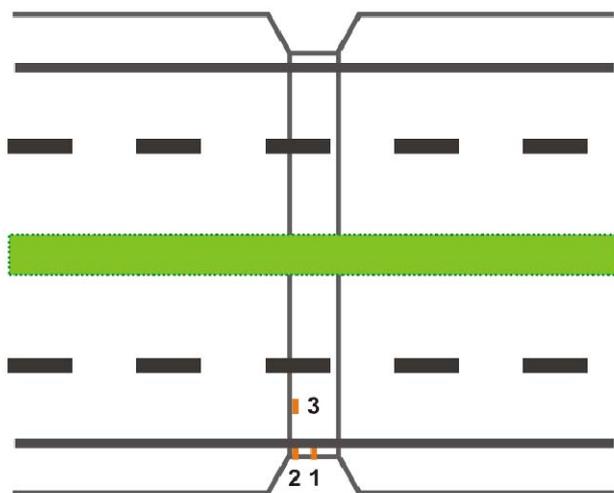
Für einen Vergleich der Messergebnisse an allen Amphibienschutzanlagen wurden zudem einheitliche Messpunkte und Messlinien definiert (s. Erhebungsbogen im Anhang). Entlang der Messlinien wurden bei langsamer Verschiebung des Kompasses stets die Maximalabweichung (ggf. in westlicher und östlicher Richtung) sowie der geschätzte durchschnittliche Abweichungsbereich dokumentiert. An den Messpunkten wurde die Maximalabweichung beim Schwenken in Handbreite über dem Messpunkt dokumentiert.

Es wurde auch darauf geachtet, eventuelle Magnetfeldanomalien in der Nähe von sonstigen magnetischen Gegenständen, (elektro-)technischen Einrichtungen oder Versorgungsinfrastrukturen (wie z. B. Laternenmasten, Straßenschilder, Leitplanken oder Drahtzäunen) von denen der jeweils untersuchten Amphibienschutzanlage zu trennen.

### 2.2.5. Vibrationen



Vibrationsmessungen:



*Oberflächennahe Eingrabung in Tunnelauffläche für 24 Stunden*

*3 Vibrationsmesser MSR145:*

*Pos.1) 1x Eingangsbereich mittig*

*Pos.2) 1x Eingangsbereich direkt neben Tunnelwand*

*Pos.3) 1x Mitte erste Fahrspur direkt neben Tunnelwand*



**Abbildung 12: Einsatz von Beschleunigungsmessern zur Erfassung von Vibrationen an Schutzanlageanteilen durch den Straßenverkehr**

Des Weiteren erzeugt der Fahrzeugverkehr Erschütterungen am Straßenkörper und damit auch an allen mit ihm verbundenen Bauteilen. Zur Messung dieser Vibrationen wurden an verschiedenen Teilen einzelner der untersuchten Kleintierschutzanlagen bis zu drei Schwingungsmesser parallel installiert<sup>22</sup>. In lockerem Bodensubstrat wurden sie im Eingangsbereich von Durchlässen oberflächennah eingegraben, bei Betonboden oder am Straßenrand wurden sie nur auf den Untergrund gelegt. Die Geräte erfassen Schwingungen in drei Raumachsen mit einer Genauigkeit von 0,15 g und speichern die Werte im Sekundentakt in einen Datenspeicher.

### 2.2.6. Lärm



**Abbildung 13: Messungen des Schalldruckpegels in zwei Stelztunneln der Amphibienschutzanlage an der B 3 bei Karlsruhe**

Als ein weiterer Faktor mit möglichem Einfluss auf das Verhalten der Tiere wurde der Schallpegel, verursacht vom Straßenverkehrslärm, in zwei Kleintierdurchlässen unterschiedlicher Bauart der Schutzanlage an der B 3 zwischen Karlsruhe-Grötzingen und Bruchsal-Untergrombach erfasst und analysiert. Dazu wurde ein schalltechnisches Gutachten erstellt (WINTER 2009, s. Anhang). Die Messungen<sup>23</sup> wurden zur abendlichen Berufsverkehrszeit, bei

<sup>22</sup> Modell „PCE-MSR145W-THPA“ von PCE DEUTSCHLAND GMBH, Meschede

<sup>23</sup> Zum Einsatz kamen kalibrierte Messmikrofone mit Vorverstärker sowie ein amtlich geeichter Schallanalysator der Klasse 1 nach DIN EN 60651 bzw. DIN EN 60804 der Firma NORSONIC. Die ordnungsgemäße Funktion der Messgeräte wurde vor und nach den Messreihen überprüft.

trockenen Witterungsverhältnissen, bei etwa 19 °C am 14.05.2009 zwischen 16:40 h und 18:50 h durchgeführt. Sie umfassten simultane Aufzeichnungen des Pegel-Zeit-Verlaufs und des Frequenzspektrums (Terzband 20 Hz – 20 kHz) an jeweils drei Messpunkten an einem Durchlassbauwerk: Tunneleingang, Tunnelmitte und am Straßenrand in etwa 1,5 m Höhe über dem Boden. Geprüft wurde je ein Stelztunnel mit gewachsenem Boden und einer auf Betonplatten (s. Abb. 13). Ihre Länge von 14 m sowie die lichte Weite von 100 cm und lichte Höhe von 60 cm ist in beiden Tunneln identisch und entspricht konform zum MAmS dem gängigen Maß vieler Schutzanlagen an einer Bundesstraße.

Die Untersuchungen wurden bei unverändertem Zustand der Durchlässe sowie nach Einbringung von zwei Schallabsorbern (offenporiger PUR Weichschaum mit einer Rohdichte von ca. 35 kg/m<sup>3</sup>) beiderseits des Tunneleingangs (38 cm breit, 76 cm, bzw. 102 cm lang und 15 cm dick) durchgeführt. Am Stelztunnel mit gewachsenem Boden wurde zudem der Einfluss von metallenen Leitblenden auf die Lärmimmission innerhalb des Tunnels getestet.

## 2.3 Erfassung der Lichtverhältnisse und des Mikroklimas an und in den Durchlässen

### 2.3.1. Lichtmenge

Die Amphibien gehen während des Frühjahrs in der Regel mit Einsetzen der abendlichen Dämmerung auf ihre Wanderung. Parallel zu den Verhaltensbeobachtungen (s. u.) wurde deshalb im stündlichen Rhythmus die Lichtmenge an vier Messpunkten im Bereich des beobachteten Tunneleingangs erfasst (vgl. Abb. 14). Zum Einsatz kamen Luxmeter, Modell MS-1300 von VOLTCRAFT.

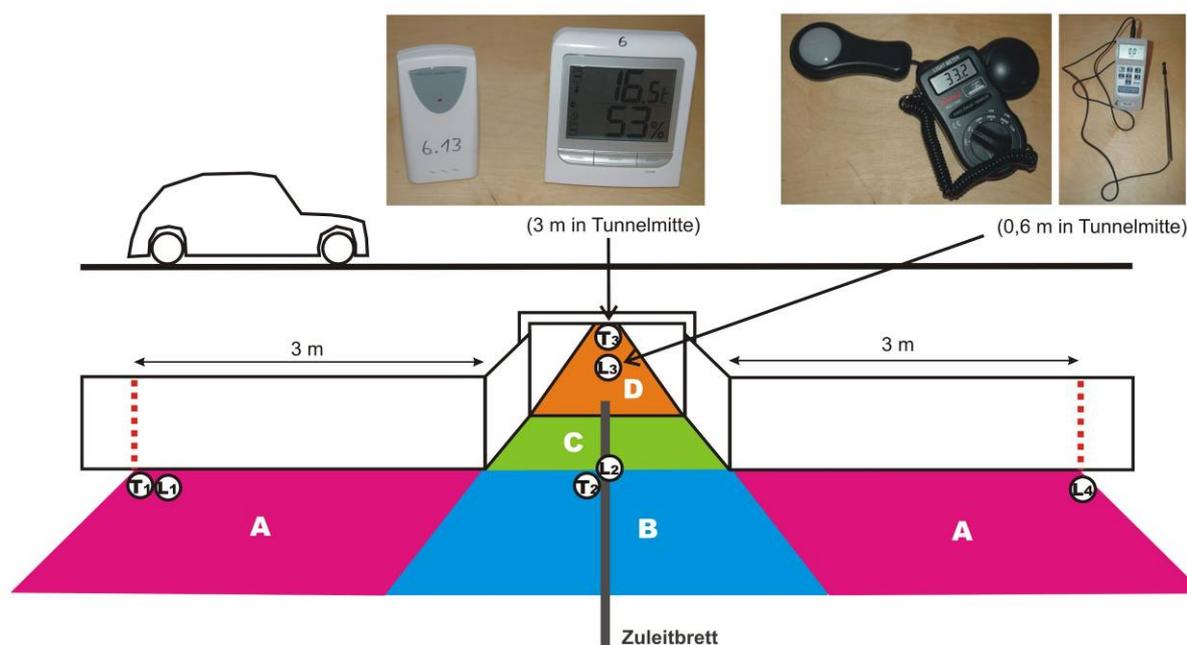


Abbildung 14: Messungen zum Mikroklima im Eingangsbereich der beobachteten Tunnel:

T<sub>1-3</sub> = Messpunkte der Thermo-Hygrometer

L<sub>1-4</sub> = Messpunkte von Luxmeter und Anemometer

A–D = Sektoren der Bodenfläche mit pH-Messungen u. Wasserstandsbestimmungen

### 2.3.2. Temperatur, Luftfeuchte und Luftbewegung

Auch wurden Messungen zum vorherrschenden Mikroklima vorgenommen. Im stündlichen Rhythmus wurden parallel zu den Verhaltensbeobachtungen jeweils auf Bodenniveau 3 m neben der Durchlassöffnung an der Leiteinrichtung sowie unmittelbar vor der Öffnung und 3 m innerhalb des Tunnels Messungen zur dortigen Temperatur und relativen Luftfeuchte vorgenommen (mittels Funk-Thermo-Hygrometer „Home Star“ von CONRAD ELEKTRONIC). Auch wurde dort im gleichen Turnus die aktuelle Luftströmung bestimmt (mittels Hitzedraht-Anemometer PCE-424 von PCE DEUTSCHLAND). Letzteres war allerdings aus technischen Gründen nicht ebenfalls in 3 m Tunneltiefe, sondern nur bei etwa 0,60 m hinter dem Tunnelingang möglich (s. Abb. 14 und Protokollbogen im Anhang).

Unabhängig von Beobachtungen querender Tiere wurden außerdem in zahlreichen Durchlässen Langzeitmessungen zur Temperatur und relativen Luftfeuchtigkeit durchgeführt. Gemäß der Abb. 15 kamen hierfür pro Tunnel regelmäßig bis zu neun Thermo-Hygrometer mit Dataloggerfunktion (HAXO-8 von MICRODAQ) zum Einsatz. Diese zeichneten über einen Zeitraum von bis zu 138 Tagen die benannten Klimawerte im 30-Minuten-Takt kontinuierlich auf. In 2009 wurde das in Abb. 15 wiedergegebene Installationsschema an einzelnen Durchlässen noch um bis zu vier weiteren Dataloggern ergänzt, die im vermuteten Streckenverlauf auf die Schutzanlage zuwandernder Amphibien verteilt (z. B. Gräben, Böschungskanten, Waldränder u. ä.; vgl. Protokollbogen im Anhang), die dortigen Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsverhältnisse für Vergleiche mit der Situation innerhalb des Durchlasses aufzeichneten.

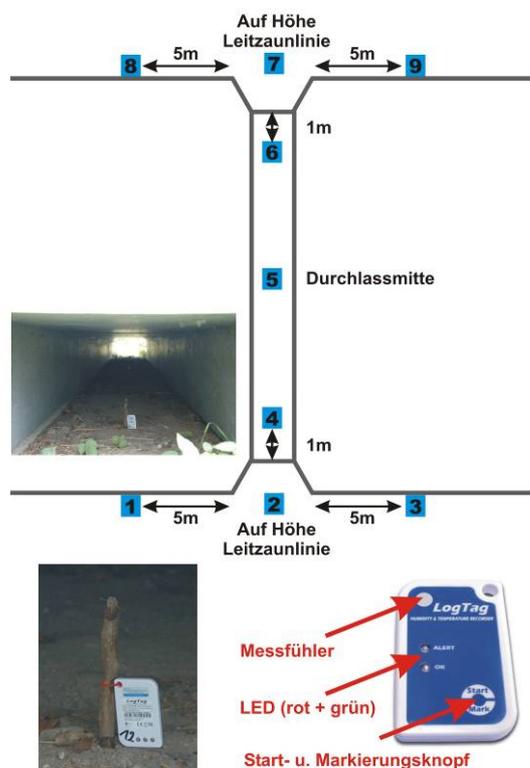


Abbildung 15: Langzeitmessungen zur Temperatur und relativen Luftfeuchte in einer Teilauswahl der beobachteten Tunnel mittels Datalogger im Scheckkartenformat

Außerdem wurden über jeweils bis zu drei Tage kontinuierlich Luftdurchströmungen im 20-Sekunden-Takt in ausgewählten Durchlässen verschiedener Amphibienschutzanlagen gemessen (Hitzedraht-Anemometer PCE-009 mit Dataloggerfunktion von PCE DEUTSCHLAND, s. Abb. 17). In der Regel wurden hierzu je Anlage drei baugleiche oder bauähnliche Tunnel ausgewählt, um zufällige Varianzen und bauartbedingte Unterschiede in den Messergebnissen möglichst sicher voneinander trennen zu können.

In den beiden letzten Jahren des Forschungsprojektes wurden darüber hinaus an mehreren Durchlasseingängen drei dieser Anemometer zeitgleich an verschiedenen Positionen im Eingangsbereich platziert (s. Schema in Abb. 16). Dies diente zur Überprüfung der Frage, ob sich der spürbare Luftzug im Straßengraben vor einer Amphibienschutzanlage deutlich von dem unterscheidet, der nach Eintritt in den Durchlass zu empfinden ist.

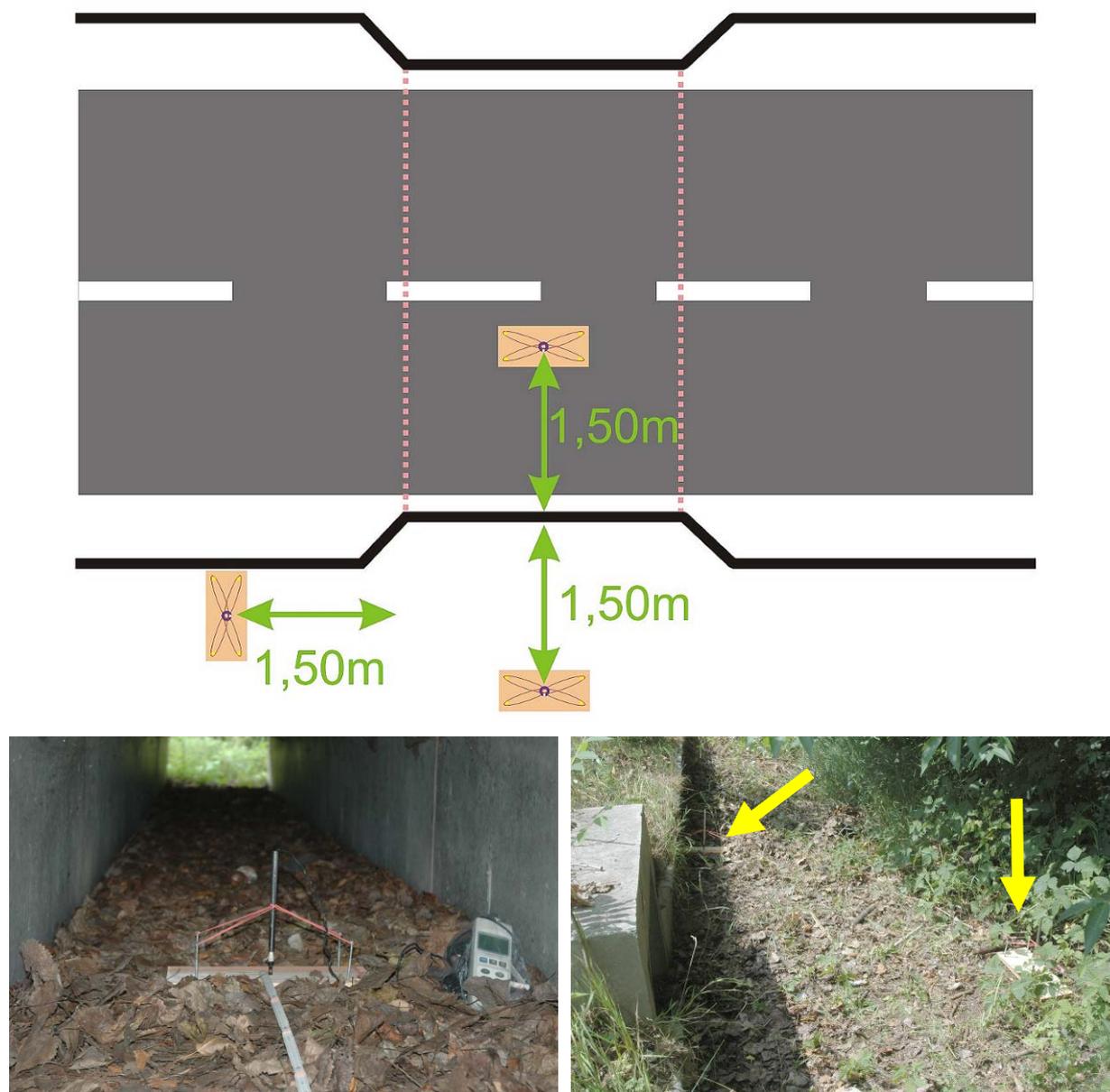
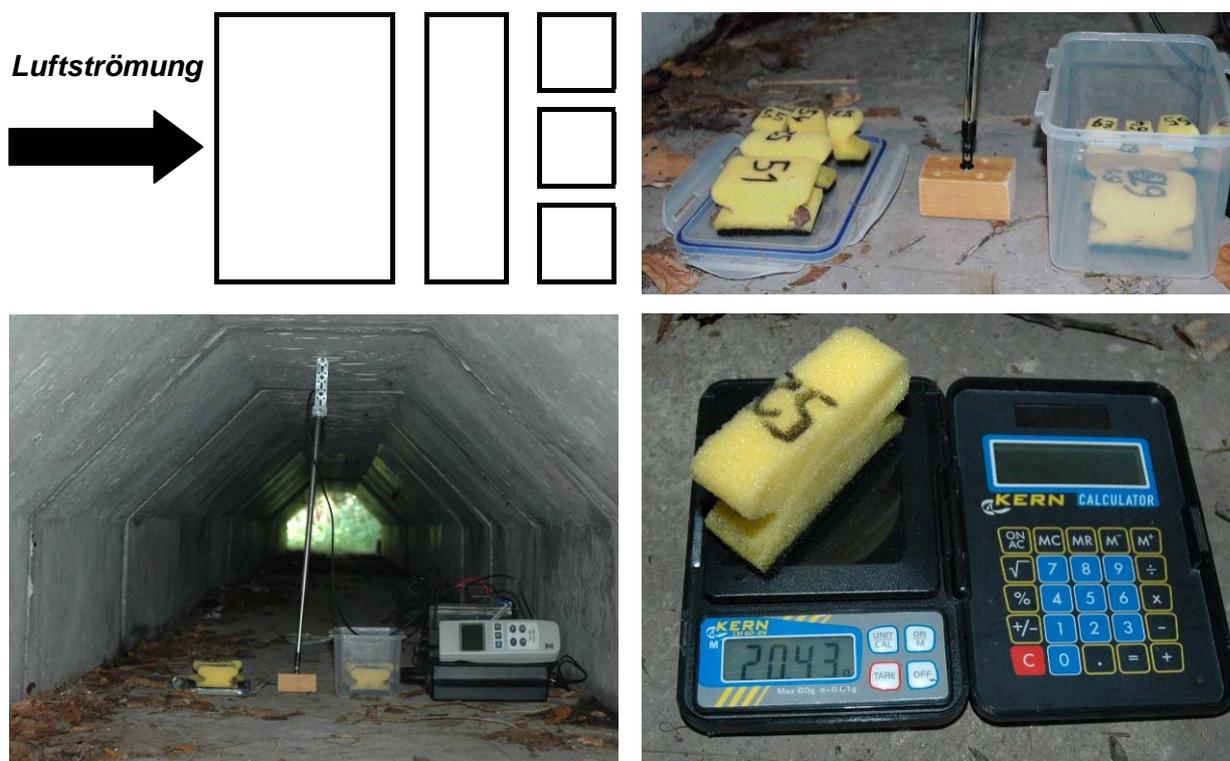


Abbildung 16: Messung der Luftzugverhältnisse an verschiedenen Positionen vor und innerhalb von Amphibientunneln

### 2.3.3. Austrocknungsexperimente

Parallel zur Messung des Tagesgangs der Luftdurchströmung wurde der Verdunstungseffekt des Luftzugs in Austrocknungsexperimenten ermittelt. Dazu wurden in der Mitte dieser Durchlässe verschieden große Haushaltsschwammstücke (0,6 bis 5,3 g Eigengewicht) platziert, die zuvor in Wasser getränkt wurden. Je ein nummeriertes Set von fünf Schwammstückchen wurde in einer oben offenen Haushaltsplastikdose platziert (s. Schema in Abb. 17) sowie ein zweites Set daneben auf einer wasserundurchlässigen Unterlage positioniert. Beim ersten Set sollten Wasserverluste nur durch Verdunstung entstehen, während beim zweiten Set zusätzlich die austrocknende Wirkung des Luftzugs hinzukam. Nach zwei bis drei Tagen Exposition wurde der jeweilige Wasserverlust durch Wägung (CM60-2N von KERN, Genauigkeit 0,01 g) bestimmt (s. Abb. 16 und Protokollbogen im Anhang).



**Abbildung 17: Austrocknungsversuche in Tunneln von Amphibienschutzanlagen mittels Wägung wassergefüllter Haushaltsschwämmchen bei Ausbringung und nach ca. 72 Stunden Expositionsdauer**

(li-ob: Positionsschema der Schwammstücke; re-ob: jeweils ein 5er-Set in oben offener Haushaltsbox sowie auf Deckel luftumströmt; li-un: Aufbau zusammen mit Anemometer in Tunnelmitte; re-un: Wägung der Schwammstücke auf Präzisionswaage)

## 2.4 Verhaltensbeobachtungen an Amphibien vor und in den Durchlässen

Das Aufkommen und Verhalten von Amphibien im Eingangsbereich der ausgewählten Durchlässe wurde während der Frühjahrswanderung und zum Zeitpunkt der Jungtierwanderung im Sommer im Wechsel mehrerer Nächte an den verschiedenen Amphibienschutzanlagen(teilen) beobachtet. Dazu wurden mehrere Abschnitte an den Leiteinrichtungen vor den Tunnelleingängen (etwa 7 m<sup>2</sup>) sowie die von außen einsehbaren Bereiche innerhalb der Tun-

nel je nach örtlicher Gegebenheit in insgesamt bis zu 18 Sektoren eingeteilt (vgl. Abb. 8 u. 18). Das Aufkommen von Amphibien in jedem einzelnen dieser Sektoren wurde von einem davor (möglichst ruhig) sitzenden Beobachter registriert und zusammen mit dem dort gezeigten Verhalten im 10-Minuten-Takt protokolliert. Zur Vereinheitlichung der Vielfalt beobachteter Verhaltensweisen wurde den Protokollanten ein 12-Punkte-Katalog vorgegeben (vgl. Protokollbogen im Anhang).

Zur Unterstützung der Verhaltensbeobachtungen wurde zudem je untersuchter Amphibienschutzanlage eine einfache IR-Videokamera eingesetzt mit Funkübertragung auf einen Mini-monitor ohne Aufzeichnungsfunktion (COMAG). Daneben konnten zusätzlich aber auch Videoaufzeichnungen mit verschiedenen IR-Kameras (verschiedene Modelle von CONRAD ELECTRONICS) gemacht werden (s. Abb. 18), die zu einem späteren Zeitpunkt ausgewertet wurden.



**Abbildung 18: Kennzeichnung von Beobachtungssektoren im Eingangsbereich von Tunnelöffnungen und Einsatz von Videokameras**

Zum Wiederfang durch die beobachteten Röhren hindurch gewanderter, markierter Tiere wurden hinter den Tunnelausgängen kurzfristig mobile Amphibienleitzäune installiert, die nach Beobachtungsende (spätestens am folgenden Tag) wieder entfernt, bzw. unfänglich gemacht wurden. An verschiedenen Amphibienschutzanlagen (B 240 und Bruchstraße bei Duingen-Weenzen, K 28 an den Holmer Teichen bei Buchholz, B 9 und K 7 bei Worms sowie in teilweise auch an der B 3 bei Karlsruhe) fanden vom Forschungsprojekt unabhängige Zählungen der Tunnel-passierenden Amphibien, bzw. Wirksamkeits- und Effizienzuntersuchungen statt (HENSCHEL 2007 u. 2009, BIOLA 2007, REICH, CHRISTIANSEN und NIEDERSTRABER schriftl.). In diesem Zusammenhang wurden an der B 240, Bruchstraße und K 28 Teile der Anwanderseite der untersuchten Durchlässe jeweils mit einem mobilen Fangzaun in 20 bis 50 m Entfernung zur Straßentrasse komplett eingefasst (s. Abb. 31). Alle diese Tunnelausgänge wurden auf der gegenüberliegenden Straßenseite mit Fangeimern versehen, die regelmäßig im Frühjahr kontrolliert wurden. Im Sommer wurden die Fangeimer auf

die jeweils andere Straßenseite gewechselt, um die in umgekehrter Richtung wandernden Jungtiere erfassen zu können. Die erstellten Verhaltensprotokolle von allen untersuchten Anlagen wurden schließlich in eine speziell hierzu entwickelte Access-Datenbank (s. Organigramm im Anhang) eingegeben und für eine zusammenfassende Auswertung aufbereitet.



**Abbildung 19: Markierungsbeispiele von Erdkröten, Grasfröschen, Teich- und Kammmolchen**

Zur Verfolgung einzelner Individuen über einen längeren Zeitraum wurden zudem in 2007 Markierungen an Einzeltieren außerhalb des Beobachtungsraums vor den Tunneleingängen, etwa im 10 – 15 m-Umkreis bei Handaufsammlungen vorgenommen (vgl. Abb. 19):

- bei Anuren: Aufkleben farbiger Textilbandstücke, Knieringetiketten oder Farbtupfer
- bei Molchen: Umschlingung mit zerreibaren, farbigen Zellstoffbndern oder Farbtupfer

Diese Markierungen wurden den erreichbaren Tieren nach Durchlauf durch die Passagetunnel wieder entfernt.

## 2.5 Arenaversuche und experimentelle Veränderungen an Durchlässen

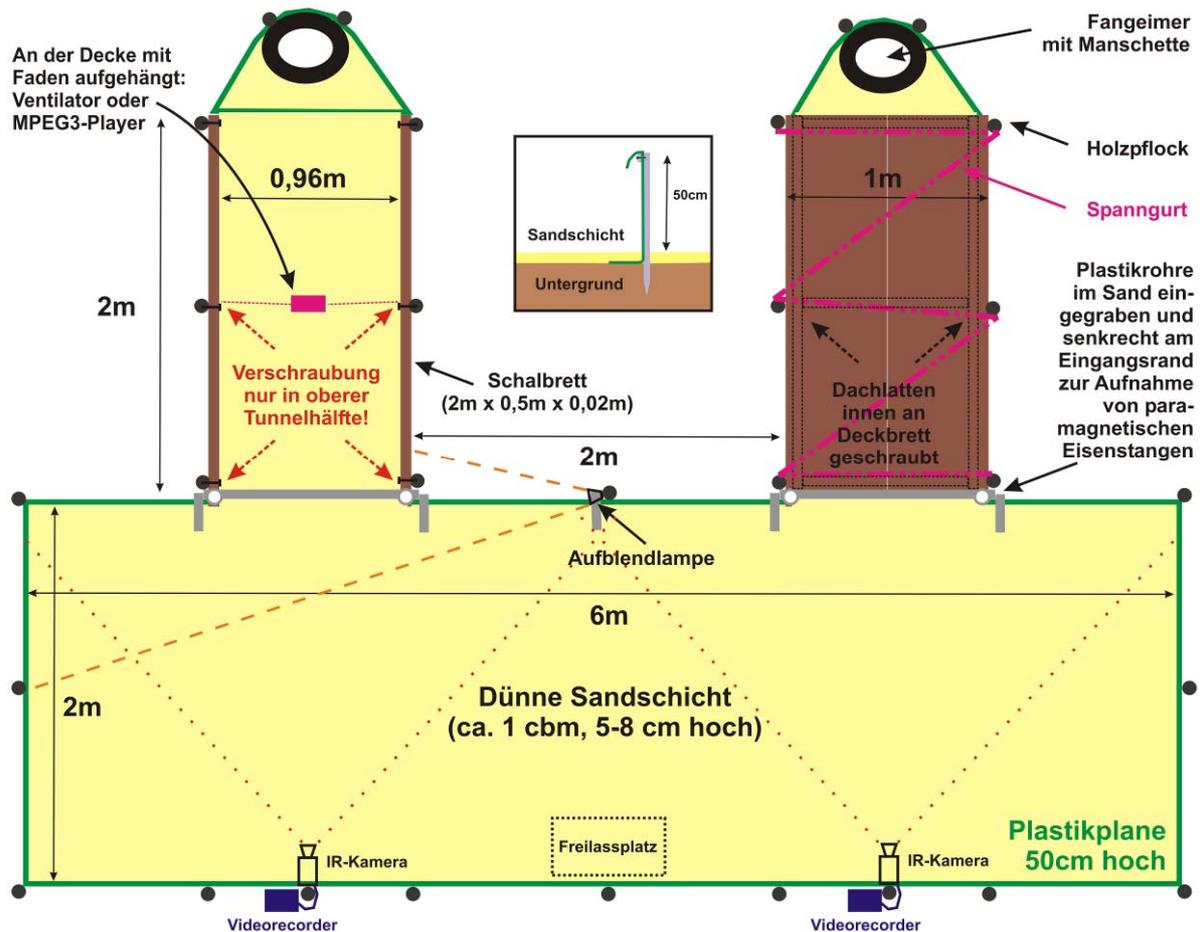


Abbildung 20: Aufbau der Versuchsarenen

Das Verhalten der Amphibien am Tunneleingang wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Zur Überprüfung, welche physikalischen und mikroklimatischen Rahmenbedingungen den Eintritt in die Durchlässe und ihre Durchwanderung gegebenenfalls begrenzen, wurden 2009 an drei der Anlagenstandorte (Karlsruhe, Worms und Duingen) auf einem freien Feld neben der Straße Versuchsarenen (2 m x 6 m) aufgebaut. Diese wurden entsprechend der Wanderrichtung der Tiere an der Schutzanlage ausgerichtet, indem auf der Abwanderseite zwei Tunneleingänge aus Schalbrettern errichtet wurden. Deren Querschnitt entsprach nahezu dem der Durchlässe an den Straßen (96 cm breit und 50 cm hoch). Ihre Länge war aber auf zwei Meter begrenzt und mündete am Ende in einen Fangeimer (s. Abb. 20). In den Tunneln sowie im zentralen Bereich der Arena wurden zudem Thermo-Hygrographen aufgestellt. Zur Vermeidung ferromagnetischer Effekte wurde auf eine Verschraubung im bodennahen Bereich der Tunneleingänge verzichtet.



**Abbildung 21: Arenaversuchsaufbauten** (ferromagnetische Eisenstangen in Plastikrohren um den Tunneleingang herum angeordnet, Tischventilator verursacht Luftzug, Lichtschlauch beleuchtet Tunnelinnere, Lampe mit auf- und abschwelldem Licht am Tunneleingang, MPEG3-Player zur Abspielung von Verkehrsgeräuschen im Tunnel und Messung des erzeugten Schallpegels)

Die Versuchstiere wurden aus Fangeimern am Durchlassende der jeweiligen Amphibien-schutzanlagen entnommen, die dort unabhängig von Forschungsprojekt im Rahmen von

Zählungen zur Durchwanderrate eingegraben waren. Bei Karlsruhe wurden auch zur sommerlichen Abwanderungsperiode der Jungtiere Versuche in der Arena durchgeführt. Diese musste zu diesem Zweck dahingehend umgebaut werden, dass die simulierten Durchlässe entgegengesetzt zur Frühjahrssituation auf der gegenüberliegenden Arenaseite platziert wurden. Der Boden der Versuchsarenen war einheitlich mit Sand gefüllt, auch das Tunnelinnere. Die in der Arena freigesetzten Tiere (bis zu 30 Individuen) wurden bei ihrer Erkundung des abgezaunten Areals im Verlauf von 1 – 2 Stunden beobachtet, wobei je eine IR-Videokamera einen der Tunneleingänge permanent im Bild hatte.

Je einer der Tunnel wurde jeweils im Vorfeld des Versuchs verändert, so dass die Tiere einem Auswahlexperiment ausgesetzt waren zum Test einzelner Komponenten, die möglicherweise Einfluss auf das Eintrittsverhalten der Tiere haben. Die Platzierung der Manipulationen wurde im Laufe der Versuchsreihen regelmäßig zwischen beiden Tunnel getauscht, um eventuell auftretende, lageabhängige Effekte bei der Ergebnisbewertung ausschließen zu können. Auch wurden alle Versuchsansätze an jedem Arenastandort mehrfach wiederholt. Simuliert wurden (vgl. hierzu auch Abb. 20 u. 21):

- Magnetfelder mittels Eisenstangen, die in Plastikröhren in der Sandschicht und an den Seiten des Tunneleingangs eingeschoben wurden
- Beleuchtung mittels eines permanent leuchtenden Lichtschlauchs
- Lichtblitze vorbeifahrender Autos durch das regelmäßige Auf- und Abswellen einer seitlich zur Eingangsöffnung angebrachten Lampe
- feuchte Bodenverhältnisse durch Begießen des Tunnelbodens mit Wasser aus einer Gießkanne
- Luftzug durch permanenten Betrieb eines Tischventilators
- Straßenverkehrslärm durch permanentes Abspielen von Verkehrsgläuschen mit Hilfe eines MPEG3-Players (Tab. 5)

**Tabelle 5: Verkehrslärmsimulation mittels MPEG3-Player<sup>24</sup>**

Lärmmessung	Spitzenpegel	Mittelpegel
Hintergrundgeräusche (entfernte Autostraße, Vogelgezwitscher)	59,9 dB(A)	52,5 dB(A)
Verkehrsgläuschen (MPEG3-Player) + Hintergrundlärm	76,2 dB(A)	68,2 dB(A)

Auch an den Durchlässen in bestehenden Amphibienschutzanlagen wurden zu Versuchszwecken Veränderungen vorgenommen mit dem Ziel, Effekte auf das Mikroklima im Tunnel sowie auf das Verhalten der Tiere zu überprüfen. Hierbei standen in Ergänzung zu den Arenaversuchen sechs Aspekte im Vordergrund (s. Tab. 6):

- Befeuchtung des Bodens vom Tunnel und seinem Vorfeld durch Besprengung mit einer Gießkanne
- Abbremsung des Luftzugs im Tunnelinnern durch Abklebung einer der Tunnelöffnungen mit Belassung eines bodennahen Schlitzes für passierende Tiere

<sup>24</sup> Die Simulation von Verkehrslärm im Arenadurchlass wurde in ihrer Schallstärke gemessen an der Anlage bei Karlsruhe (vgl. Lärmmessungen in Kap. 2.2.6). Eine Pegelzunahme um 6 – 10 dB entspricht in etwa einer Verdoppelung des Schalldrucks (<http://www.sengpielaudio.com/Rechner-pegelaenderung.htm>).

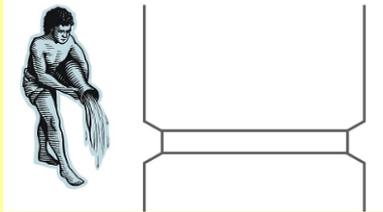
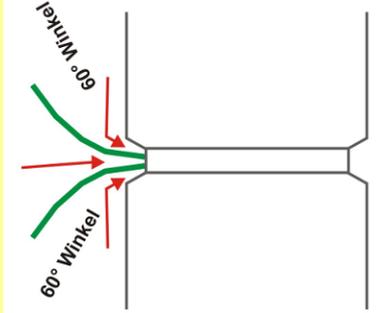
- Aufhellung des Tunnelinnern durch Beleuchtung mit einem Lichtschlauch
- Abschirmung des Tunneleingangs vor Streulicht vorbeifahrender Autos mittels Pappkarton
- Installation von Leitblenden, die bis einen Meter tief in den Durchlass hineinreichen sowie flügelartig im Bereich des Eingangsvorfeldes angeordnet sind
- Einbringen von Versteckmöglichkeiten für Tiere innerhalb des Durchlasses in Form von umgedrehten Blumentöpfen oder Regenrinnenelementen

An der B 3 bei Karlsruhe wurde zudem in einem der beidseitig offenen Tunnel ein Einfallrohr probeweise auf der Frühjahrsanwanderseite sowie zur Zeit der Jungtierwanderung auf der gegenüberliegenden Straßenseite installiert. Tiere, die sich innerhalb des Tunnels befanden, konnten diesen nach wie vor auf beiden Tunnelseiten verlassen (s. Abb. 22).



**Abbildung 22: Montage eines Fallrohrs an je einem Tunneleingang eines Stelztunnels an der B 3 bei Karlsruhe im Frühjahr (oben) sowie im Sommer (unten) 2009**

**Tabelle 6: Experimentelle Aufbauten an Durchlässen bestehender Amphibienschutzanlagen**

Schemazeichnung	Foto
<p><b>Wassereintrag</b></p> 	
<p><b>Luftzugbremse</b></p> 	
<p><b>Tunnelbeleuchtung</b></p> 	
<p><b>Lichtabschirmung des Tunneleingangs</b></p> 	
<p><b>Verlängerte Zuleitungen zum Tunneleingang</b></p> 	
<p><b>Versteckangebote im Tunnelinnern</b></p> 	

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick der durchgeführten Experimente in den Versuchsarenen (Tests zum Einfluss einzelner physikalischer und mikroklimatischer Komponenten) sowie an Testaufbauten an existierenden Amphibienschutzanlagen (s. Tab. 7).

**Tabelle 7: Untersuchte Komponenten mit potenziellem Einfluss auf das Eintritts- und Durchwanderverhalten von Amphibien in Durchlässen von Amphibienschutzanlagen**

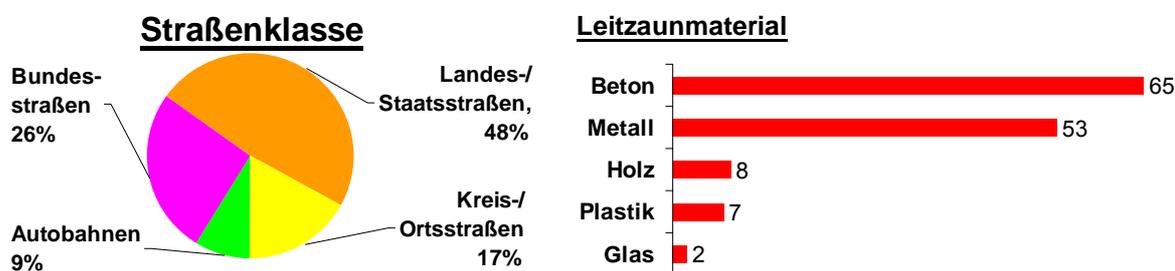
Potenzielle Einflusskomponente	Versuchsarena	Untersuchung an ASA <i>in situ</i>
Ferromagnetismus	X	
Lichtblitze vorbeifahrender Autos	X	X
Beleuchtung des Durchlasses	X	X
Luftzug im Durchlass	X	X
Lärm im Durchlass	X	
Feuchtigkeit vor und im Durchlass	X	X
Versteckplätze im Durchlass		X
Zuleitung zur Durchlassöffnung		X

### 3. Untersuchte Amphibienschutzanlagen

#### 3.1 Amphibienschutzanlagen in Deutschland

Insgesamt gingen aufgrund der durchgeführten Umfrage 172 Meldungen von Amphibienschutzanlagen an deutschen Straßen ein, bzw. wurden der Fachliteratur (vornehmlich aus GLANDT et al. 2003) entnommen. Allerdings gingen nicht aus allen Bundesländern Rücküberlieferungen ein.<sup>25</sup> Die umfanglichsten Informationen waren aus Sachsen, Nordrhein-Westfalen und dem Saarland zu erhalten. Da die durchgeführte Umfrage in erster Linie in Hinblick auf eine mögliche Auswahl von Amphibienschutzanlagen für das Untersuchungsprogramm dieses Forschungsprojektes ausgelegt war, sind die nachfolgenden Angaben aus den Rückmeldungen nicht unbedingt repräsentativ für das gesamte Bundesgebiet, bieten aber eine Tendenz.

Knapp die Hälfte aller Schutzanlagen ist demnach in Landes-/Staatsstraßen eingebaut (vgl. Abb. 23). Die gemeldeten Schutzanlagen umfassten Straßenlängen von 30 m bis zu 14,5 km, wobei Längen zwischen 100 und 500 m aber deutlich dominierten. Angaben zu den für die Leiteinrichtungen verwendeten Materialien dokumentierten bei den hier abgefragten, eher großen Anlagen eine annähernd ausgeglichene Häufigkeit von Betonelementen (48 %) und Metallzäunen (39 %, s. Abb. 23). Ansonsten wurden noch Zäune aus Holz, Recyclingplastik und in zwei Fällen sogar Glaselemente genannt<sup>26</sup>. In der Gesamtsumme wurden 864 Durchlässe bei 119 der gemeldeten Schutzanlagen detailliert angegeben. Pro Anlage variierte bei diesen die Anzahl von 1 bis 48. Der Durchschnitt lag bei 7,3 Röhren/Anlage.



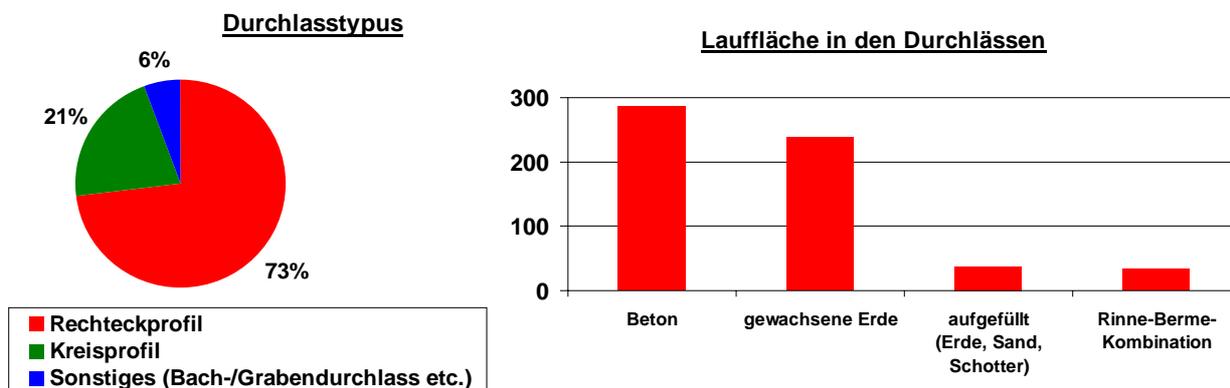
**Abbildung 23: Verteilung der gemeldeten Amphibienschutzanlagen über die Straßenklassen und verwendeten Leiteinrichtungsmaterialien an diesen**

Bei den Durchlasstypen dominierten deutlich Rechteckprofile (73%) vor kreisförmigen Querschnitten (21%). In 6% der Fälle wurde noch die Einbindung von Bach- und Gräbendurchlässen sowie eine Brücke über einen Bach und ein PVC-Doppelrohr benannt (s. Abb. 24). Die Laufflächen der Durchlässe waren meist aus Beton (48%) oder bei Stelztunneln aus gewachsenem Boden (40%). Je 6% waren mit Erde, Sand oder Schotter aufgefüllt, bzw. stellten eine Kombination aus Amphibiendurchlass und Wasserrinne dar (s. Abb. 24). Die Durchlassbreiten variierten zwischen 20 cm und 8,50 m, wobei überwiegend Größenklassen zwischen 20 und 50 cm sowie zwischen 1,00 und 1,40 m vertreten waren. Die Tunnellängen umfassten eine Bandbreite von 3 m bis zu 70 m, wobei kürzere Tunnellängen entsprechend

<sup>25</sup> So wurden z. B. nach Auskunft der Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern in Zusammenarbeit mit dem Bund Naturschutz zwar aufgrund einer parallel laufenden Abfrage schätzungsweise 350 Schutzanlagen an Straßen dokumentiert (KINBERGER 2006 mdl.), deren Datenbestand aber für das hiesige Forschungsprojekt nicht weiter ausgewertet werden konnte.

<sup>26</sup> an zwei Kreisstraßen im Zuständigkeitsbereich des Straßenbauamts Meißen-Dresden

dem vorwiegenden Einbau in kleinere Straßenklassen bis maximal 20 m in der Überzahl waren (78%).



**Abbildung 24: Querschnittsprofile der Durchlässe in den gemeldeten Amphibienschutzanlagen und Typus der Lauffläche in ihnen**

Fast alle in Deutschland verbreiteten Amphibienarten traten nach den gemachten Angaben auch an den Schutzanlagen an Straßen auf (17 Arten<sup>27</sup>). Für einen repräsentativen Überblick zur Häufigkeit der Arten an Straßen wurde aber der beim Bundesfachausschuss Feldherpetologie/Ichthyofaunistik des NABU (Naturschutzbund Deutschland e. V.) vorliegende umfangreichere Datensatz<sup>28</sup> verwendet (s. Abb. 25). Ausgewertet wurden 112 bundesweit verteilte Kontrollstellen, die mindestens in den letzten acht Jahren (2002 bis 2009) kontinuierlich betreut wurden. Bezogen auf die naturräumlichen Großeinheiten Deutschlands (vgl. Abb. 26) verteilten diese sich wie folgt:

- Nordwestliches Tiefland (n = 35 Anlagen)
- Nordöstliches Tiefland (n = 15 Anlagen)
- Westliches Mittelgebirge (n = 15 Anlagen)
- Östliches Mittelgebirge (n = 9 Anlagen)
- Südwestliches Mittelgebirge/Stufenland (n = 35 Anlagen)
- Alpenvorland (n = 3 Anlagen)

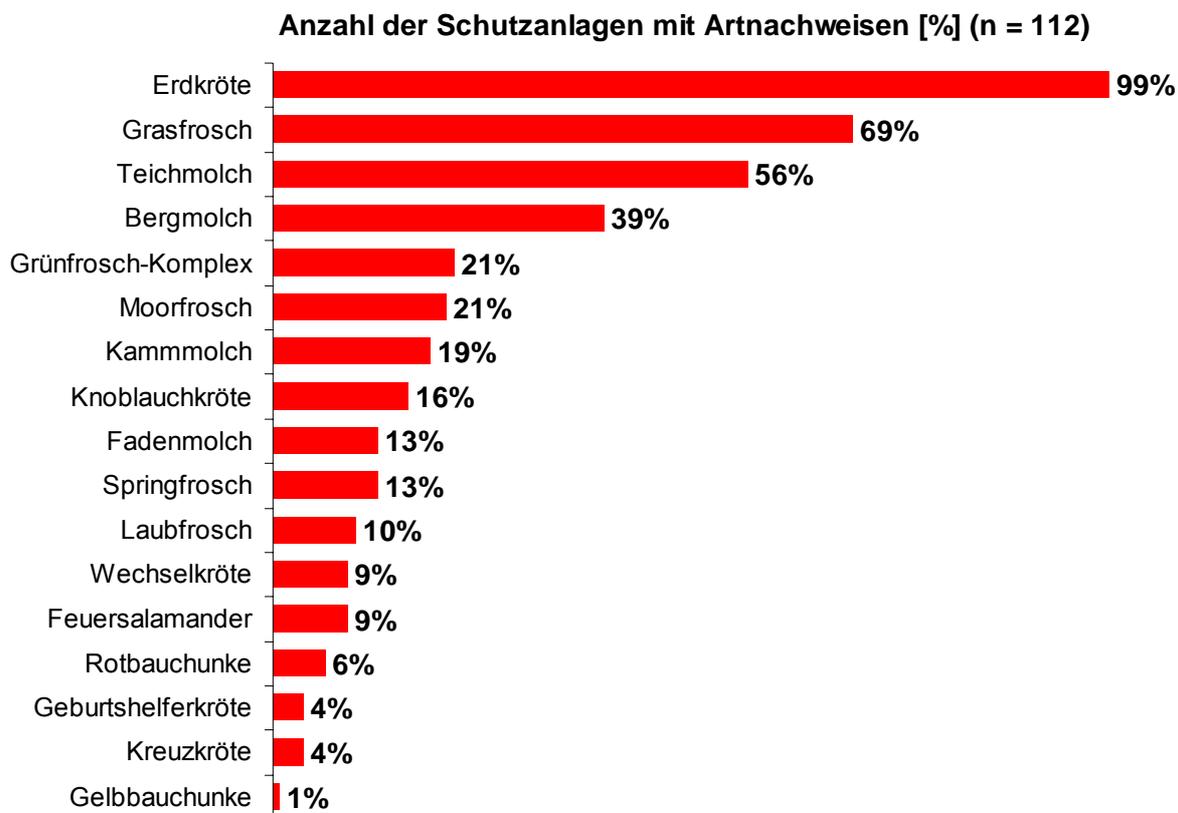
An diesen mobilen Schutzzaunanlagen wurden regelmäßig vier Amphibienarten registriert: Erdkröte, Grasfrosch, Teichmolch und Bergmolch. Je nach naturräumlicher Region waren im norddeutschen Tiefland auch Moorfrosch, Knoblauchkröte, Wasserfrosch und Kammmolch verbreitet, bzw. in den südlich angrenzenden Mittelgebirgen dagegen eher Springfrosch und Fadenmolch.

Auch beim Vergleich der Individuenzahl zeigte sich eine klare Dominanz der Erdkröte mit 79,5 % der mehr als 1,3 Mio. Tiere, die in acht Jahren an den 112 ausgewerteten Kontrollstellen gesammelt wurden. Weitere knapp 18 % der Tiere verteilten sich auf nur vier weitere Arten: Grasfrosch (6,3 %), Moorfrosch (5,4 %), Teichmolch (4,1 %) und Bergmolch (1,9 %). Die restlichen zwölf Arten machten zusammen nur noch 2,8 % der Sammelergebnisse aus.

<sup>27</sup> „Grünfrösche“ (*Rana* synkl. *esculenta*, *Rana ridibunda*, *Rana lessonae*) als eine Art gezählt.

<sup>28</sup> Diese „Schutzzaundankebank“ (unter <http://www.amphibienschutz.de>) erfasst mittlerweile über 550 mobile Anlagen an verschiedenen Straßenklassen über das gesamte Bundesgebiet verteilt und wird von den ehrenamtlichen Betreuern jährlich um ihre Zählergebnisse ergänzt. Die vorgenommene Darstellung von einem Teil dieser Daten im hiesigen Zusammenhang geschah mit freundlicher Genehmigung des Betreibers, Herrn Sascha SCHLEICH vom NABU Rheinland-Pfalz, Landesfachausschuss Feldherpetologie.

## Amphibienarten an mobilen Schutzzaunstrecken in Deutschland:



**Abbildung 25: Repräsentativer Überblick über Amphibienartnachweisen in den Jahren 2002 bis 2009 an 112 mobilen Schutzanlagen an Straßen aus allen Naturraum-Großeinheiten Deutschlands außer Alpen (Auswertung von Daten des NABU)**

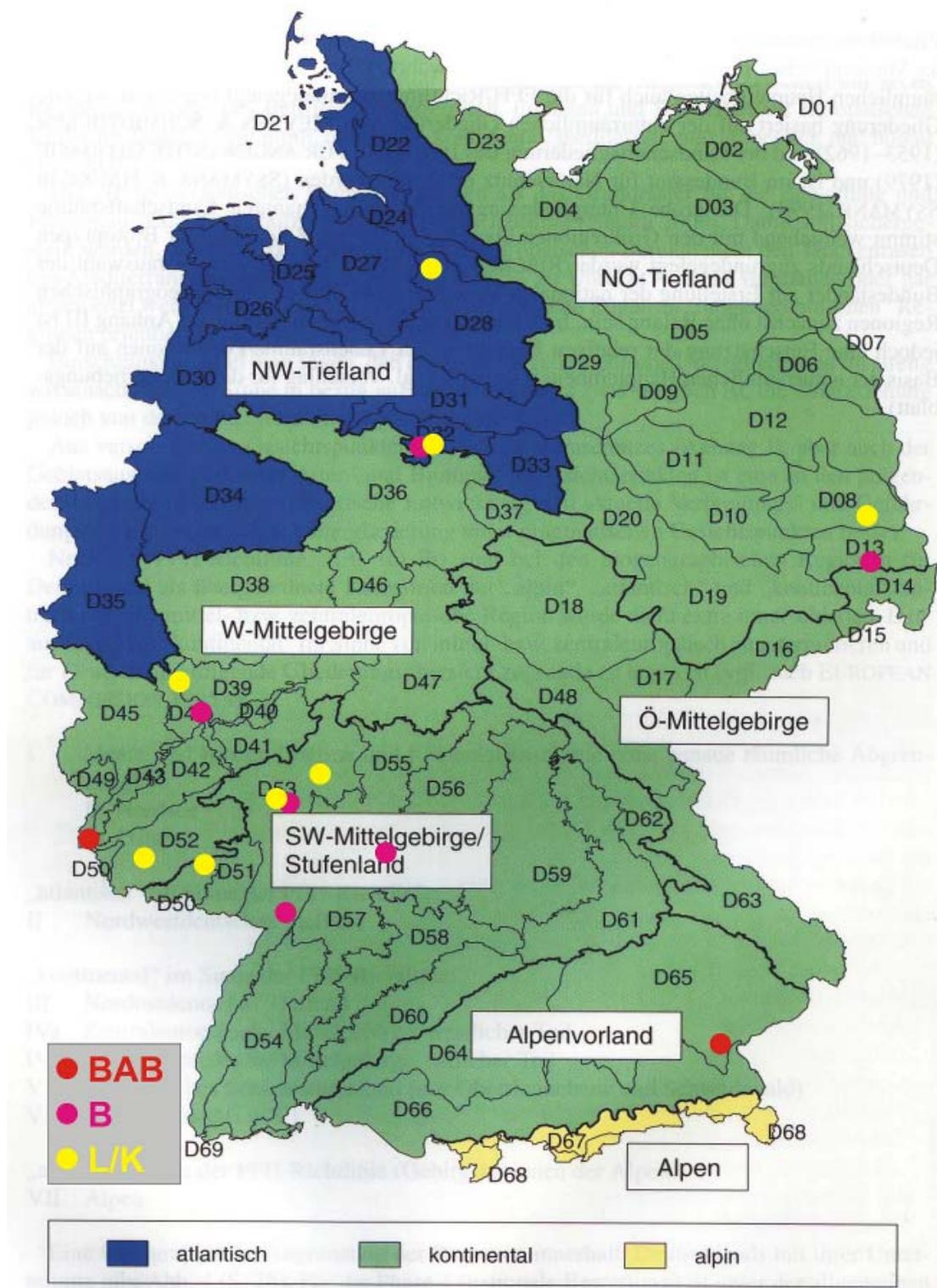
### 3.2 Auswahl und Übersicht der untersuchten Anlagen

Im Forschungsprojekt wurden insgesamt 79 Durchlässe von 16 Anlagenteilen an 14 Standorten untersucht (vgl. Tab. 8 u. 9 sowie Abb. 26). Sie verteilten sich auf vier Straßenklassen:

- *Gemeinde- / Kreisstraßen*: 18 Tunnel (23 %) mit einer Länge von 7 – 16 m
- *Landesstraßen*: 19 Tunnel (24%) mit einer Länge von 10 – 15 m
- *Bundesstraßen*: 34 Tunnel (43 %) mit einer Länge von 10 – 27 m
- *Autobahnen*: 8 Tunnel (10%) mit einer Länge von 30 und 42 m

Die untersuchten Schutzanlagen befanden sich in Höhenlagen von 50 m bis 400 m über dem Meeresspiegel. Sie lagen in den sieben Bundesländern Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Saarland und Sachsen und deckten fünf der sieben in Deutschland anzutreffenden biogeografischen Regionen ab (s. Abb. 26):

- *Nordwestliches Tiefland*: 2 Anlagen (50 und 215 m ü. NN)
- *Nordöstliches Tiefland*: 2 Anlagen (50 und 135 m ü. NN)
- *Westliches Mittelgebirge*: 4 Anlagen (245 – 335 m ü. NN)
- *Südwestliches Mittelgebirge/Stufenland*: 5 Anlagen (90 – 400 m ü. NN)
- *Alpenvorland*: 1 Anlage (370 m ü. NN)



**Abbildung 26: Verteilung der untersuchten Amphibienschutzanlagen auf die Naturraum-Großeinheiten in Deutschland (Karte aus SSYMANK et al. 1998)**

Die meisten der betrachteten Durchlässe entsprachen den Empfehlungen im MAMs – Ausgabe 2000 – und hatten eine lichte Weite von 1,00 m und eine lichte Höhe von etwa 0,60 m. Ausnahmen bildeten die schmalen Betonröhren in Teilen der Anlage am Knappensee (lichte Weite nur 0,50 m) sowie Bachdurchlässe mit meist größeren Dimensionen und zum Teil speziellem Bodenrelief. Die Stelztunnel unter der A 94 erreichten Höhen von bis zu 2,50 m und die Betonrohre unter der A 8 wiesen einen Durchmesser von 2,00 m auf.

Tabelle 8: Untersuchte Amphibienschutzanlagen an Kreis- und Landesstraßen

Nr.	Straße - Name (Naturraum)	Stadt/Landkreis (Bundesland)	Höhe ü. NN	Anlagen- länge	Anzahl Durchlässe	Anzahl untersuchter Tunnel	Untersuchte Tunneltypen	Durchlass- längen	Untersuchungsjahr
<b>Orts- / Kreisstraßen:</b>									
1	K 7 – Worms 1 (SW-Mittelgebirge/Stufenland)	Worms (Rheinland-Pfalz)	90 m	340 m	8	6	Steiltunnel auf Streifenfundament (senkrecht)	7 m	Frühjahr (2007 – 09) Sommer (2007 – 08) Herbst (2006)
2	Parkstraße – Darmstadt (SW-Mittelgebirge/Stufenland)	Darmstadt (Hessen)	150 m	700 m	3	3	Steiltunnel auf Betonplatten (mit Regenwasserrückhaltung und seitlichen Wasserrinnen)	7 – 16 m	Frühjahr (2007) Sommer (2007)
3	K 28 – Holmer Teiche (NW-Tiefland)	Buchholz / Landkreis Harburg (Niedersachsen)	50 m	600 m	10	3 + Bach	Steiltunnel mit Einwänderrampen (Stamer)	11 m	Frühjahr (2008) Sommer (2008)
4	Bruchstraße – Duingen-Weenzen 1 (NW-Tiefland)	Landkreis Hildesheim (Niedersachsen)	215 m	350 m	7	5	Steiltunnel auf Streifenfundament (senkrecht)	14 m	Frühjahr (2007 + 09) Sommer (2007)
<b>Landesstraßen:</b>									
5	L 51 – Byhleguhre (NO-Tiefland)	Landkreis Dahme- Spreewald (Sachsen)	50 m	300 m	7	4	Rechteckbetontunnel mit Boden-Sand-Eintrag	10 m	Frühjahr (2008) Sommer (2008)
6	L 130 – Urexweiler (W-Mittelgebirge)	Marpingen (Saarland)	315 m	550 m	11	4	Steiltunnel auf Streifenfundament (Innenkante bündig) und Einwegedurchlass	10 – 12 m	Frühjahr (2009)
7	L 356 – Ramstein-Mackenheim (SW-Mittelgebirge/Stufenland)	Kaiserslautern (Rheinland-Pfalz)	240 m	2400 m	6	6	Steiltunnel und Stahlrohre mit Betonlaufläche	14 m	Frühjahr (2008)
8	L 254 – Reidenbruch (W-Mittelgebirge)	Neuwied-Rengsdorf (Rheinland-Pfalz)	335 m	720 m	6	5	Steiltunnel mit Metallzauneinweiser	15 m	Frühjahr (2008 – 09) Sommer (2008)

Tabelle 9: **Untersuchte Amphibienschutzanlagen an Bundesfernstraßen**

Nr.	Straße - Name (Naturraum)	Stadt/Landkreis (Bundesland)	Höhe ü. NN	Anlagenlänge	Anzahl Durchlässe	Anzahl untersuchter Tunnel	Untersuchte Tunneltypen	Durchlasslängen	Untersuchungsjahr
<b>Bundesstraßen:</b>									
9	B 96 - Knappensee (NO-Tiefenland)	Groß-Särchen/Landkreis Kamenz (Sachsen)	135 m	3000 m	17	6	Betonröhre (schmal) und Stelztunnel auf breiten Betonstreifen	10 m	Frühjahr (2007 + 09) Sommer (2007)
10	B 240 – Düingen-Weenzen 2 (NW-Tiefenland)	Landkreis Hildesheim (Niedersachsen)	210 m	2800 m	36	6	Stelztunnel auf Streifenfundament (senkrecht und dammförmig)	14 m	Frühjahr (2007) Sommer (2007)
11	B 3 – Karlsruhe-Weingarten (SW-Mittelgebirge/Stufenland)	Stadt und Landkreis Karlsruhe (Baden-Württemberg)	130 m	2000 m	9	4	Stelztunnel auf breitem Streifenfundament und Doppeldröhrensystem	14 m	Frühjahr (2007 – 09) Sommer (2007 – 09)
12	B 27 – Walldüren-Buchen (SW-Mittelgebirge/Stufenland)	Neckar-Odenwald-Kreis (Baden-Württemberg)	400 m	1500 m	6	4	Stelztunnel auf Streifenfundament (dammförmig)	14 m	Frühjahr (2007) Sommer (2007)
13	B 49 – Koblenz, Südtangente (W-Mittelgebirge)	Koblenz (Rheinland-Pfalz)	325 m	3000 m	11	8	Betonröhre (Kastenprofil und Kreisprofil)	17 – 27 m	Frühjahr (2007) Sommer (2007) Herbst (2006)
14	B 9 – Worms 2 (SW-Mittelgebirge/Stufenland)	Worms (Rheinland-Pfalz)	90 m	1010 m	11	6	Stelztunnel auf Streifenfundament (senkrecht)	22 m	Frühjahr (2007 – 08) Sommer (2007 – 08) Herbst (2006)
<b>Autobahnen:</b>									
15	A 94 – Winhöring (Alpenvorland)	Landkreis Altötting (Bayern)	370 m	400 m	10	4	Stelztunnel im Dammfußbereich (100 cm x 100 – 250 cm)	30 m	Frühjahr (2008)
16	A 8 – Perl (W-Mittelgebirge)	Landkreis Merzig-Wadern (Saarland)	245 m	300 m	4	4	Schottergefüllte Betonröhre mit Regenwasserzulauf in der Mitte (200 cm Durchlassbreite)	42 m	Herbst (2006) Frühjahr (2008)



**Abbildung 27: Standorte der im Forschungsprojekt untersuchten Amphibienschutzanlagen** (zu den Nummern s. Tab. 8 u. 9; Kartengrundlage: „Unzerschnittene verkehrsarme Räume in Deutschland“ – Stand 1.11.1998 – aus GAWLAK 2001<sup>29</sup>)

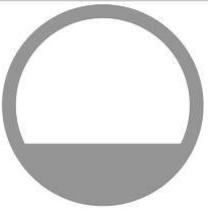
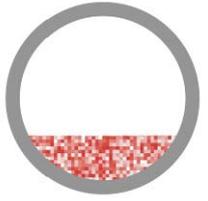
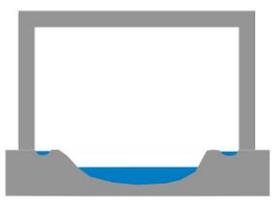
Unterscheiden lassen sich zwei Grundtypen der untersuchten 2-Wege-Durchlässe:

1. im Querprofil rundherum geschlossene Betonröhren (s. Tab. 10)
2. Stelztunnel mit unterschiedlichem Unterbau (s. Tab. 11)

<sup>29</sup> grüne Polygonflächen = UZV-Räume > 100 km<sup>2</sup> auf Basis der Kreisstraßenzählungen  
gelbe Polygonflächen = UZV-Räume > 100 km<sup>2</sup> auf Basis der Bundes- und Landesstraßenzählungen, welche nach Einbeziehung der Kreisstraßenzählungen entfallen  
Linien in magenta = Bundesautobahnen, Linien in grau = mehrspurige Eisenbahnstrecken

Die Betonröhren hatten entweder eine (angenäherte) Kastenform oder waren im Querschnitt kreisrund (mit Beton- oder Schottereinfüllung für eine ebene Lauffläche). Abgesehen von geringfügigen Erdeinspülungen und/oder Laubeinwehungen wiesen diese Tunnel in der Regel einen blanken Betonboden auf. Eine Ausnahme bildeten diesbezüglich allerdings die schmalen Röhren in der B 96, deren Böden mit einer Lehm-Sand-Mischung bedeckt waren. Auch Stelztunnel standen zum Teil auf Bodenplatten (plan oder muldenartig ausgeformt für randständige Wasserrinnen und mit Querholmen versehen zur Regenwasserrückhaltung).

**Tabelle 10: Verschiedene Typen von Durchlässen mit geschlossener Bodendecke in den untersuchten Amphibienschutzanlagen**

Tunneltyp	Schema	Foto	Anlage
Beton- oder Stahlrohr mit ebener Betonlaufsohle			B 49 (Koblenz) L 356 (Ramstein)
Betonrohr mit ebener Laufsohle auf Schottereintrag			A 8 (Perl)
Kastenprofil ohne Eintrag			B 49 (Koblenz)
Kastenprofil mit Sand-Lehm-Eintrag			B 96 (Knappensee)
Stelztunnel auf planer Betonplatte			B 3 (Weingarten)
Stelztunnel auf profilierter Betonplatte			Parkstr. (Darmstadt)

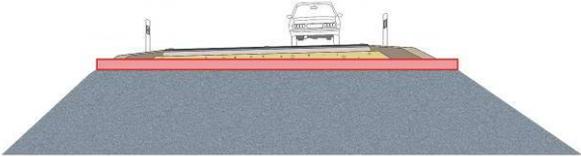
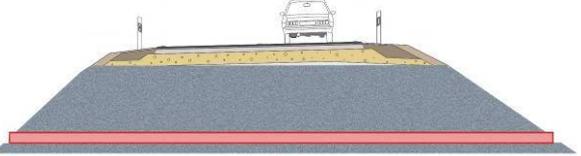
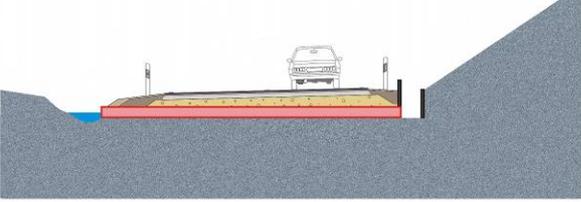
Die meisten der untersuchten Stelztunnel wurden aber nur von einem Streifenfundament gestützt mit Erdeinfüllung oder gewachsenem Boden dazwischen. Je nach Form und Ausgestaltung dieses Stützfundamentes grenzte an die Innenwand der Stelztunnel viel, wenig oder sogar gar keine Erde direkt an (vgl. Tab. 11). Ein Sonderfall stellte schließlich die Einbindung eines Bachdurchlasses in das Schutzanlagensystem dar, mit Anbau einer Berme entlang der Tunnelseitenwand.

**Tabelle 11: Verschiedene Typen von Durchlässen mit offener Bodendecke in den untersuchten Amphibienschutzanlagen**

Tunneltyp	Schema	Foto	Anlage
Stelztunnel auf Blockfundament			B 96 (Knappensee) B 240 (Duingen)
Stelztunnel auf Dammfundament			B 3 (Karlsruhe) B 27 (Walldürn)
Stelztunnel auf nach innen abgeschalttem Fundament			Bruchstr. (Duingen) B 9 + K 7 (Worms)
Bachdurchlass mit seitlicher Berme auf Holzbalken oder gemauert/ betoniert			K 28 (Buchholz) B 27 (Walldürn)

Weitere Unterschiede bestanden zudem in der Lage der untersuchten Kleintierschutzanlagen innerhalb des Straßenkörpers (oberflächennah oder weiter unten im Dammfußbereich). Bei Eben- oder Troglage der Straße konnte es auch notwendig sein, den Eingangsbereich der Durchlässe durch eine lokale Geländeabsenkung oder eine nach unten führende Rampe zugänglich zu machen. Wenn das Grundwasser hoch ansteht oder Niederschlagswasser nicht schnell genug abfließen kann, konnten die Durchlässe oder zumindest einer der Eingangsbereiche bisweilen überflutet sein. Tabelle 12 zeigt zu diesen Aspekten Beispiele von im Forschungsprojekt untersuchten Anlagen.

**Tabelle 12: Tunnelanordnung im Straßenkörper in Abhängigkeit von der Geländegehalt**

Lagetyt / Schema	Foto
<p><b>Durchlass im oberen Straßendammbereich</b></p>  <p>Anlage: B 240 (Duingen), B 27 (Walldürn), A 8 (Perl)</p>	
<p><b>Durchlass im Dammfußbereich</b></p>  <p>Anlage: A 94 (Winhöring)</p>	
<p><b>Durchlass unter Straße in Hang- oder Troglage (mit/ohne Staunässe)</b></p>  <p>Anlage: B 3 (Karlsruhe), Bruchstraße (Duingen)</p>	
	

Auch bei der Gestaltung der Tunneleingänge und ihrer Anbindung an die straßenparallelen Sperreinrichtungen gab es konstruktive Unterschiede (vgl. Tab. 13). Meistens endete der Durchlass senkrecht, aber es gab auch solche, deren Oberkante der Neigung des Straßendamms folgend abgeschrägt war.<sup>30</sup> Auch das gegenteilige Bauprinzip mit einer überhängenden Oberkante war in Einzelfällen der untersuchten Anlagen vertreten<sup>31</sup>.

**Tabelle 13: Verschiedene Typen der Gestaltung von Tunneleingängen der untersuchten Amphibienschutzanlagen**

Tunneltyp	Schema im Längsprofil	Foto	Anlage
Tunneleingang von oben abgeschirmt			L 51 (Byleguhre) K 28 (Buchholz) B 27 (Walldürn)
Senkrechte Tunneleingangsfrent			B 9 (Worms) Bruchstr. (Duingen) B 49 (Koblenz)
Nach oben abgeschrägter Tunneleingang			L 356 (Ramstein) B 240 (Duingen)

Um Tieren, die straßenparallel entlang der Sperreinrichtungen wandern, in die Durchlässe hinein zu lenken, befanden sich vielfach so genannte „Einweiser“ (= Leitblenden) quer zur Straße auf Höhe der Tunnelmitte. Dies konnten einfache Holzbretter, niedrige Betonsteine, Metallzaunwände sein oder auch aufwändiger gestaltete Bauelemente, die zweiflügelig in V- oder Bogenform die anwandernden Tiere auf den Durchlasseneingang zuführten. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden derartige „Einweiser“ auch an einzelnen Tunneleingängen mit Hilfe kurzer Mobilzaunstreifen errichtet (s. Tab. 14). Bei der Schutzanlage bei Buchholz (K 28 an den „Holmer Teichen“) waren bauseitig die Laufflächen entlang der Sperreinrichtungen bogenförmig entlang der Durchlassinnenseiten ins Tunnelinnere verlängert worden (Prinzip nach STAMER<sup>32</sup>). Dies wurde bis zum ersten Tunnelelement in Ortbeton ausgeführt und innen dann mit einem 1 – 2 m-langen Holzbalken bündig angeschlossen. Das Innen befindliche Ende des Balkens war nach unten abgeschrägt und endete wenige Zentimeter über dem Tunnelboden.

<sup>30</sup> Dies erleichtert Mäharbeiten entlang der Straßenböschung.

<sup>31</sup> nach E. Zieger (Zieger Bauliche Einrichtungen für den Umweltschutz Ltd. & Co. KG, Oberhausen)

<sup>32</sup> nach H.-H. Stamer (Umweltingenieurbau Stamer, Möhnsen)

**Tabelle 14: Verschiedene Typen von „Einweisern“ und anderen „Einwanderhilfen“ in den untersuchten Amphibienschutzanlagen**

Tunneltyp	Foto	Anlage
Holzbrett als Leitblende		Bruchstr. (Duingen)
Niedrige Betonschwelle als Leitblende		Parkstr. (Darmstadt) L 130 (Urexweiler)
Metallzaunelement als Leitblende		L 254 (Reidenbruch)
Trichterförmig ausgebildetes Leitblendenelement		B 3 (Karlsruhe)
Mobiler Zaun als Leitblende		B 3 (Karlsruhe)
Einwanderhilfe geformt aus Ort beton und Holzbalken (Prinzip STAMER)		K 28 (Buchholz)

Eine konsequente Weiterführung des Ansatzes, am Tunneleingang entlang wandernde Tiere zu einem Eintritt in den Durchlass zu bewegen, stellten schließlich Fallröhren dar. Diese mündeten in einer meist schmalen Röhre, die nur zur gegenüberliegenden Straßenseite verlassen werden konnten (s. Prinzipskizze in Abb. 28 u. Tab. 15).

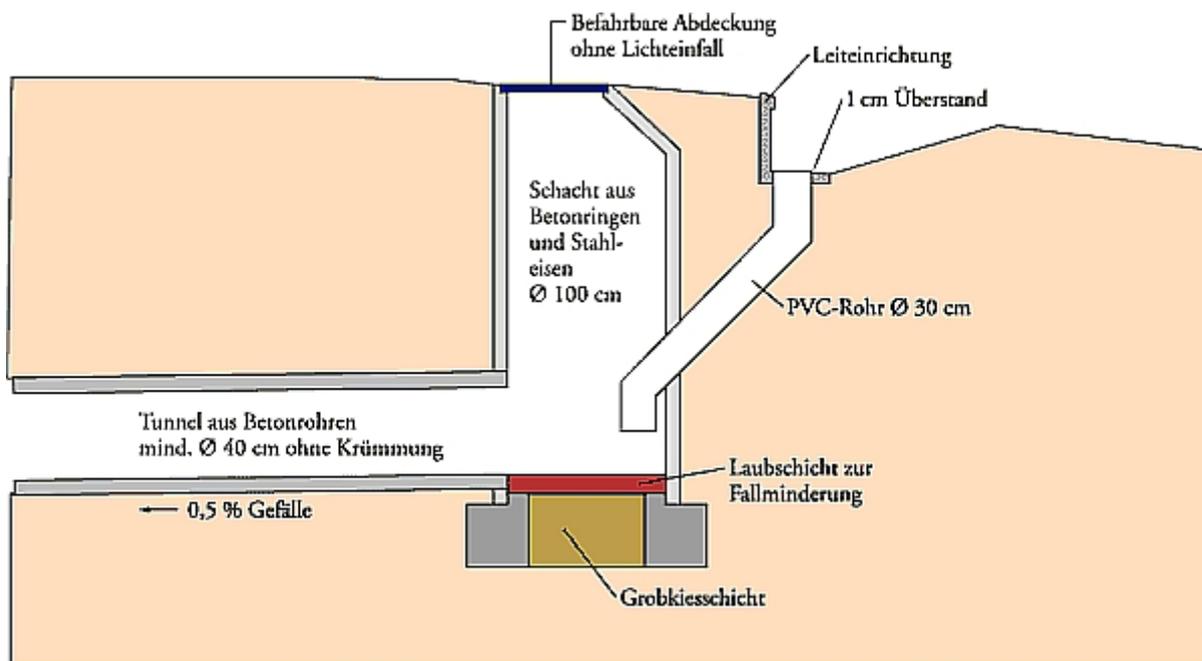
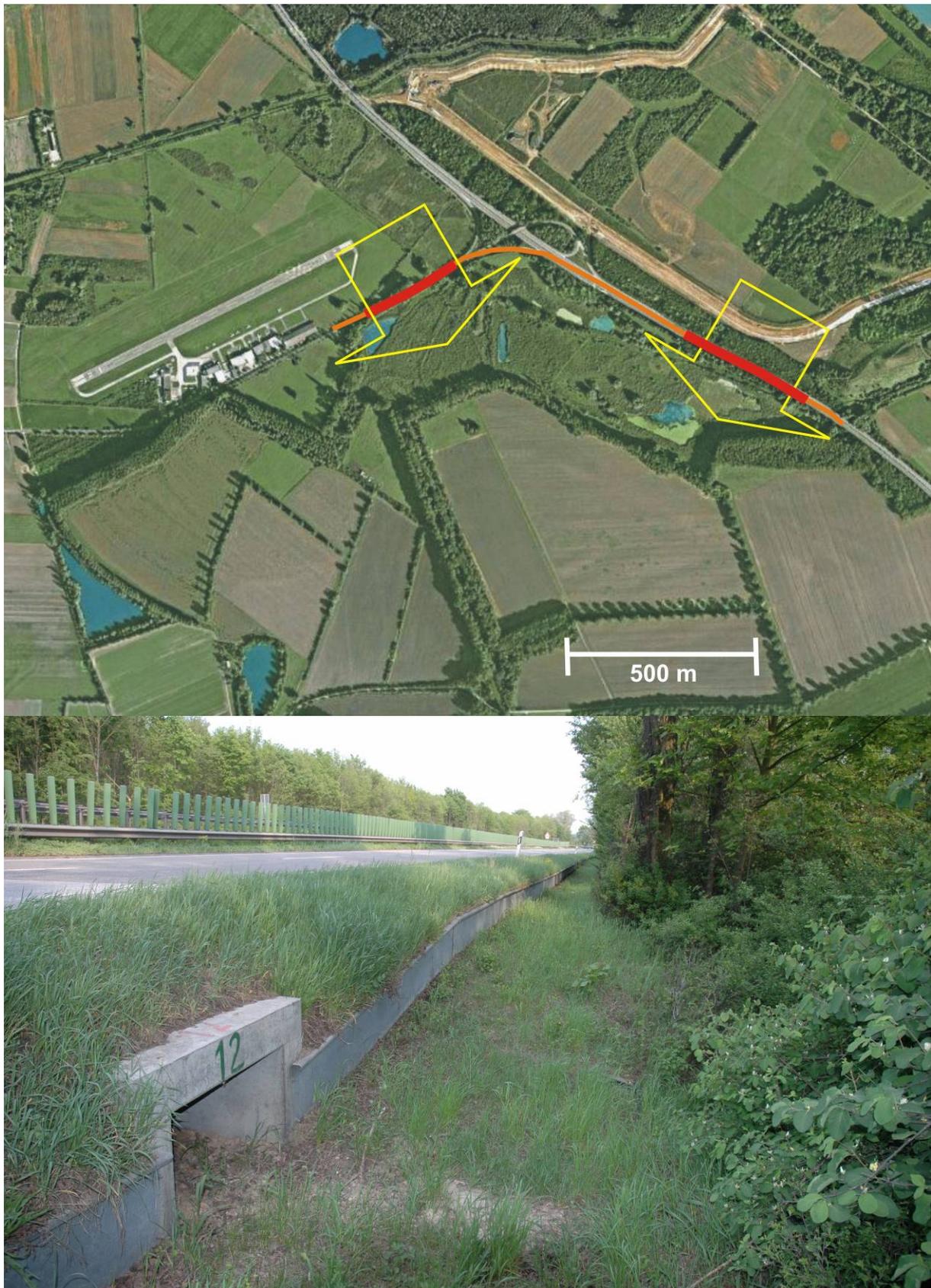


Abbildung 28: Prinzipskizze einer Einwege-Röhre der Amphibienschutzanlage an der B 3 bei Karlsruhe (aus FREY & NIEDERSTRABER 1999)

Tabelle 15: Fallrohreingänge zu Einwege-Röhren in zwei der untersuchten Amphibienschutzanlagen

Tunneltyp	Foto	Anlage
Einfallrohr in 1-Wege-Durchlass (mit Revisionschacht)		L 130 (Urexweiler) B 3 (Karlsruhe)
Versuchsansatz für ein Einfallrohr in einen 2-Wege-Durchlass		B 3 (Karlsruhe) im Jahr 2009

### 3.3 K 7 und B 9 bei Worms (Rheinland-Pfalz)



**Abbildung 29: Luftbild und Überblicksfoto zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der B9 und K7 bei Worms (orange Linie: ASA, rote Linie: Kontrollbereiche, gelbe Pfeile: Bereiche [früherer] Hauptwanderströme von Amphibien während der Frühjahrswanderung)**

### 3.4 Parkstraße in Darmstadt (Hessen)



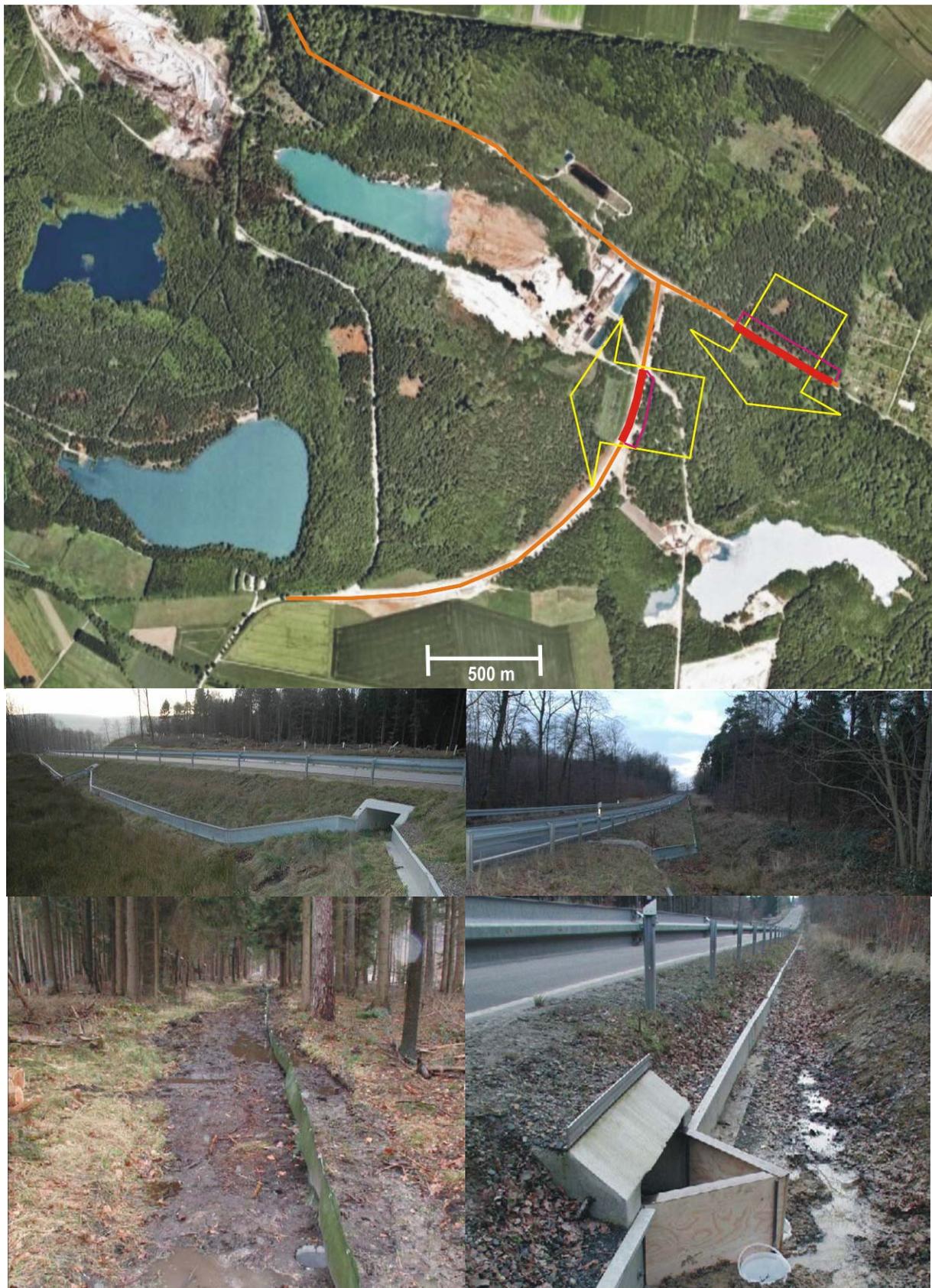
**Abbildung 30: Luftbild und Überblicksfotos zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der Parkstraße in Darmstadt-Kranichstein**  
(orange Linie: ASA, rote Linie: Kontrollbereiche, gelber Pfeil: Bereich [früherer] Hauptwanderstrom von Amphibien während der Frühjahrswanderung)

### 3.5 K 28 an Holmer Teiche bei Buchholz (Niedersachsen)



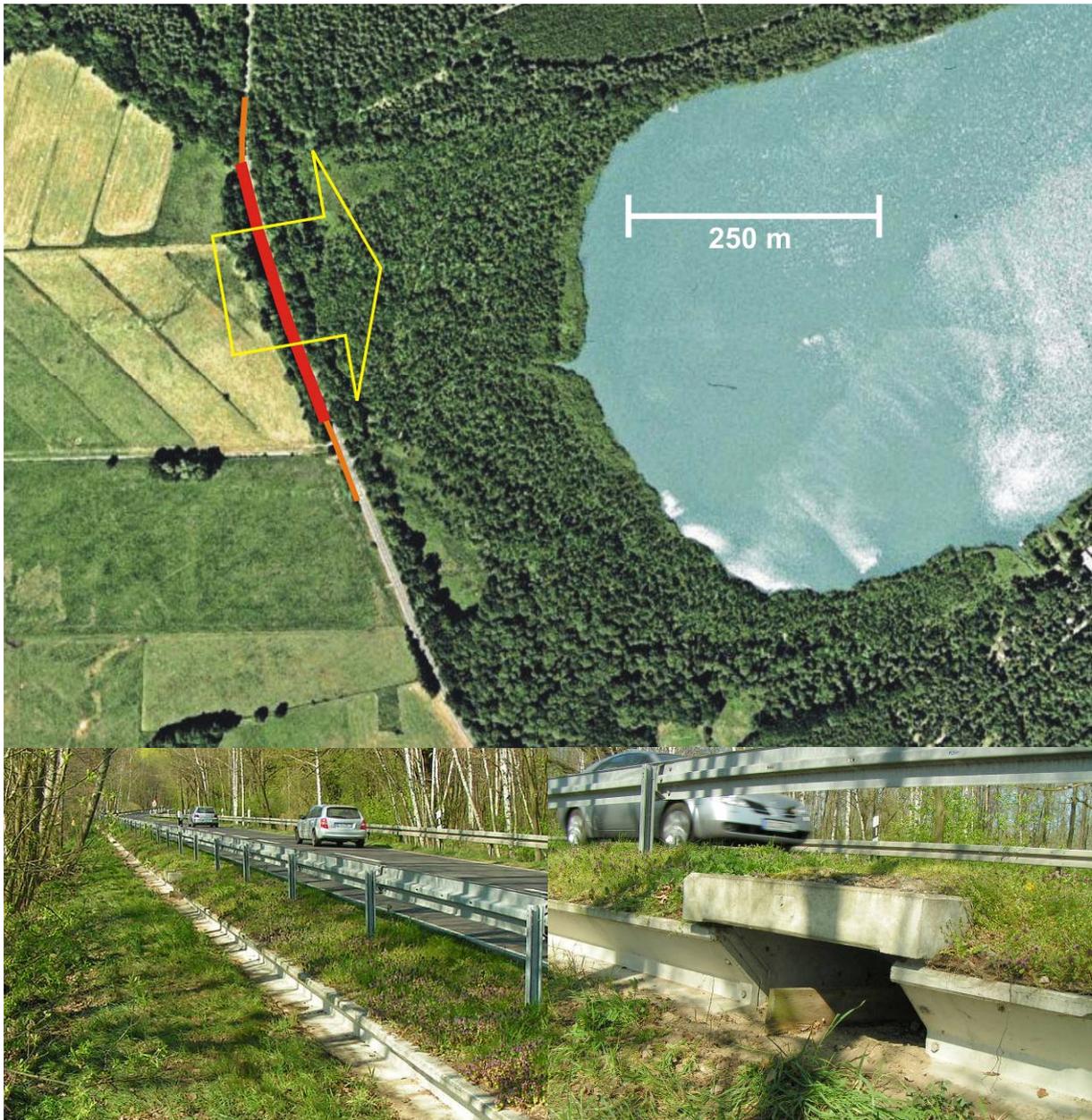
**Abbildung 31: Luftbild und Überblicksfotos zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der K 28 neben den Holmer Teichen bei Buchholz**  
(orange Linie: ASA, rote Linie: Kontrollbereiche, gelber Pfeil: Bereich [früherer] Hauptwanderstrom von Amphibien während der Frühjahrswanderung)

### 3.6 Bruchstraße und B 240 bei Duingen (Niedersachsen)



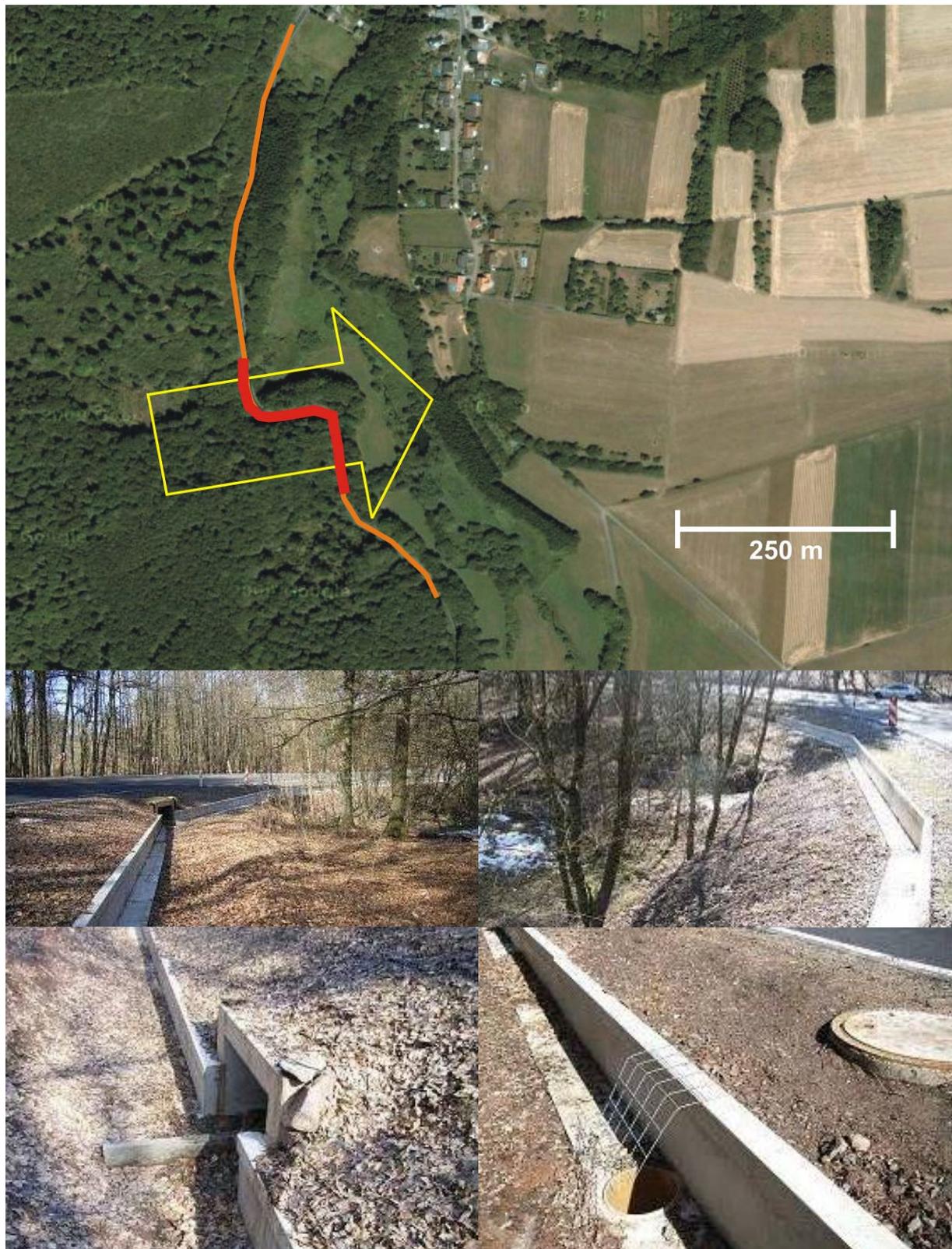
**Abbildung 32: Luftbild und Überblicksfotos zur Amphibienschutzanlage (ASA) und Fangeinrichtungen an der B240 und Bruchstraße bei Duingen-Weenzen (orange Linie: ASA, rote Linie: Kontrollbereiche, lila Linie: im Frühjahr 2007 u. 2009 aufgebauter Fangzaun, gelbe Pfeile: Bereich [früherer] Hauptwanderströme von Amphibien)**

### 3.7 L 51 bei Byhleguhre (Sachsen)



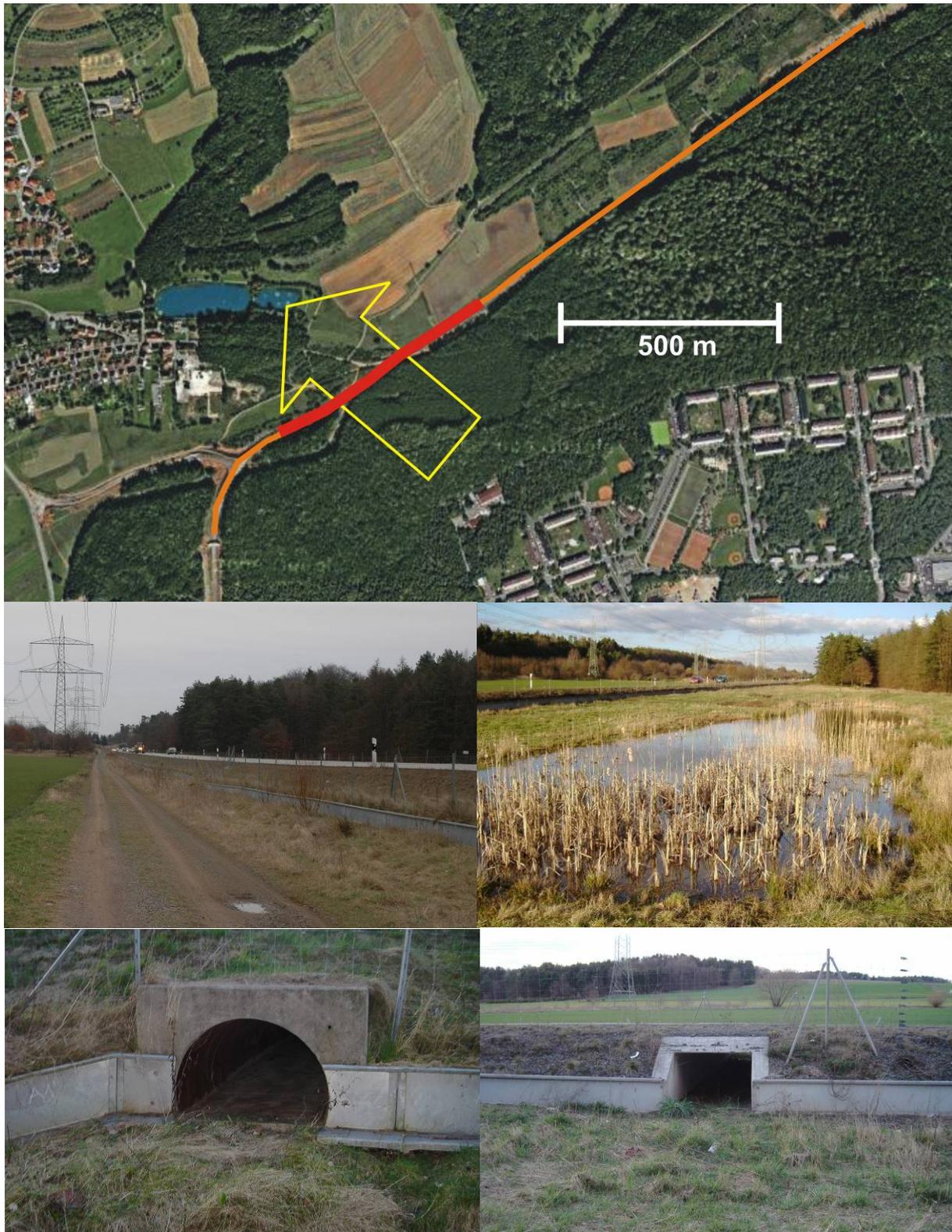
**Abbildung 33: Luftbild und Überblicksfotos zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der L 51 im Biosphärenreservat Spreewald bei Byhleguhre**  
(orange Linie: ASA, rote Linie: Kontrollbereiche, gelber Pfeil: Bereich [früherer] Hauptwanderstrom von Amphibien während der Frühjahrswanderung)

### 3.8 L 130 bei Urexweiler (Saarland)



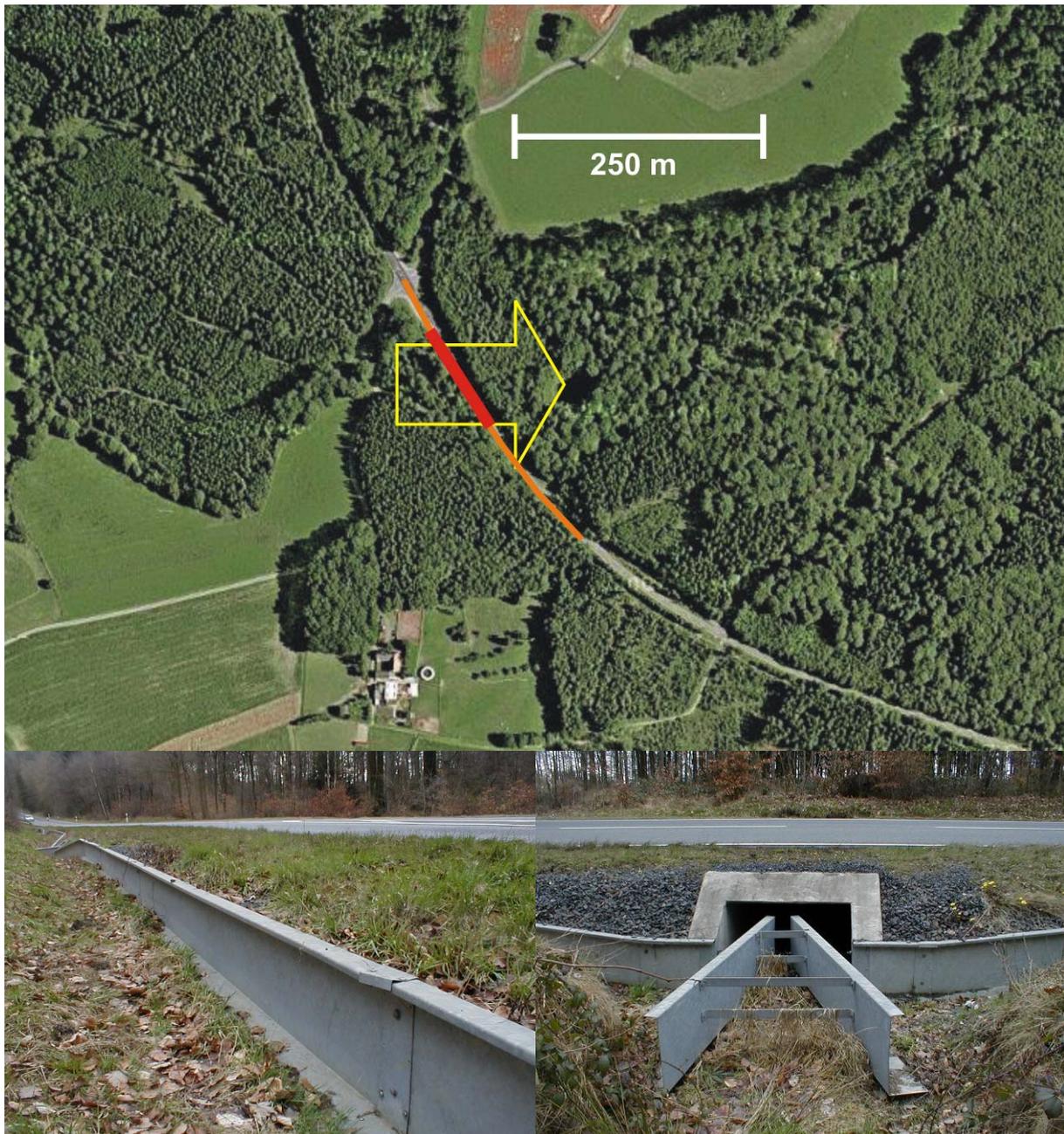
**Abbildung 34: Luftbild und Überblicksfotos zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der L 130 westlich der Illaue bei Marpingen-Urexweiler**  
(orange Linie: ASA, rote Linie: Kontrollbereiche, gelber Pfeil: Bereich [früherer] Hauptwanderstrom von Amphibien während der Frühjahrswanderung)

### 3.9 L 356 bei Ramstein (Rheinland-Pfalz)



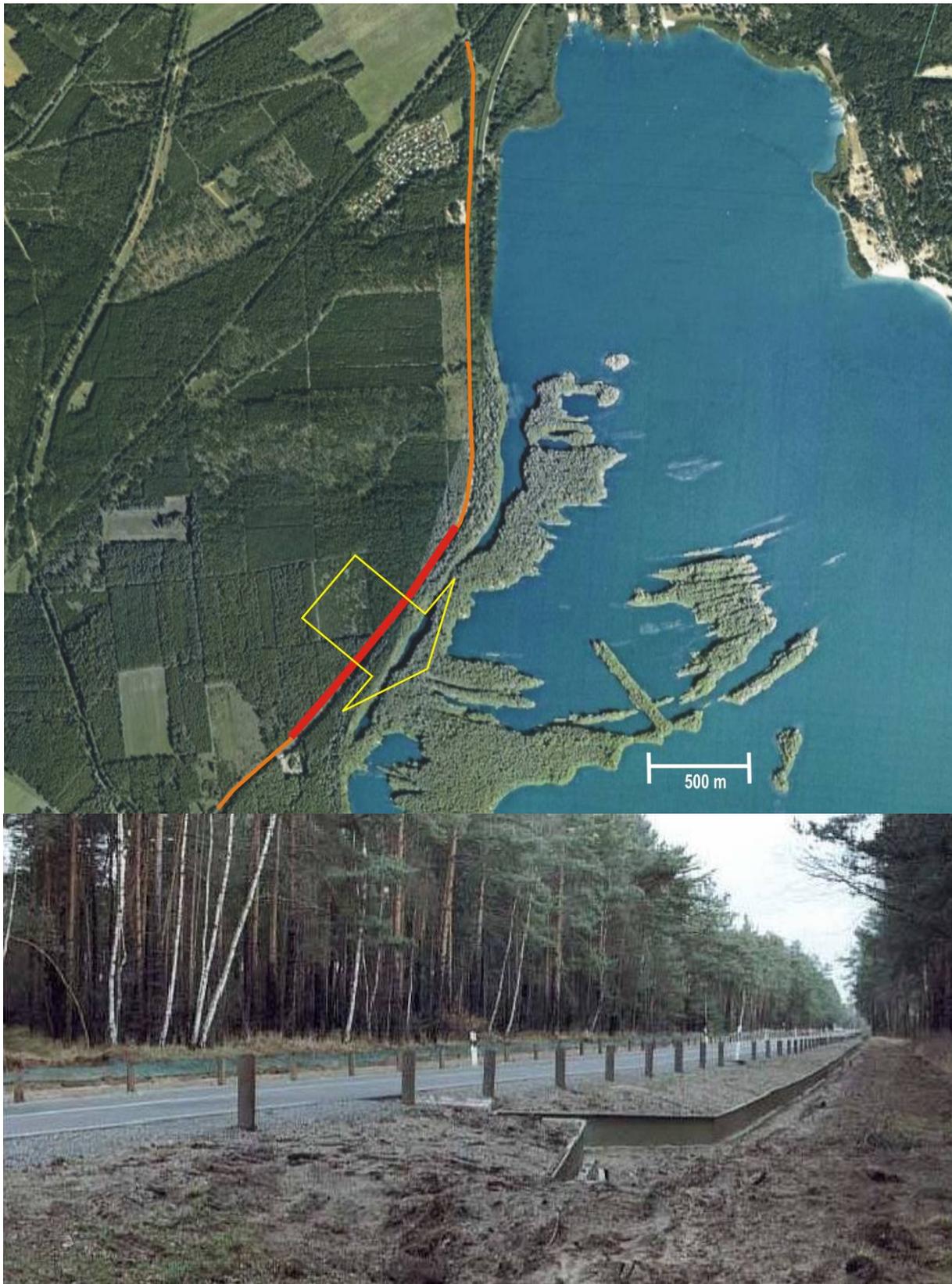
**Abbildung 35: Luftbild und Überblicksfotos zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der L 356 bei Ramstein-Miesenbach**  
(orange Linie: ASA, rote Linie: Kontrollbereiche, gelber Pfeil: Bereich [früherer] Hauptwanderstrom von Amphibien während der Frühjahrswanderung)

### 3.10 L 254 bei Reidenbruch (Rheinland-Pfalz)



**Abbildung 36: Luftbild und Überblicksfotos zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der L 254 am Waldsee bei Reidenbruch**  
(orange Linie: ASA, rote Linie: Kontrollbereiche, gelber Pfeil: Bereich [früherer] Hauptwanderstrom von Amphibien während der Frühjahrswanderung)

### 3.11 B 96 am Knappensee bei Groß-Särchen (Sachsen)



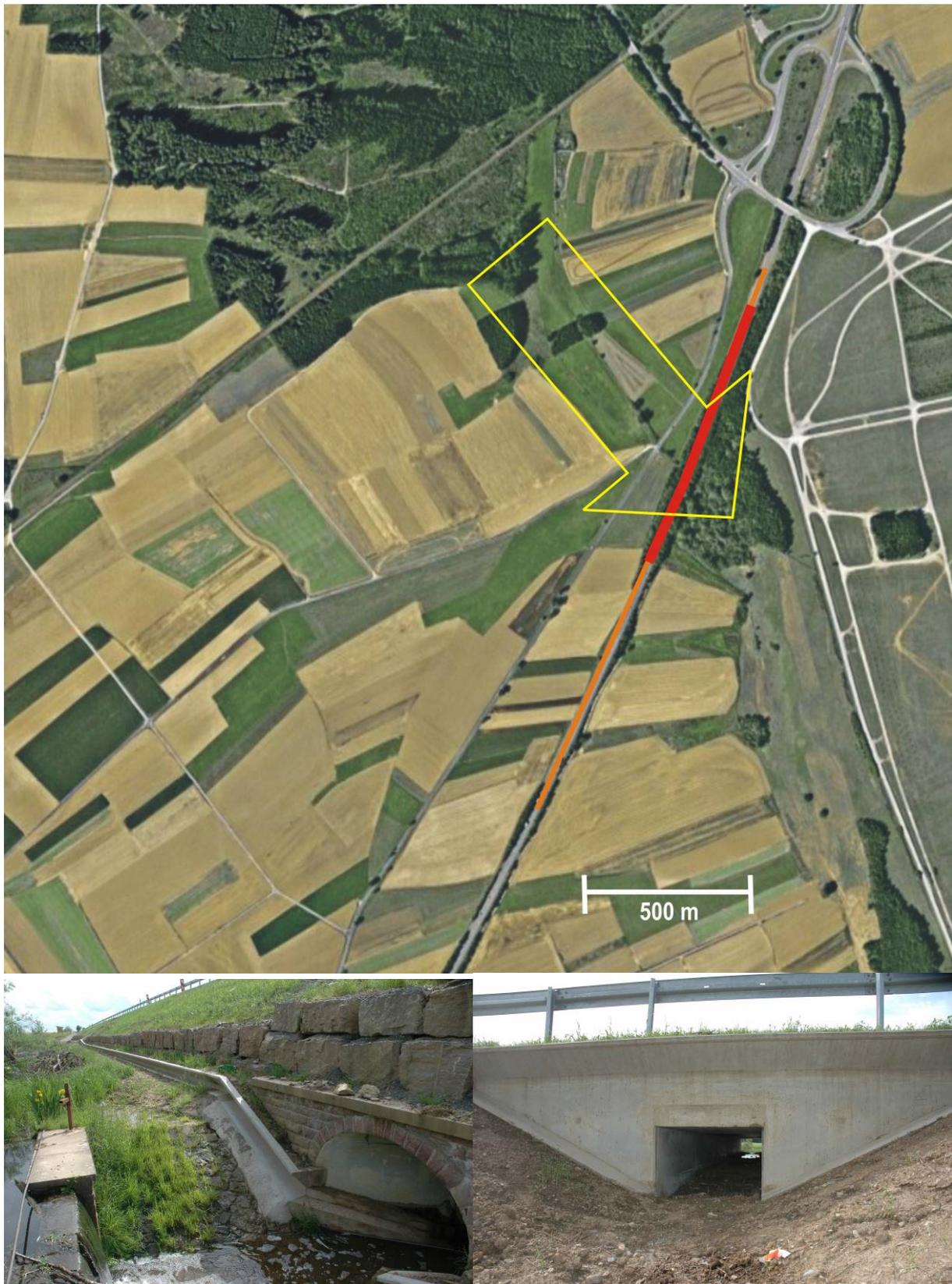
**Abbildung 37: Luftbild und Überblicksfoto zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der B96 am Knappensee bei Groß-Särchen**  
(orange Linie: ASA, rote Linie: Kontrollbereiche, gelber Pfeil: Bereich [früherer] Hauptwanderstrom von Amphibien während der Frühjahrswanderung)

### 3.12 B 3 bei Karlsruhe (Baden-Württemberg)



**Abbildung 38: Luftbild und Überblicksfoto zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der B3 zwischen Karlsruhe-Grötzingen und Weingarten**  
(orange Linie: ASA, rote Linien: Kontrollbereiche, gelber Pfeil: Bereich [früherer] Hauptwanderstrom von Amphibien während der Frühjahrswanderung)

### 3.13 B 27 bei Walldürn (Baden-Württemberg)



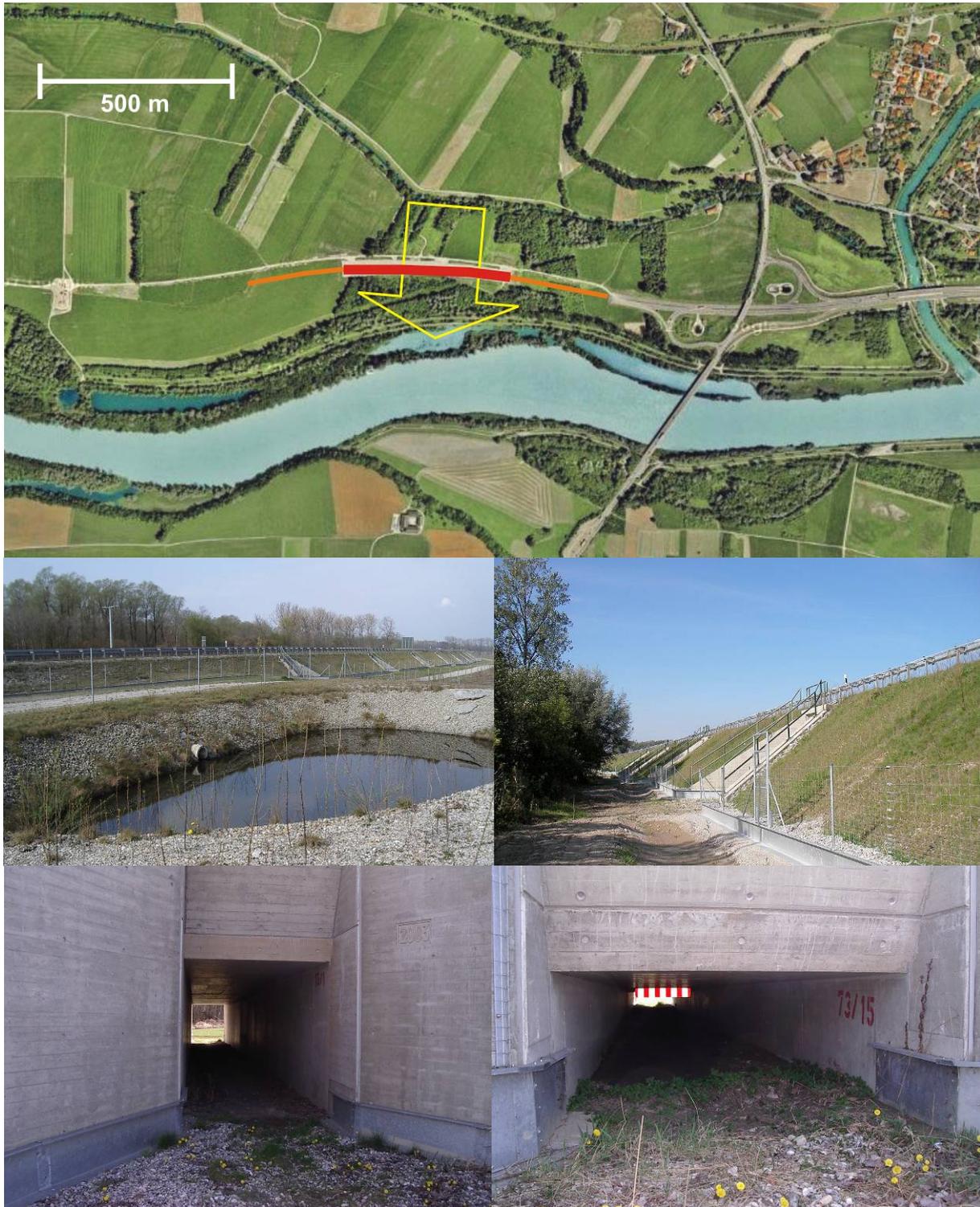
**Abbildung 39: Luftbild und Überblicksfotos zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der B27 zwischen Walldürn und Buchen (Odenwald)**  
(orange Linie: ASA, rote Linie: Kontrollbereiche, gelber Pfeil: Bereich [früherer] Hauptwanderstrom von Amphibien während der Frühjahrswanderung)

### 3.14 B 49 bei Koblenz (Rheinland-Pfalz)



**Abbildung 40: Luftbild und Überblicksfoto zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der B49 („Südtangente“) bei Koblenz**  
(orange Linie: ASA, rote Linie: Kontrollbereiche in 2007, gelbe Pfeile: frühere Hauptwanderströme von Amphibien während der Frühjahrswanderung in diesem Bereich)

### 3.15 A 94 bei Winhöring (Bayern)



**Abbildung 41: Luftbild und Überblicksfotos zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der A 94 in der Innaue bei Winhöring**  
 (orange Linie: ASA, rote Linie: Kontrollbereiche, gelber Pfeil: Bereich [früherer] Hauptwanderstrom von Amphibien während der Frühjahrswanderung)

### 3.16 A 8 bei Perl (Saarland)



**Abbildung 42: Luftbild und Überblicksfotos zur Amphibienschutzanlage (ASA) an der A 8 bei Perl**  
(orange Linie: ASA, rote Linie: Kontrollbereiche, gelber Pfeil: Bereich [früherer] Hauptwanderstrom von Amphibien während der Frühjahrswanderung)

## 4. Untersuchungsergebnisse

### 4.1 Physikalische Rahmenbedingungen

#### 4.1.1 Laufsohlengestaltung in und vor verschiedenen Durchlässen

**Bodenoberfläche:** Die Oberflächengestaltung der Tunnelböden unterschied sich vor allem zwischen Durchlässen mit Betonboden und solchen mit gewachsenem oder nach dem Einbau wieder aufgefülltem Bodensubstrat. Bei Ersteren war die Lauffläche in der Regel glatt und mehr oder weniger frei überschaubar, bei den anderen herrschten eher unebene Oberflächen vor. Bei Schottereintrag waren diese regelrecht kluftig und konnten für Tiere in der Größe von Amphibien zum Teil als ein regelrechtes Wanderhindernis betrachtet werden (z. B. Tunnel an der Amphibienschutzanlage unter der A 9 bei Perl). Erd- oder Sandeinfüllungen waren in der Regel glattgezogen, wiesen aber teilweise ebenfalls eine wellige Bodenform auf. Beachtenswert für einen Vergleich war aber auch, dass die Bodenplatten von Betonelementen der Durchlässe nur selten fugendicht aneinander stießen oder mit Silikon ausgespritzt waren. Somit waren nicht nur seitlich, sondern auch im Boden regelmäßig Spalten bei der Durchwanderung zu überwinden. Teilweise waren diese so groß, dass zumindest juvenile Amphibien dort in großer Individuenzahl „abtauchen“ konnten. Vereinzelt Nachsuche mittels Ausleuchten oder mit einem Endoskop erbrachten aber keine sicheren Nachweise tatsächlicher Tierverluste in derartigen Ritzen und Spalten. Allerdings war das Kluftsystem auch nicht immer vollständig inspizierbar.

Auch der Bereich vor dem Tunneleingang war bei den untersuchten Amphibienschutzanlagen sehr unterschiedlich gestaltet. Meist herrschten ebene Laufflächen vor, die – vor allem bei neugebauten Anlagen – vegetationsfrei auf zumindest 1 – 2 Handbreiten vor den Leitwänden waren. Bei L-förmigen Betonleitsteinen bestanden diese Flächen aus Beton, der teilweise auch in Form von Ortbeton vor den Tunneleingang verlängert war und dort eine glatte Fläche bot. Alternativ konnte eine gut verdichtete Splittschicht (z. B. auch zwischen Rasengittersteine eingefüllt) ebenfalls für eine ebene Lauffläche sorgen. Anders als beim gröberen Schotter bot ein solcher Boden kaum Bodenwellen und erlaubte ein zügiges Überschreiten auch für kleine Amphibien. Vor allem bei älteren Anlagen waren Grasbewuchs und – bei wenig gepflegten Anlagen – auch höherer Aufwuchs vorherrschend. Vor allem im Sommer lag das Mähgut teilweise nach einem Freischnitt auch wochenlang auf dem Boden vor den Leitwänden und den Durchlasseingängen. Dies erschwerte zwar dort den Tieren die Wanderschaft, bot aber andererseits auch Versteckmöglichkeiten vor Fressfeinden und Wettereinflüssen.

**Durchgängigkeit:** In fast allen Tunneln lagen zum Teil sehr viele Abfälle (Tüten, Papier, Glasflaschen, Plastikbecher), aber auch Laubeinwehungen konnten den ursprünglichen Durchlassquerschnitt verengen. In manchen Durchlässen boten diese einen hohen Raumwiderstand, der dem in einer Grasfläche oder auf dem Waldboden außerhalb der Schutzanlagen ähnelt. Beispiele hierzu finden sich in Abb. 43. Die dortigen Fotoaufnahmen stellen Momentaufnahmen dar und stammen nicht alle aus der Zeit zur Hauptwanderschaft der Amphibien. Auch sind hier Beispiele dokumentiert (linke Spalte), von mehr oder weniger planen, hindernisarmen Untergründen, sowohl in Betonröhren, als auch in Stelztunneln mit Erdeinfüllung.

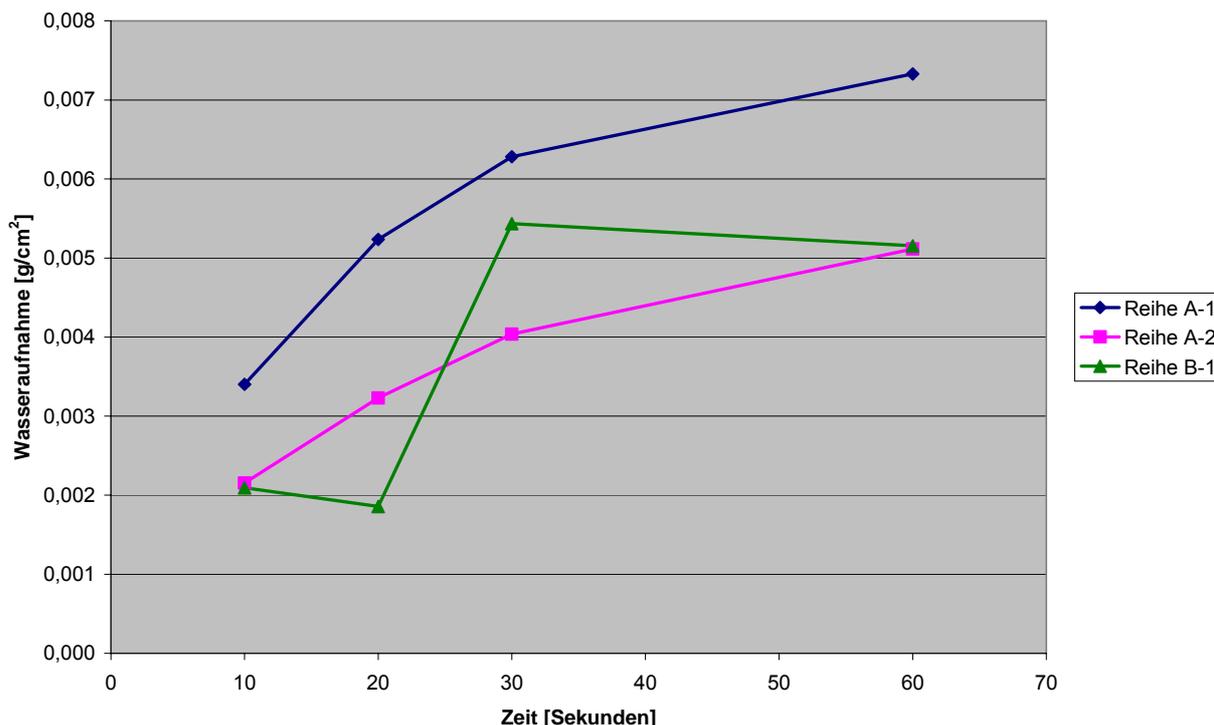


**Abbildung 43: Beispiele zur Untersgrundsituation vor und in verschiedenen Durchlässen**  
 1. Reihe links: B9, rechts: B3; 2. Reihe links und rechts: B49; 3. Reihe links und rechts: B96; 4. Reihe links: Bruchstraße, rechts: Parkstraße

**Wasserstand:** Die meisten der untersuchten Durchlässe waren ohne Staunässe, auch wenn durchfließendes Regenwasser mehrfach in der Beobachtungszeit registriert wurde. Die Stelztunnel im Abschnitt der Bruchstraße bei Duingen sowie an der K 28 bei Buchholz waren allesamt mehr oder weniger dauernass und hatten teilweise auch vor den Durchlassöffnungen – zumindest im Frühjahr – mehrere Zentimeter tiefe Dauerpfützen (bis zu knapp 1 m<sup>2</sup> Flächenausdehnung). Im Fall der K 28 standen die Durchlässe sogar während der gesamten Frühjahrswanderperiode einige Zentimeter unter Wasser. Die jeweilige konkrete „Geländesituation“ zum Zeitpunkt der beobachteten Amphibienwanderungen wurde protokolliert, um sie bei den Verhaltensbeobachtungen berücksichtigen zu können.

#### 4.1.2. Eigenschaften von Betonbauteilen

**Wasseraufnahmevermögen (Hygroskopizität):** Die Untersuchungen im Labor des Materialprüfamt an der Hochschule Rhein-Main in Wiesbaden führten zu aufschlussreichen Erkenntnissen hinsichtlich einer zielführenden Auswahl geeigneter Methoden für Vergleichstest verschiedener Betone (KREYE 2006 schriftl.). In Abb. 44 sind die Messergebnisse der Wasseraufnahmeprüfung („W-Wert“-Bestimmung nach DIN 52617, abgewandelt) dargestellt.



**Abbildung 44: Wasseraufnahmeprüfung von Betone in drei Versuchsreihen in Anlehnung an DIN 52617 (J. Kreye, MPA Wiesbaden)**

Die Reihen A1 und A2 sind an jeweils einer Probe ermittelt worden, die – wie beim Standardverfahren zur W-Wert-Bestimmung – nach den Wägungen zurück ins Wasser gelegt wurde. Der Zeitbedarf für die Wägungen, welche den Saugvorgang ja unterbrechen, beeinflusste hier die Ergebnisse (beim 24h-W-Wert sind diese Zeiträume sehr gering, verglichen mit dem Untersuchungszeitraum). Die angegebenen Prüfzeiten bis 60 Sekunden beziehen sich im vorliegenden Fall auf die reinen Saugzeiten. Die dazwischen befindlichen Zeiten für

das Abtrocknen und Wiegen der Proben wurden jeweils gleich lang gehalten, aber nicht in der Zeitskala berücksichtigt. Bei der Reihe B1 wurde für jeden Prüfzeitpunkt ein eigener Probekörper verwendet, der entsprechend 10, 20, 30 oder 60 Sekunden im Wasser lag.

Gut erkennbar war die relativ große Streuung der Werte. Reihe B1 machte zudem deutlich, dass die individuelle Beschaffenheit einer jeden Probe offenbar eine so große Rolle spielte, dass im Einzelfall keine sinnvollen Kurvenverläufe resultieren können. Für Versuchsreihen sind daher Mittelwertbildungen aus mindestens 3 – 5 Proben zwingend erforderlich. Trotz großer Streuung bei den Einzelwerten war jedoch eine signifikant auswertbare Tendenz zu ermitteln, die – eine ausreichende Zahl an Probekörpern vorausgesetzt – für vergleichende Untersuchungen aussagekräftig erscheint.

Bei der Prüfung der Wasseraufnahme von zwei Betonoberflächen mittels Prüfröhrchen nach Karsten konnten auch nach zehn Minuten noch keine signifikant ablesbaren Wassereindringungen festgestellt werden.

Das dritte getestete Verfahren, das Aufträufeln eines Wassertropfens von 0,2 – 0,5 ml Gesamtvolumen auf die Oberfläche eines glatten Betonkörpers, führte dagegen erneut zu gut vergleichbaren Ergebnissen. Mit einer Mikroliter-Pipette wurden verschiedene Volumina Wasser als Tropfen auf die Betonoberfläche gegeben. Anschließend wurde halbquantitativ die Ausbreitung des Tropfens, der Kontaktwinkel zur Oberfläche und die Zeitdauer bis zum vollständigen Aufsaugen bewertet. Diese vergleichsweise einfache Prüfung hinterließ einen sehr anschaulichen Eindruck, in Bezug auf das Saugverhalten der getesteten Oberflächen.

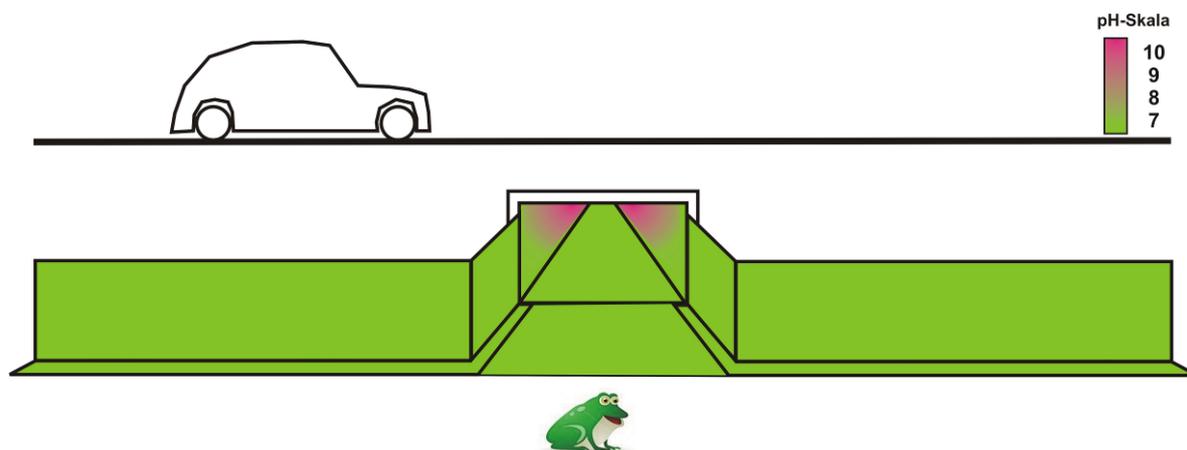
**Alkalität:** Die durchgeführten Messungen zum pH-Wert des Bodensubstrates in verschiedenen Stelztunneln (Amphibienschutzanlagen bei Duingen, Worms und Karlsruhe) ergaben einen Messbereich von 7,0 bis 7,5. Auch andere, der Witterung ausgesetzte Schutzanlagen-teile (Laufsohlen von Betonleitsteinen und Bodenplatten im Eingangsbereich der Tunnel) wiesen ausschließlich pH-neutrale Werte auf. Dies gilt auch für Messungen auf Betonbodenplatten entlang des Tunnels vom Eingang bis zur Tunnelmitte (s. Tab. 16).

Doch Probennahmen an den senkrechten Wänden innerhalb der Tunnel nur wenige Zentimeter oberhalb der Laufsohle ergaben vielfach eine zunehmende Alkalität, die vor allem an trockenen Stellen in tief innen liegenden Wandbereichen zum Teil Werte von bis zu pH = 10 und womöglich auch mehr (= Messende der Indikatorstäbchen) ergaben (vgl. Tab. 16 u. Abb. 45). Messungen an der Decke einer der Betontunnel ergaben dort einen neutralen pH-Bereich. Dort war allerdings auch niedergeschlagenes Schweißwasser vorhanden.

Messungen zum pH-Wert am Bauch eines Springfroschs und an den Füßen eines Kammolchs zeigten jeweils ein neutrales Messergebnis. Ebenso Messungen am Metallzaun der Amphibienschutzanlage an der K 7 bei Worms.

**Tabelle 16: Messung von pH-Werten an Amphibien und verschiedenen Bauteilen von Amphibienschutzanlagen (n = Anzahl der Messungen)**

Messbereich <sup>33</sup>	pH-Wertbereich			
	7,0/ 7,5	8,0/ 8,5	9,0/ 9,5	10 <sup>34</sup>
1.) Amphibienhaut(Kammolchfüße + Springfroschbauch)	n = 2			
2.) Bodensubstrat vor Tunneleingang	n = 5			
3.) Bodensubstrat in Stelztunnel bis 700 cm Tiefe	n = 5			
4.) Bodenbetonplatten in Stelztunnel bis 700 cm Tiefe	n = 5			
5.) Leiteinrichtung aus Metall neben Tunneleingang	n = 2			
6.) Leiteinrichtung aus Beton neben Tunneleingang bis 40 cm hoch und bis 40 cm von Tunneleingang entfernt	n = 10			
7.) Tunnelinnenwand (Beton) 10 cm tunneltief, 2 cm hoch	n = 3			
8.) Tunnelinnenwand (Beton) 10 cm tunneltief, 10 cm hoch	n = 4	n = 1		
9.) Tunnelinnenwand (Beton) 10 cm tunneltief, 20 cm hoch	n = 4			
10.) Tunnelinnenwand (Beton) 10 cm tunneltief, 50 cm hoch	n = 4		n = 1	
11.) Tunnelinnenwand (Beton) 60 cm tunneltief, 10 cm hoch		n = 1	n = 2	n = 1
12.) Tunnelinnenwand (Beton) 60 cm tunneltief, 20 cm hoch		n = 2	n = 2	
13.) Tunnelinnenwand (Beton) 60 cm tunneltief, 50 cm hoch		n = 1	n = 2	n = 1
14.) Tunnelinnenwand (Beton) 100 cm tunneltief, 2 cm hoch	n = 4	n = 1		
15.) Tunnelinnenwand (Beton) 360 cm tunneltief, 2 cm hoch			n = 3	
16.) Tunnelinnenwand (Beton) 500 cm tunneltief, 2 cm hoch				n = 3
17.) Tunneldecke (Beton) 10 – 100 cm tunneltief	n = 2			

**Abbildung 45: Alkalität auf der Oberfläche verschiedener Bereiche von Amphibienschutzanlagen, ermittelt aus Messungen an 9 Betondurchlässen (K 7 bei Worms, B 3 bei Karlsruhe und Bruchstraße bei Duingen; vgl. Tab. 16)**<sup>33</sup> Angaben zum Messort und Messdatum finden sich im Anhang<sup>34</sup> Messende der Indikatorstäbchen

### 4.1.3. Ferromagnetismus an verschiedenen Schutzanlagenteilen<sup>35</sup>

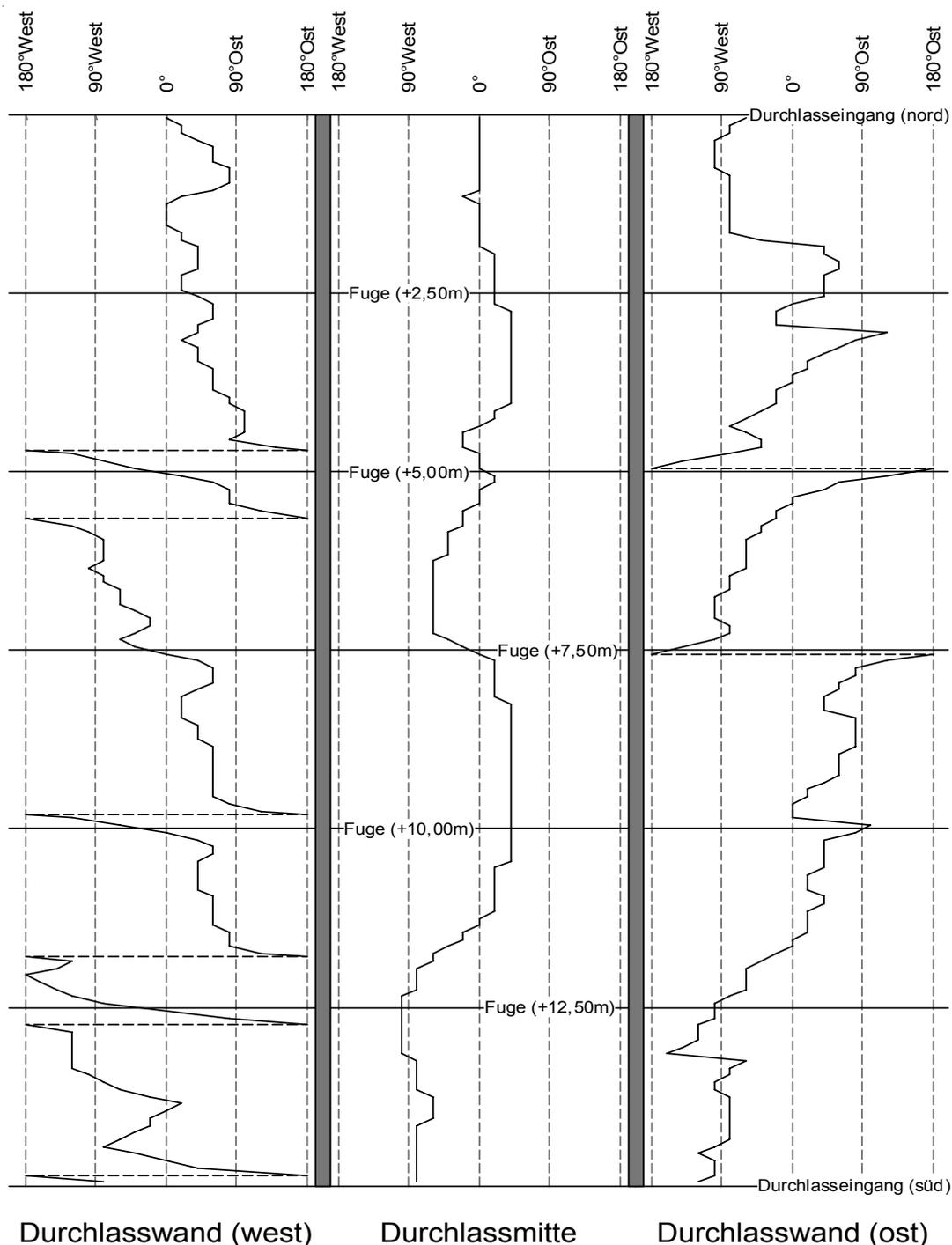
An allen untersuchten Schutzanlagen mit Metallzäunen und metallarmierten Betonelementen ließen sich para- und ferromagnetische Effekte nachweisen. Die Kompassnadel drehte sich beim Entlangführen an verschiedenen Bauteilen regelmäßig und meist sprunghaft auf wenige Zentimeter Abstand um bis zu 180° (= Magnetfeldumkehrung). In Abb. 46 ist dies beispielhaft für eine Korrosionsstelle in einer Tunnelwand der Amphibienschutzanlage an der B 49 bei Koblenz gezeigt. Auch an offen zu Tage stehenden Eisenstangen und insbesondere in der Nähe von Fugen zwischen aneinander grenzenden Bauelementen traten große Sprünge in der Kompassnadelausrichtung während des Darüberhinwegziehens auf. Nachfolgend werden die Beobachtungen in Durchlässen, an Leitwänden und über Bodensubstrat im Detail dargestellt.



**Abbildung 46:** Änderung der horizontalen Magnetfelder um 90° auf wenige Zentimeter entlang der Betonwand in der Amphibienschutzanlage an der B 49 bei Koblenz (aus URBANKE 2008) sowie an Fugen und Eisenstangen bis zu 180°

<sup>35</sup> Dieses Kapitel umfasst Auszüge aus einem Manuskript (URBANKE et al. in Vorber.), die auf das Forschungsprojekt angepasst wurden.

**Durchlässe:** In den Durchlässen aus Stahlbetonelementen konnten unabhängig vom Hersteller entlang der Messlinien an den Seitenwänden stets maximale Kompassabweichungen von  $180^\circ$  beobachtet werden. Sofern diese Durchlässe auch eine Bodenplatte aus Stahlbeton als Lauffläche besitzen, konnten ebenfalls bei den Messlinien entlang der Durchlassmittelachse diese punktuellen Umkehrungen der Magnetfeldrichtung gemessen werden. Dagegen wurden in den Durchlässen, die als Stelztunnel mit Erdbodenanschluss ausgeführt waren, entlang der Durchlassmittelachse maximal Kompassabweichungen von  $90^\circ$  gemessen werden. Auffällig war bei den Messungen in den Durchlässen aus Stahlbetonelementen, dass in der Nähe der Fugen meist die größten Magnetfeldgradienten festgestellt wurden.



**Abbildung 47: Erdmagnetfeldanomalien im östlichen Durchlass der Amphibienschutzanlage an der Weiterstädter Landstraße in Darmstadt (aus URBANKE 2008)**

Abb. 47 zeigt diesen Sachverhalt in Form von Messgängen in 10 cm-Schritten entlang der oben definierten Messlinien in einem Stelztunnel mit Erdanschluss<sup>36</sup>. Die hierbei gemessenen Horizontalrichtungsabweichungen sind typische Werte für solche Stelztunnel mit Erdbo-denanschluss, die eine Durchlassbreite von 1 m und eine Durchlasshöhe von 0,6 m haben. Bei den Messungen in den größer dimensionierten Durchlässen der Amphibienschutzanlage an der BAB 8 bei Perl im Saarland (Stahlbetonrohre, Innendurchmesser 2 m, mit einer in der Mitte 0,5 m hohen Schotterschicht als ebene Lauffläche) konnten entlang der Seitenwände ebenfalls Kompassabweichungen von 180° gemessen werden. Allerdings traten hier, im Gegensatz zu den kleiner dimensionierten Durchlässen, entlang der Durchlassmittelachse keine relevanten Magnetfeldanomalien auf.

Neben den Durchlasstypen aus Stahlbeton wurden an der Amphibienschutzanlage an der L 356 bei Ramstein-Miesenbach in Rheinland-Pfalz auch Durchlässe aus Eisenrohren (In-nendurchmesser 1 m, mit einer 0,4 – 0,5 m hohen Ortbetonschicht als ebene Lauffläche) untersucht. Außer der Tatsache, dass auch in diesen Durchlasstypen entlang der Seiten-wände Kompassabweichungen von 180° gemessen wurden, war zudem zu beobachten, dass sich die Kompassnadel stets nur sehr träge bewegte, was darauf schließen lässt, dass in den Durchlässen Magnetfeldgesamtstärken herrschen müssen, die weit unterhalb der natürlichen Feldstärke des Erdmagnetfeldes liegen. Andererseits war an einigen Stellen in den Durchlässen die Veränderung des Erdmagnetfeldes derart stark, dass sich die Kompassna-del in ihrem eigenen Gehäuse verkeilte. Da dieses Phänomen nur auftreten kann, wenn eine starke Verschiebung oder gar Umkehrung der Inklinationsrichtung vorliegt, müssen diese Eisenrohrdurchlässe – im Gegensatz zu allen anderen untersuchten Durchlasstypen – Mag-netfelder erzeugt haben, die in ihrer Ausrichtung natürlicher Weise nur auf der Erdsüdhalb-kugel vorkommen.

An einem Durchlass aus Polymerbeton ohne Stahlarmierungen einer weiteren Amphibien-schutzanlage<sup>37</sup> konnten keine Magnetfeldanomalien festgestellt werden. Während der Mes-sungen in den Durchlässen konnten außerdem auch Magnetfeldveränderungen durch den Betrieb der Straße festgestellt werden, da Automobile durch ihre hohe Metallmasse und die ferromagnetischen Eigenschaften des Motorblocks das Erdmagnetfeld in ihrer Umgebung sehr stark verändern. Dieses Phänomen machte sich bei den Untersuchungen an allen Am-phibienschutzanlagen dadurch bemerkbar, dass bei über die Durchlässe hinweg fahrenden Fahrzeugen, im Durchlassinneren darunter stets ein leichtes Zucken der Kompassnadel bis zu +/- 10° beobachtet werden konnte. Diese Ausschläge der Kompassnadel waren umso deutlicher, je langsamer die Fahrzeuge fuhren, wobei selbst bei Fahrgeschwindigkeiten über 100 km/h, ein leichter Ausschlag der Kompassnadel noch deutlich erkennbar war. Des Wei-teren verursachten hierbei LKWs stärkere Abweichungen als die kleineren und kürzeren PKWs.

---

<sup>36</sup> In einer Amphibienschutzanlage (Weiterstädter Landstraße in Darmstadt, 15 m langer Durchlass), die nicht Gegenstand des Forschungsprojektes war, aber exemplarisch für alle baugleichen Anlagen betrachtet werden kann.

<sup>37</sup> Modell AT 500 (Firma ACO-Pro) an der Amphibienschutzanlage an der L 3139 bei Herbstein (Hessen), die ebenfalls nicht Gegenstand des Forschungsprojektes war, aber exemplarisch für alle baugleichen Anlagen betrachtet werden kann.

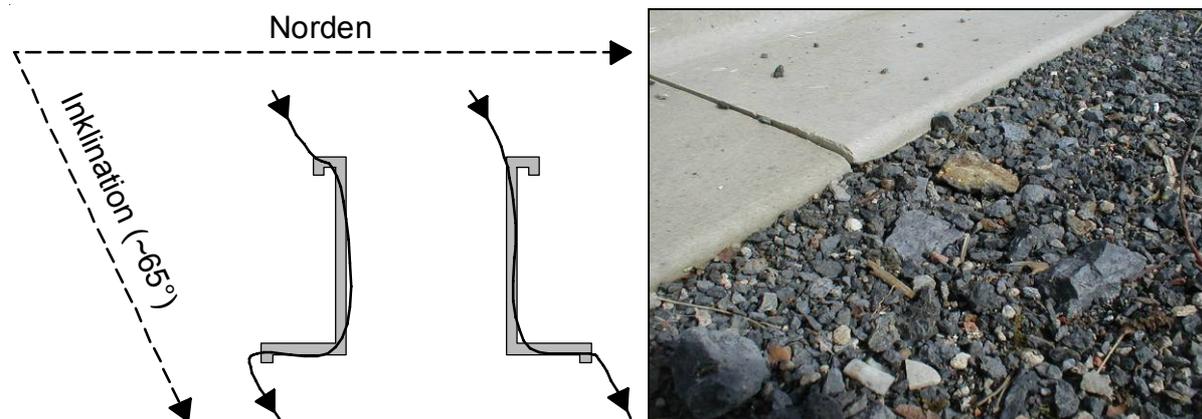
**Leit- und Sperreinrichtungen:** An allen untersuchten Leit- und Sperreinrichtungen aus Stahlbeton konnten aufgrund der ferromagnetischen Eigenschaften der Betonbewehrungen ebenso herstellerunabhängig starke und kleinräumig variierende Erdmagnetfeldanomalien mit Horizontalwinkelabweichungen bis zu 180° gemessen werden. Auch bezüglich der Messpunkte an den Fugen zeigten sich erneut die größten Magnetfeldgradienten in der Nähe der Fugen. Auch an den Leit- und Sperreinrichtungen aus Stahlblechen traten die größten Magnetfeldgradienten meistens an den Fugenknoten auf. Allerdings wurde das Erdmagnetfeld im Verlauf der einzelnen Leit- und Sperrelemente aus feuerverzinktem Stahlblech in der Regel in weitgehend vorhersehbarer Art und Weise verändert. Durch paramagnetische Eigenschaften wird bei ihnen der magnetische Fluss von den gut leitenden Metallblechen angezogen und gebündelt. Dadurch verändert sich der Horizontalwinkel des Erdmagnetfeldes an den Leit- und Sperreinrichtungen, die in einem Winkel von bis zu etwa 45° zur magnetischen Nordrichtung in ihrer Ausrichtung abweichen, etwa im äquivalenten Winkelbetrag, um den auch die Leit- und Sperreinrichtung von der magnetischen Nordrichtung abweicht. Bei den Leit- und Sperreinrichtungen, die um mehr als etwa 45° zur magnetischen Nordrichtung geneigt sind, wurden die Magnetfeldanomalien dagegen indifferent.

Eine Ausnahme bilden hierbei die Leit- und Sperreinrichtungen, die etwa in Ost-West-Richtung (+/- 10°) verlaufen, da an diesen die Magnetfeldanomalien wieder regelmäßig und vorhersehbar auftreten. So konnten in diesem speziellen Fall entlang der Messlinien, die direkt an den Leitwänden aufgenommen wurden, keine Abweichungsunterschiede zwischen den nördlich und südlich der Straße gelegenen Leitelementen festgestellt werden. Denn der magnetische Fluss kann die mehr oder weniger rechtwinklig zur Nordrichtung stehenden, dünnwandigen Leitwände passieren, ohne stärker abgelenkt zu werden. Dahingegen zeigte sich bei den Messlinien entlang der Laufflächenvorderkante ein deutlicher Unterschied zwischen den Leitelementen auf den beiden Straßenseiten. Hierbei blieb die Horizontalrichtung des Erdmagnetfeldes auf der nördlichen Straßenseite fast unverändert, da der magnetische Fluss diese Leitelemente hauptsächlich an der Laufflächenvorderkante in Richtung Norden verlässt. An den Leitelementen der Straßensüdseite hingegen, dringt der magnetische Fluss, der in Deutschland aufgrund der Inklination von schräg oben kommt, hauptsächlich an der Oberkante der Leitwand in die Metalleiteinrichtung ein, und verlässt die Leitelemente aufgrund deren guten Leitfähigkeit teilweise an der Laufflächenvorderkante entgegen der eigentlichen Richtung des Erdmagnetfeldes (s. Schemazeichnung in Abb. 48). Daher wurden an der Laufflächenvorderkante der südlichen Straßenseite durchweg sehr starke Kompassmissweisungen von bis zu 180° gemessen.

Es wurden auch Kunststoff-Leitelemente der Firma Beilharz (Bauelementlänge = 1 m) untersucht, die an den Fugenknoten mit rückwärtigen Stahlstützen im Erdreich verankert werden. Hierbei übten die rückwärtigen Stahlstützen eine sehr starke Anziehungskraft auf den magnetischen Fluss aus, sodass das Erdmagnetfeld auf der Anwanderseite von den Fugen ausgehend ebenfalls erheblich verändert wurde. Unter den untersuchten Leit- und Sperreinrichtungen befanden sich auch zwei Herstellerprodukte, die das Erdmagnetfeld überhaupt nicht veränderten. Dies waren unarmierte Betonwinkelsteine der Firma Maibach sowie Leitelemente aus Polymerbeton der Firma ACO-Pro (Modell LEP 100).<sup>38</sup> Vor den Durchlasseingängen wurden auch Leitblendelemente aus unarmierten Betonfertigteilen (Kantensteine)

<sup>38</sup> Diese Ergebnisse werden hier informativ aus der Arbeit von URBANKE (2008) übernommen, da diese Amphibienschutzanlagen nicht Untersuchungsgegenstand des Forschungsprojektes waren.

und aus Stahlblechen untersucht. Hierbei veränderten erwartungsgemäß lediglich die Leitblenden aus Stahlblech das Erdmagnetfeld.



**Abbildung 48: Verlauf der Magnetfeldlinien an Metall-Leitelementen, die in Ost-West-Richtung verlaufen und ferromagnetisches Gesteinsmaterial aus Müllverbrennungsschlacke im Schotterbett vor einer Amphibienschutzanlage (aus URBANKE 2008)**

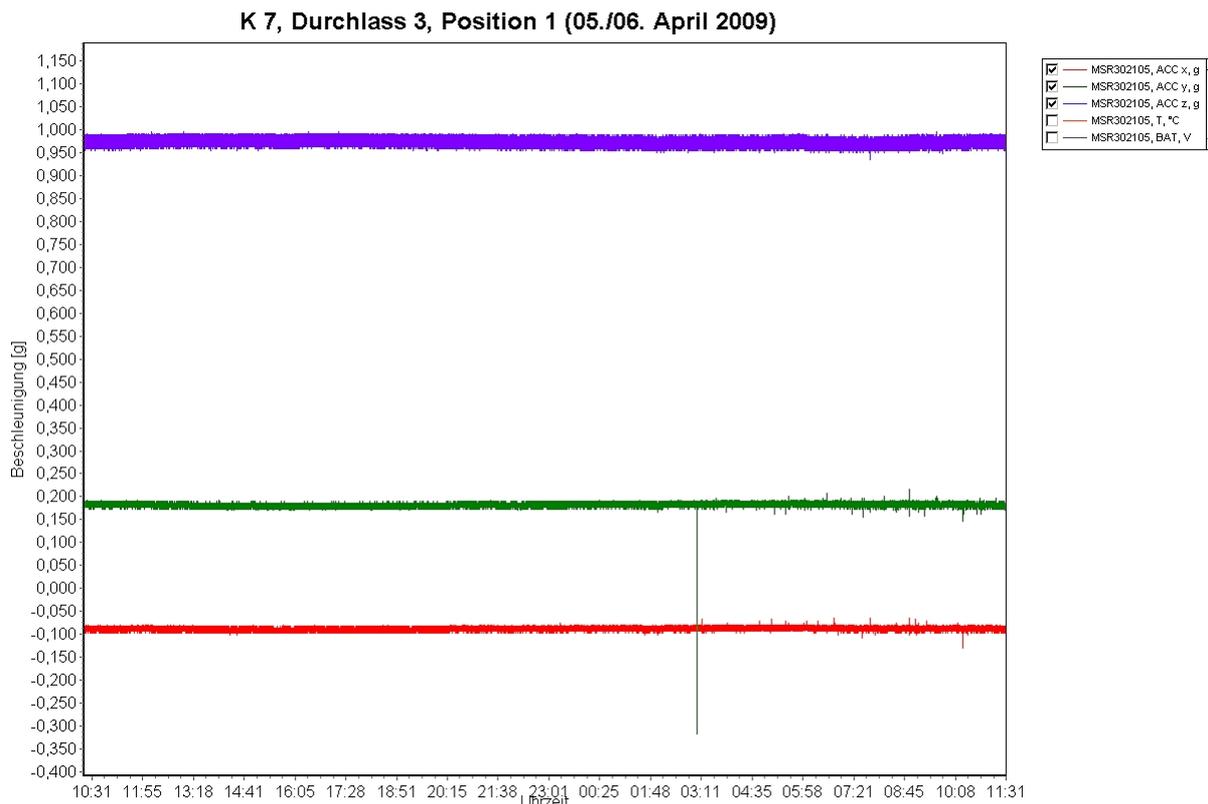
**Straßenböschung vor den Leit- und Sperreinrichtungen:** Über Vegetationsflächen konnten erwartungsgemäß keine Erdmagnetfeldanomalien festgestellt werden. Lediglich an der Amphibienschutzanlage an der Parkstraße in Darmstadt ließ sich bei den Untersuchungen ein 15 cm dickes Eisenrohr entdecken, das unter der Oberfläche vergraben war und sich durch Missweisungen der Kompassnadel bemerkbar machte. Auch über vegetationsfreien Schotter- und Splittflächen wurden lediglich in einem Fall Veränderungen des Erdmagnetfeldes festgestellt. Dabei handelte es sich um die Amphibienschutzanlage an der L 3139 bei Herbstein (Hessen)<sup>39</sup>, an der diese Flächen mit stark eisenhaltigem Schlackenmaterial aus der Müllverbrennung bedeckt waren. Dieses teilweise rostrote, ferromagnetische Gesteinsmaterial (s. Abb. 48) verursachte direkt über diesen Flächen je nach Korngröße Horizontalwinkelabweichungen von bis zu 70°.

#### 4.1.4. Vibrationsmessungen in und vor verschiedenen Durchlässen

An vier Durchlässen von zwei Amphibienschutzanlagen wurden Erschütterungen, die durch den Fahrzeugverkehr über der Straße erzeugt werden, gemessen. Dabei zeigte sich, dass unabhängig von den gewählten Positionen der Messgeräte innerhalb der Tunnel und auch im Eingangsbereich auf der Laufsohle der Leiteinrichtung und sogar auf dem Fahrbahnbelag unmittelbar am Straßenrand die messbaren Vibrationen jeweils unterhalb der Messgenauigkeit der Sensoren ( $\pm 0,15$  g) lag (vgl. Tab. 17).

Auch eine Differenzierung zwischen verschiedenen Tageszeiten mit viel oder wenig Straßenverkehr erbrachte keinen messbaren Unterschied, der die Empfindlichkeit der Messgeräte überstieg. Es traten allerdings auch viermal Einzelereignisse auf, die in der horizontalen Richtung bis zum 2,5-fachen der Erdbeschleunigung und in der vertikalen Richtung bis zum 3,0-fachen der Erdbeschleunigung betrug. Abb. 49 zeigt hierzu ein Beispiel. Da diese unabhängig von der Tageszeit auftraten (17:48 h, 01:02 h, 03:04 h und 03:12 h) lassen sie sich am ehesten mit einem Anstoßen des Gerätes durch Tiere erklären.

<sup>39</sup> Ebenfalls keine Amphibienschutzanlage im Untersuchungsprogramm des Forschungsprojektes.



**Abbildung 49: Schwingungsverlauf in drei Raumachsen eines Vibrationsmessers mit einem deutlichen Lageänderungsspeak in der y-Achse**

**Tabelle 17: Messung von Vibrationen (Schwingungsbeschleunigung) an verschiedenen Bauteilen von Amphibienschutzanlagen (Angaben in Teilen der Erdbeschleunigung „g“ = 9,81 m/s<sup>2</sup>)**

Messort	x-Achse		y-Achse		z-Achse	
	Mittel-lage	Schwankungs-bereich	Mittel-lage	Schwankungs-bereich	Mittel-lage	Schwankungs-bereich
<i>Worms, K 7, Stelztunnel mit Erdfüllung, wenig Straßenverkehr (05./06. April 2009: 25 h):</i>						
Pos 1: Tunnelmitte im Eingang	<b>-0,1 g</b>	0,07 g (-0,06 – -0,13 g)	<b>0,2 g</b>	0,02 g (0,17 – 0,19 g) Einzelereignis: 0,5 g	<b>1,0 g</b>	0,07 g (0,93 – 1,00 g)
Pos. 2: Tunnelrand im Eingang	<b>0,3 g</b>	0,09 g (0,29 – 0,38 g)	<b>0,0 g</b>	0,05 g (-0,04 – 0,01 g)	<b>0,9 g</b>	0,07 g (0,83 – 0,90 g)
Pos. 3: Tunnelrand unter Fahrspurmitte	<b>0,3 g</b>	0,10 g (0,26 – 0,36 g)	<b>0,1 g</b>	0,04 g (0,06 – 0,10 g)	<b>1,0 g</b>	0,05 g (0,95 – 1,00 g) Einzelereignis: 3,0 g
<i>Worms, B 9, Stelztunnel mit Erdfüllung, viel Straßenverkehr (06./07. April 2009: 25 h):</i>						
Pos 1: Tunnelmitte im Eingang	<b>-0,1 g</b>	0,02 g (-0,14 – -0,12 g)	<b>-0,1 g</b>	0,03 g (-0,11 – -0,08 g)	<b>1,0 g</b>	0,05 g (0,95 – 1,00 g)
Pos. 2: Tunnelrand im Eingang	<b>0,2 g</b>	0,04 g (0,22 – 0,26 g) Einzelereignis: 2,5 g	<b>0,0 g</b>	0,05 g (-0,03 – -0,08 g)	<b>0,9 g</b>	0,07 g (0,88 – 0,95 g) Einzelereignis: 2,9 g
Pos. 3: Tunnelrand unter Fahrspurmitte	<b>0,1 g</b>	0,03 g (0,10 – 0,13 g)	<b>0,2 g</b>	0,02 g (0,15 – 0,17 g)	<b>1,0 g</b>	0,04 g (0,99 – 1,03 g)

**Tabelle 17: (Fortsetzung)**

Messort	x-Achse		y-Achse		z-Achse	
	Mittel-lage	Schwankungs-bereich	Mittel-lage	Schwankungs-bereich	Mittel-lage	Schwankungs-bereich
<i>Karlsruhe, B 3, Stelztunnel mit Erdeinfüllung, viel Straßenverkehr (14. Mai 2009: 0,5 h):</i>						
Pos. 1: Laufsohle Leit-wand bei Tunnel	<b>-0,1 g</b>	0,06 g (-0,14 – -0,08 g)	<b>0,0 g</b>	0,02 g (-0,03 – -0,01 g)	<b>1,0 g</b>	0,05 g (1,01 – 1,06 g)
Pos 2: Straßenrand bei Tunneleingang	<b>0,0 g</b>	0,04 g (-0,05 – -0,01 g)	<b>0,0 g</b>	0,03 g (0,01 – 0,04 g)	<b>1,0 g</b>	0,05 g (0,93 – 0,98 g)
Pos. 3: Tunnelrand unter Fahrspurmitte	<b>0,1 g</b>	0,03 g (0,07 – 0,10 g)	<b>0,0 g</b>	0,03 g (-0,03 – 0,00 g)	<b>1,0 g</b>	0,04 g (0,97 – 1,01 g)
<i>Karlsruhe, B 3, Stelztunnel auf Betonplatten, viel Straßenverkehr (14. Mai 2009: 0,5 h):</i>						
Pos. 1: Tunnelmitte im Eingang	<b>-0,1 g</b>	0,07 g (-0,10 – -0,03 g)	<b>0,0 g</b>	0,02 g (-0,05 – -0,03 g)	<b>1,0 g</b>	0,05 g (1,01 – 1,06 g)
Pos 2: Straßenrand bei Tunneleingang	<b>0,0 g</b>	0,06 g (-0,04 – 0,00 g)	<b>0,2 g</b>	0,03 g (0,23 – 0,26 g)	<b>0,9 g</b>	0,05 g (0,89 – 0,94 g)
Pos. 3: Tunnelrand unter Fahrspurmitte	<b>0,2 g</b>	0,03 g (0,15 – 0,18 g)	<b>-0,1 g</b>	0,02 g (-0,08 – -0,06 g)	<b>1,0 g</b>	0,04 g (0,96 – 1,00 g)

#### 4.1.5. Lärmmessungen in und vor verschiedenen Durchlässen

Bei den durchgeführten Messungen zum Schallpegel, verursacht durch Verkehrslärm, innerhalb und außerhalb von zwei Durchlässen in der Amphibienschutzanlage in der B 3 bei Karlsruhe waren starke Dämpfungen zwischen 21 und 24 dB(A) festzustellen. In den Tunnelmitten war dieser Effekt etwas größer als am Tunneleingang (vgl. Tab. 18). Bei Betrachtung der Pegelspitzen zeigten sich keine Unterschiede zwischen Tunneleingang und Tunnelmitte beim Durchlass auf den Betonplatten, während bei dem mit natürlichem Untergrund der Schallpegel meist auch bei den Spitzen in der Tunnelmitte niedriger ausfiel als am Tunneleingang (vgl. Abb. 50). Der Naturboden wirkte demnach als Schallabsorptionsfläche.

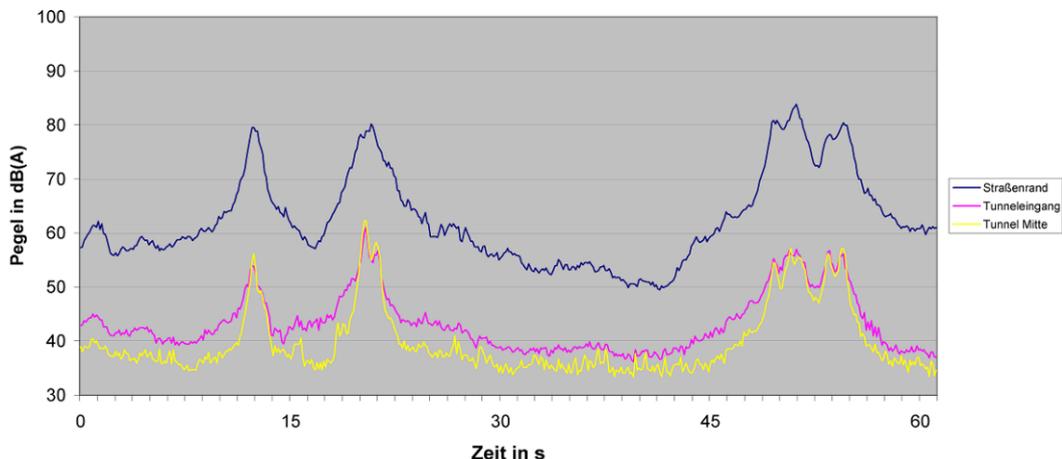
**Tabelle 18: Arithmetische Mittelwerte der Mittelungspegel  $L_{Aeq}$  [dB(A)] an verschiedenen Messpunkten an zwei Durchlässen an der Amphibienschutzanlage an der B 3 bei Karlsruhe (Zahlen aus WINTER 2009)**

Messort	Tunnel mit Betonboden	Dämpfung gegenüber Straßenrand	Tunnel mit Naturboden	Dämpfung gegenüber Straßenrand
<b>Straßenrand</b>	74,8	—	75,9	—
<b>Tunneleingang</b>	52,0	22,8	54,5	21,4
<b>Tunnelmitte</b>	51,1	23,7	52,4	23,5

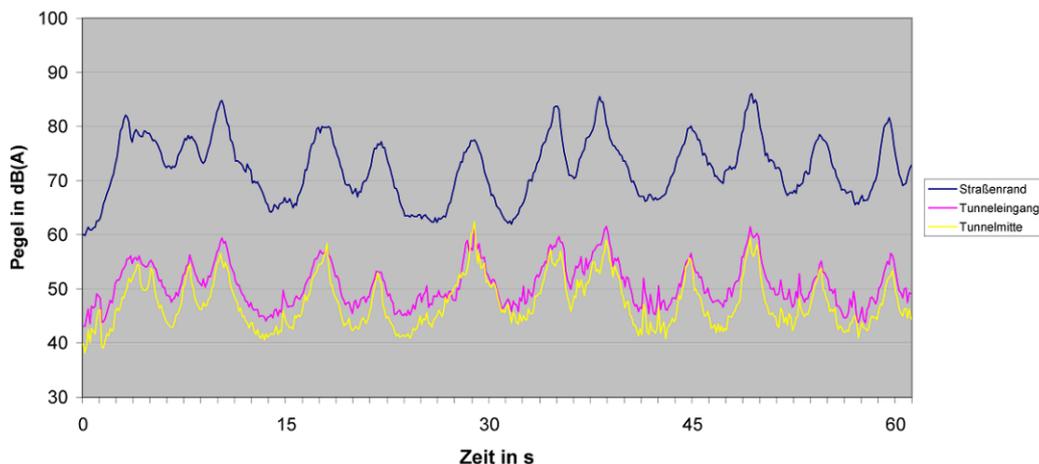
Die probeweise durchgeführten Schalldämpfungsmaßnahmen mit Schaumstoffblöcken im Tunneleingangsbereich führten zu einer weiteren Reduktion des Schallpegels in den beiden Durchlässen, doch der bewirkte Effekt war beim Durchlass mit Erdeinfüllung kaum messbar und auch beim Tunnel mit Betonboden nur minimal (vgl. Tab. 19 u. Abb. 51). Durch die Verkleinerung der Eingangsöffnung im Zuge des Einsatzes der vor Ort vorhandenen Leitblendentrichter wurde ein deutlich höherer Schalldämpfungseffekt erreicht. Dies gilt sowohl für

den auf das menschliche Ohr gewichteten Mittelungspegel wie für den linearen Mittelwert im Frequenzgang zwischen 100 Hz und 10 kHz.

Ausschnitte aus dem zeitlichen Schallpegelverlauf der Geräusche am Tunnel 1  
Messpunkt 4 - Straßenrand, Messpunkt 5 - Tunnelleingang, Messpunkt 6 - Tunnelmitte  
Tunnel 1 mit Betonboden, Ausschnitt 18.17 - 18.18 Uhr



Ausschnitte aus dem zeitlichen Schallpegelverlauf der Geräusche am Tunnel 2  
Messpunkt 1 - Straßenrand, Messpunkt 2 - Tunnelleingang, Messpunkt 3 - Tunnelmitte  
Tunnel 2 mit Naturboden, Ausschnitt 16.55 - 16.56 Uhr



**Abbildung 50: Verlaufskurven des Schallpegels von Verkehrsgeräuschen am Straßenrand und innerhalb von zwei Amphibientunneln (oben mit Betonboden, unten mit Erdfüllung) an der B 3 bei Karlsruhe (aus WINTER 2009)**

**Tabelle 19: Schallpegelminderung durch Schaumstoffabsorder oder Leitblendenelemente in zwei Durchlässen an der Amphibienschutzanlage an der B 3 bei Karlsruhe (Zahlen aus WINTER 2009)**

Schalldämpfung	Tunnel mit Betonboden		Tunnel mit Naturboden	
	Straßenrand – Tunnelleingang	Straßenrand – Tunnelmitte	Straßenrand – Tunnelleingang	Straßenrand – Tunnelmitte

Mittelungspegel  $L_{Aeq}$  [dB(A)]:

Schaumstoffabsorder	1,6	0,6	0,2	0,2
Leitblendentrichter	—	—	2,0	3,5

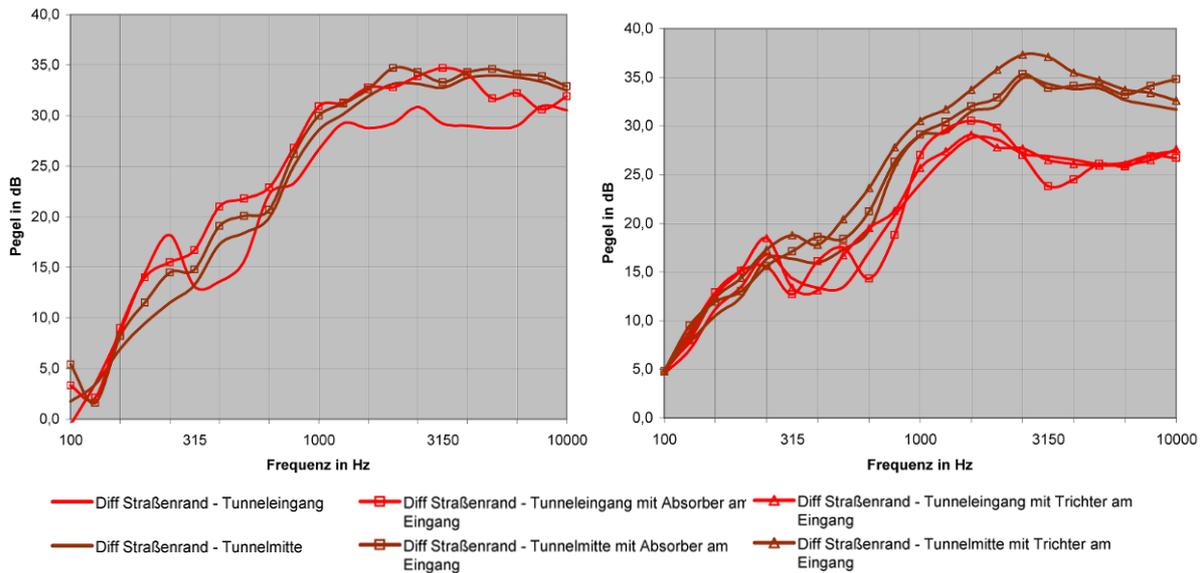
Linearer arithmetischer Mittelwert  $L_{eq}$  [dB] 100 Hz – 10 kHz:

Schaumstoffabsorder	2,7	1,2	0,4	0,9
Leitblendentrichter	—	—	0,6	1,9

Die Dämpfung durch die Schaumstoffabsorber umfasste im Eingangsbereich beim Durchlass mit Betonboden ein großes Frequenzspektrum von etwa 300 bis 9000 Hz, während beim Tunnel mit Naturboden nur einzelne Frequenzbänder von zirka 100 bis 300 Hz, von 400 bis 500 Hz und von 1000 bis 2000 Hz in ihrem Schallpegel vermindert wurden (vgl. Abb. 52).

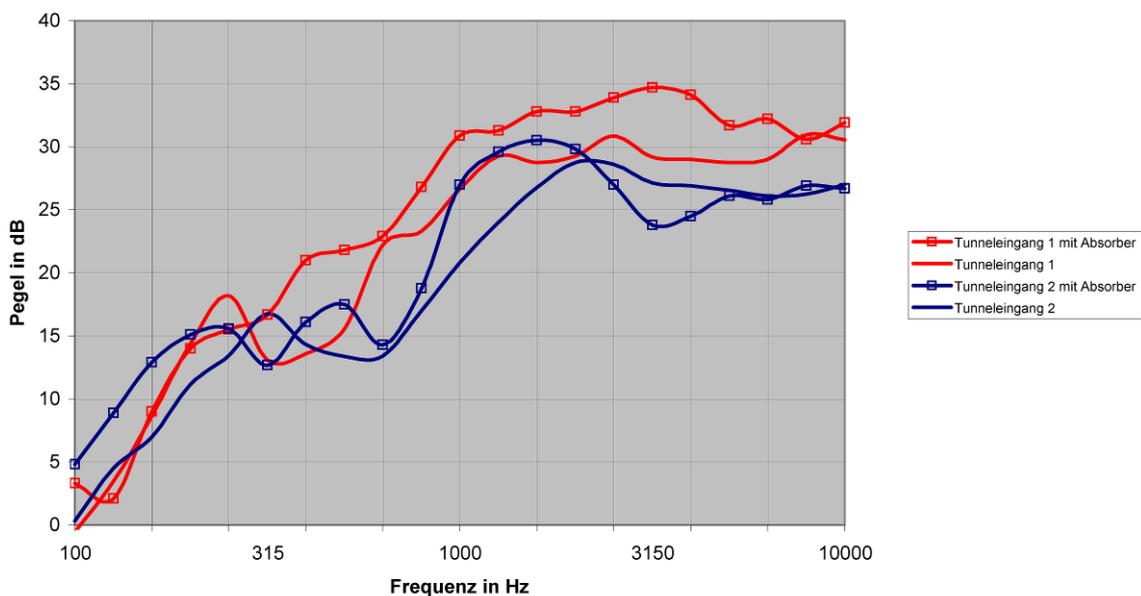
Differenz der Terzpegelspektren am Tunnel 1  
Messpunkt 4 - Straßenrand, Messpunkt 5 - Tunneleingang, Messpunkt 6 - Tunnelmitte  
Tunnel 1 mit Betonboden

Differenz der Terzpegelspektren am Tunnel 2  
Messpunkt 1 - Straßenrand, Messpunkt 2 - Tunneleingang, Messpunkt 3 - Tunnelmitte  
Tunnel 2 mit Naturboden



**Abbildung 51: Differenz der Terzpegelspektren zwischen Straßenrand und Tunneleingang (rote Linien), bzw. Tunnelmitte (braunen Linien) ohne Maßnahme, mit Schallabsorber und mit Leitblendentrichter am Tunnel mit Betonboden (links) und am Tunnel mit Naturboden (rechts) an der B 3 bei Karlsruhe (aus WINTER 2009)**

Vergleich Differenz der Terzpegelspektren am Eingang Tunnel 1 und am Eingang Tunnel 2  
Tunnel 1 mit Betonboden und Tunnel 2 mit Naturboden



**Abbildung 52: Differenz der Terzpegelspektren zwischen Straßenrand und Tunneleingang mit und ohne Schallabsorber am Tunnel mit Betonboden (rote Linien) und am Tunnel mit Naturboden (blaue Linien) an der B 3 bei Karlsruhe (aus WINTER 2009)**

#### 4.1.6. Lichtverhältnisse in und vor verschiedenen Durchlässen

Bei 46 auswertbaren Messungen zu den Lichtverhältnissen im Eingangsbereich von 14 verschiedenen Durchlässen an den Amphibienschutzanlagen bei Karlsruhe, Koblenz und am Knappensee fanden sich keine relevanten Unterschiede zwischen verschiedenen Messpunkten vor den Tunneleingängen (rechts und links an der Leiteinrichtung sowie am Tunneleingang). Nur wenige Dezimeter innerhalb der Durchlässe war es dagegen deutlich dunkler (vgl. logarithmische Trendlinien in Abb. 53). Während um 70 bis 80 Minuten vor Sonnenuntergang außerhalb der Tunnel noch 900 bis 1000 Lux gemessen wurden, wurden innerhalb nur 50 bis 60 Lux erreicht (ca. 6%). Zum Zeitpunkt des astronomischen Sonnenuntergangs waren es außen gemäß logarithmischer Trendlinie 68 Lux und innen noch 4 Lux und die Nulllinie wurde 25 Minuten, resp. 28 Minuten nach Sonnenuntergang erreicht.

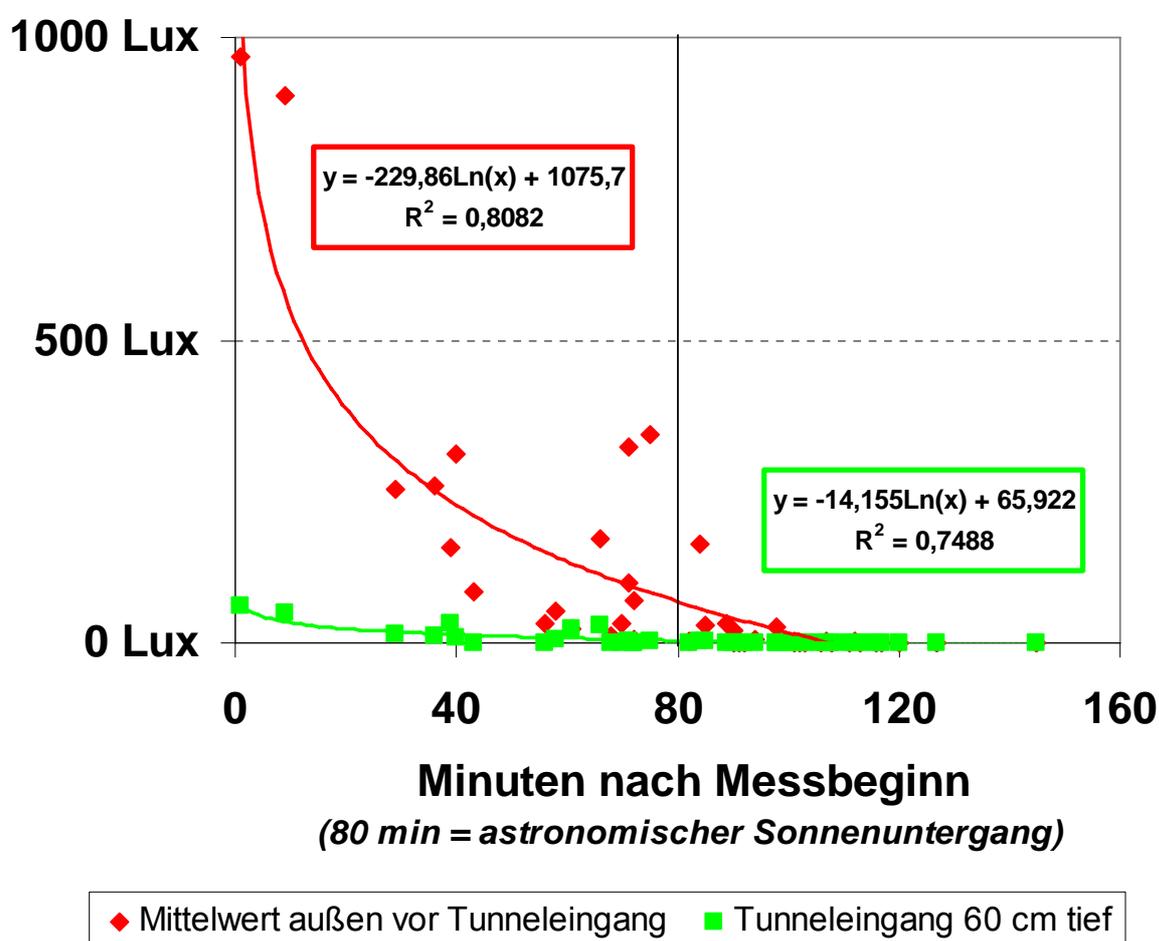


Abbildung 53: Lichtstärke, bodennah gemessen vor und in Durchlässen von Amphibienschutzanlagen

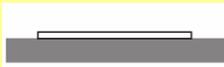
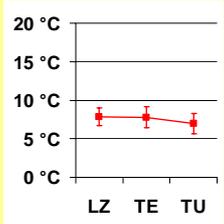
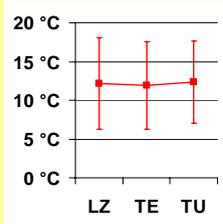
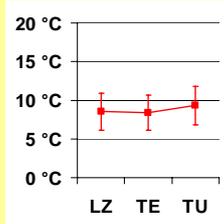
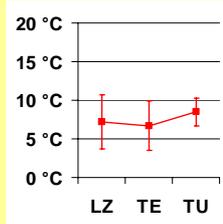
Beobachtungen an der L 254 („Waldsee“) bei Reidenbruch zeigten, dass die dort hauptsächlich wandernden Erdkröten erst ab einer Lichtstärke von 10 Lux und weniger aus ihren Versteckplätzen kamen. Entsprechend waren dort in einer Vollmondnacht (08.04.2009) bei durchgängig etwa 20 Lux an der Anlage nur sehr wenige Tiere unterwegs, trotz ansonsten günstiger Witterung (Nachttemperatur bodennah 10 – 11 °C und in der Dämmerphase leichter Nieselregen).

## 4.2 Mikroklimatische Rahmenbedingungen

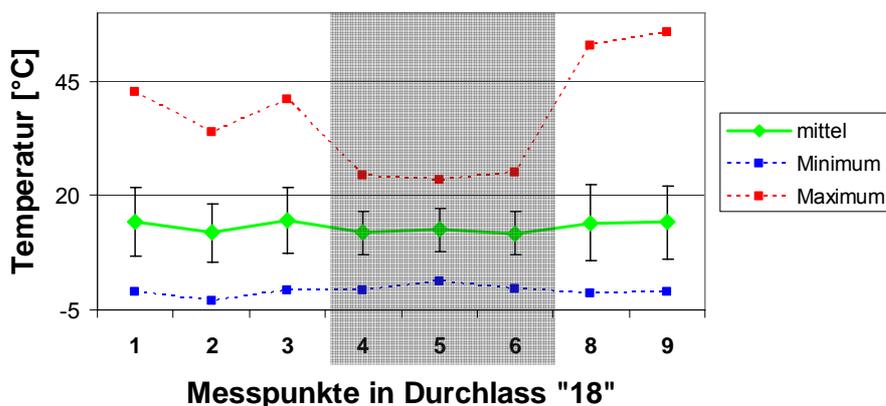
### 4.2.1. Temperaturverteilung in und vor verschiedenen Durchlässen

Die Betrachtung der Temperaturverteilung innerhalb des Eingangsbereichs der Durchlässe zeigte während der Beobachtungen zum Verhalten der dort anwandernden Amphibien, dass die Unterschiede bei den meist stündlichen Messungen an der Leiteinrichtung und direkt vor dem Tunneleingang sich nur unmerklich unterschieden (im Durchschnitt 0,1 – 0,5 °C, vgl. Tab. 20). Zwischen dem Tunnelinnern (3 m hinter dem Eingang) und dem Durchlasseingang auf Leiteinrichtungshöhe schwankten die Temperaturen dagegen deutlicher (0,7 – 1,8 °C), wobei Durchlässe in Hang-, Eben- und Troglage wärmer waren, die Tunnel in Dammlage bei der Amphibienschutzanlage der B 240 bei Duingen aber kühler als ihr Vorfeld.

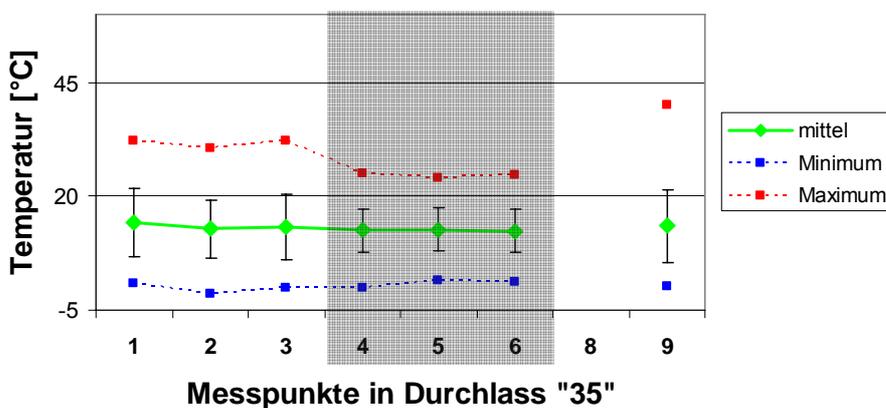
**Tabelle 20: Temperaturverteilung im Eingangsbereich von Durchlässen in unterschiedlicher Geländelage (Messergebnisse während der Verhaltensbeobachtungen)**

	Dammlage	Hanglage	Ebenlage	Troglage
schematischer Querschnitt				
Amphibienschutzanlage(n)	B240 – Duingen	B49 – Koblenz B3 – Karlsruhe	Bruchstr. – Duingen B96 – Knappensee	B49 – Koblenz
Temperaturverteilung im Raum LZ = Leiteinrichtung TE = Tunneleingang TU = 3m im Tunnel				
Anzahl der Messungen	n = 14	n = 89	n = 91	n = 15
Zeitraum	24.03.2007	07.03. – 19.07.2007	16.03. – 07.05.2007	14. – 27.03.2007
Temperaturdifferenz Leiteinrichtung – Tunneleingang	0,1 ± 0,4 °C	0,2 ± 1,2 °C	0,2 ± 0,5 °C	0,5 ± 0,6 °C
Temperaturdifferenz Tunnel innen – Tunneleingang	-0,8 ± 0,3 °C	0,4 ± 0,8 °C	0,9 ± 1,0 °C	1,8 ± 1,8 °C

Bei längeren Messreihen innerhalb und außerhalb der Durchlässe zeigte sich eine deutliche Dämpfungswirkung des Tunnelbauwerks in Hinblick auf die Höchst- und Tiefstwerte der Temperatur. Auch der Schwankungsbereich der Standardabweichung fiel innerhalb der Durchlässe deutlich niedriger aus als außerhalb, auch wenn der Mittelwert sich nur unwesentlich an allen Messpunkten unterschied (s. Abb. 54).

**B240 (05.03. - 20.07.2007)**

trockene Dammlage

**Bruchstraße (05.03. - 20.07.2007)**

ebene Feuchtlage



Abbildung 54: Beispiel von Messreihen zur bodennahen Lufttemperatur in und vor zwei Durchlässen in unterschiedlicher Geländelage an der Amphibienschutzanlage in Duingen-Weenzen

#### 4.2.2. Verteilung der Luftfeuchtigkeit in und vor verschiedenen Durchlässen

Die Messungen der relativen Luftfeuchtigkeit parallel zu den Verhaltensbeobachtungen ergaben, dass es vor den Tunnelleingängen immer feuchter war als im Umfeld (Leiteinrichtung und im Tunnelinnern). Dies zeigt sich sowohl im Vergleich der Mittelwerte der Messungen, als auch in den gemittelten Paardifferenzen (Leiteinrichtung *versus* Tunnelleingang, bzw. Tunnelinneren *versus* Tunnelleingang). Diese Unterschiede sind aber nur sehr gering, in Feuchtlagen etwas deutlicher. Durchlässe in feuchten Geländesituationen haben aber grundsätzlich auch eine deutlich größere Luftfeuchtigkeit als solche an trockeneren Standorten (vgl. Tab. 21).

**Tabelle 21: Verteilung der relativen Luftfeuchtigkeit im Eingangsbereich von Durchlässen mit unterschiedlichem Feuchtigkeitsgehalt des Tunnelbodens (Messergebnisse während der Verhaltensbeobachtungen)**

	Trockenlage	Feuchtlage
Geländesituation	Damm-, Hang- oder Troglage mit Drainage zum Wasserabfluss	Eben- oder seichte Hanglage mit Stau-nässe, Regenwasserzufuhr oder Quell-wasseraustritt
Amphibienschutz-anlage(n)	B49 – Koblenz, B240 – Duingen	B49 – Koblenz, Bruchstr. – Duingen, B3 – Karlsruhe, B96 – Knappensee
Verteilung der rel. Luftfeuchtigkeit im Raum		
LZ = Leiteinrichtung TE = Tunneleingang TU = 3m im Tunnel		
Anzahl der Messungen	n = 87	n = 122
Zeitraum	07.03. – 07.05.2007	16.03. – 19.07.2007
Differenz der rel. Luftfeuchte Leiteinrichtung – Tunneleingang	$-1 \pm 10 \text{ %F}$	$-3 \pm 11 \text{ %F}$
Differenz der rel. Luftfeuchte Tunnel innen – Tunneleingang	$-1 \pm 12 \text{ %F}$	$-5 \pm 15 \text{ %F}$

Diese Tendenz bestätigte sich auch bei den Langzeitmessungen mittels Datalogger. Die Unterschiede in der bodennahen Luftfeuchtigkeit waren im Mittel an allen Messpunkten nur gering, aber der Tunnel in Dammlage schien im Vergleich zum Außenbereich als Reservoir höherer Luftfeuchtigkeit zu fungieren, ein Effekt, der sich besonders deutlich bei einem Vergleich der Mindestwerte zeigte (vgl. Abb. 55). Auch in der feuchten Ebenlage der Schutzanlage an der Bruchstraße in Duingen-Weenzen trat das gleiche Phänomen auf, allerdings wesentlich geringer in seiner Ausprägung.

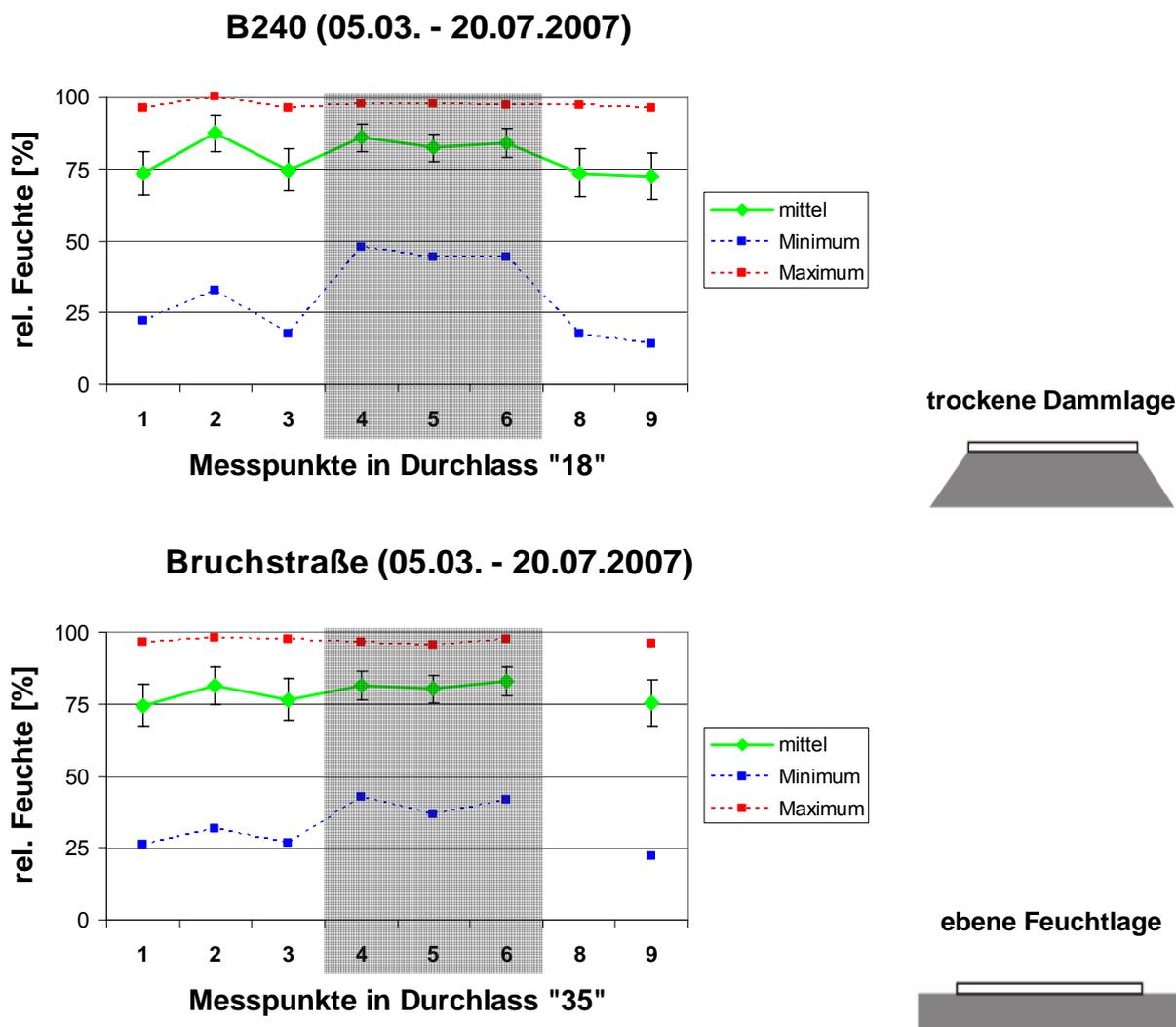


Abbildung 55: Beispiel von Messreihen zur bodennahen Luftfeuchtigkeit in und vor zwei Durchlässen in unterschiedlicher Geländelage an der Amphibienschutzanlage in Duingen-Weenzen

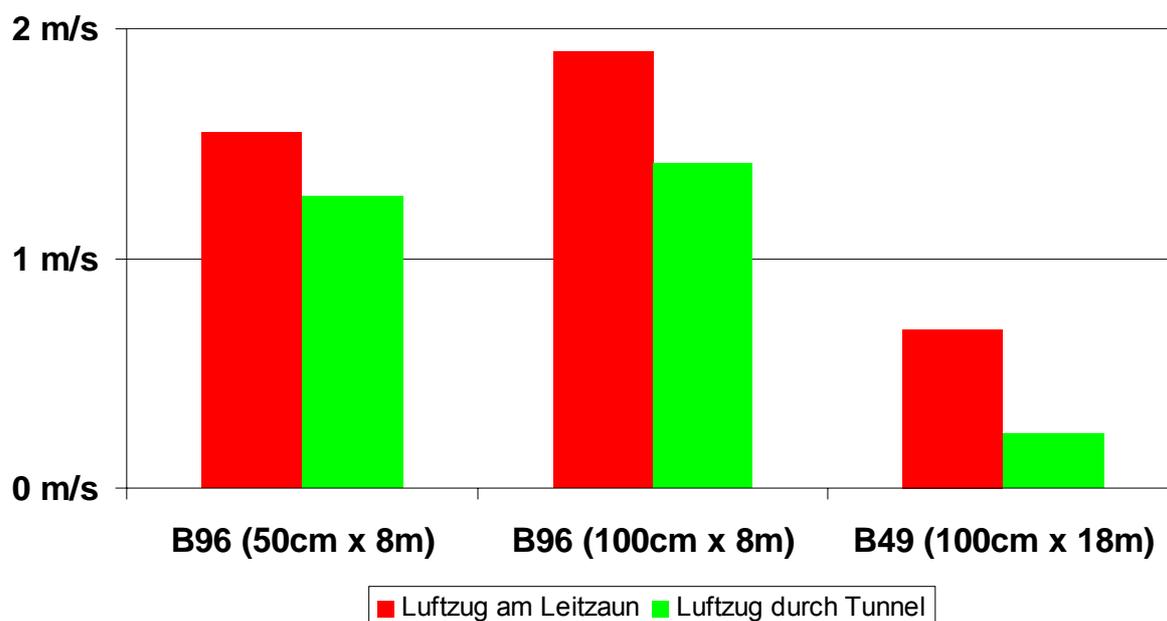
#### 4.2.3. Luftströmungen und Verdunstung in und vor verschiedenen Durchlässen

Auch zu den **Luftzugbewegungen** in und vor den Durchlässen wurden während der Verhaltensbeobachtungen Daten gesammelt. Die auswertbaren Ergebnisse sind in Tab. 22 und Abb. 56 zusammengestellt. Die Durchschnittswerte lagen alle unterhalb von 2 m/s (= 7 km/h), bei einzelnen Spitzenwerten wurden aber durchaus bis zu über 16 m/s (= 58 km/h) an der B 96 beim Knappensee erreicht. Durchgängig waren die Luftzuggeschwindigkeiten auf Bodenniveau entlang der Leiteinrichtungen höher als innerhalb der Durchlässe (vgl. Tab. 22). Dieser Unterschied war innerhalb der gleichen Amphibienschutzanlage (B 96) bei größerem Tunnelquerschnitt (ca. 0,60 m<sup>2</sup>) etwas größer als bei kleinerem Tunnelquerschnitt (ca. 0,25 m<sup>2</sup>). Der größte Unterschied zwischen Luftzuggeschwindigkeiten außerhalb und innerhalb von Kleintierdurchlässen trat allerdings bei den deutlich längeren Tunneln der Anlage

bei Koblenz auf (vgl. Abb. 56). Die Reduktion der gemessenen Luftzuggeschwindigkeit innerhalb der Durchlässe lag im Vergleich zum Außenbereich zwischen 18% und 65%.

**Tabelle 22: Windgeschwindigkeiten im Eingangsbereich verschiedener Passagetunnel**

	Schmäler Durchlass in Ebenlage	Breiter Durchlass in Ebenlage	Breiter Durchlass in Hanglage
Amphibienschutzanlage	B96 – Knappensee, Durchlass T5	B96 – Knappensee, Durchlässe T4, T6, T7	B49 – Koblenz, Durchlässe 1, 3, 11,12
Maße des Tunnels	50 cm breit, 8 m lang	100 cm breit, 8 m lang	100 cm breit, 18 m lang
Anzahl der Messungen	n = 19	n = 38	n = 8
Zeitraum	17.03. – 07.05.2007	17.03. – 07.05.2007	27.03. – 04.07.2007
Mittelwerte (Maximalwerte) Luftzug straßenparallel am Leiteinrichtung	1,55 ± 2,83 m/s (max. 9,7 m/s)	1,90 ± 3,31 m/s (max. 16,3 m/s)	0,69 ± 1,54 m/s (max. 5,0 m/s)
Mittelwerte (Maximalwerte) Luftzug durch die Tunnel innen und am Eingang	1,27 ± 2,31 m/s (max. 9,9 m/s)	1,42 ± 2,48 m/s (max. 12,0 m/s)	0,24 ± 0,33 m/s (max. 2,0 m/s)
Verhältnis Windgeschwindigkeit im Tunnel zum Luftzug entlang Leiteinrichtung	82%	75%	35%



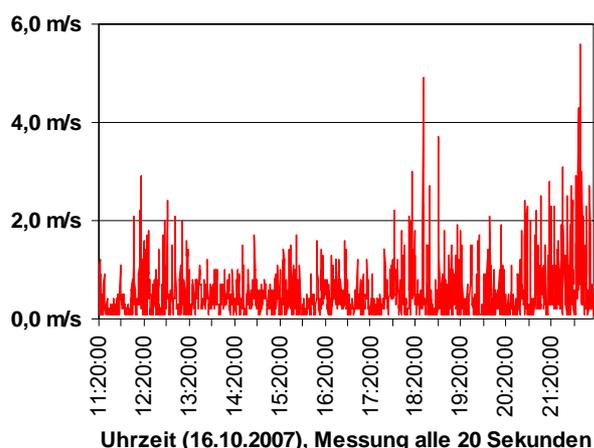
**Abbildung 56: Verhältnis der Mittelwerte gemessener Windgeschwindigkeiten straßenparallel an der Leiteinrichtung (jeweils links und rechts 3 m vom Tunneleingang entfernt) zu Luftbewegungen in Tunnelrichtung (jeweils 3 m innerhalb und am Ausgang auf Leiteinrichtungshöhe) an drei verschiedenen Passagetypen (alle Kastenprofil)**

Bezeichnungen der x-Achse: Straßennummer der ASA (Tunnelbreite x Tunnellänge)

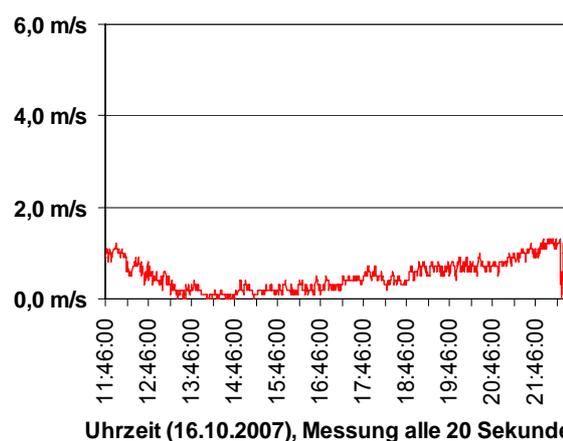
Die sieben mehrstündigen Messreihen zum Luftzug in verschiedenen Durchlässen ergaben keine hohen Werte. Die Durchschnittsgeschwindigkeit lag bei 0,14 – 0,52 m/s (entspricht 0,5 – 2 km/h). Die Schwankungen waren allerdings teilweise auch in kürzeren Zeitabschnitten relativ groß, was auf schnelle Wechsel der Luftzugintensität hinweist („böige“ Ereignisse, vgl.

Abb. 57). Auch bei Beobachtungen an der B 9 bei Worms verursachte jedes schnell vorbeifahrende Fahrzeug einen kleinen, aber deutlich spürbaren Windzug innerhalb der Durchlässe. Der Effekt von LKWs war dabei in der Regel größer als der von PKWs. Aber auch innerhalb der gleichen Schutzanlage konnten in benachbarten Durchlässen sehr unterschiedliche Muster im Tagesgang des Luftzugs auftreten. So waren beim Durchlass 3 in der Schutzanlage an der B 3 bei Karlsruhe keine hohen Spitzenwerte festzustellen, dafür aber eine kontinuierliche Zunahme des Luftzugs von den Mittagstunden bis zum späten Abend (s. Abb. 57).

### B3: Durchlass 2 (Stelztunnel 100cm breit, 14m lang)



### B3: Durchlass 3 (Stelztunnel 100cm breit, 14m lang)



**Abbildung 57: Simultan erhobener Tagesgang von Luftzugereignissen in zwei verschiedenen Durchlässen der Amphibienschutzanlage an der B 3 bei Karlsruhe**

Registrierte Maximalgeschwindigkeiten lagen auch bei den Langzeitmessungen auf vergleichsweise niedrigem Niveau (maximal 24 km/h). Bemerkenswerterweise wurde dieser Wert in einem Durchlass in exponierter Dammlage gemessen. Für die anderen Messreihen konnten allerdings keine lageabhängigen Erklärungsansätze ausgemacht werden (vgl. Tab. 23). Die 9– bis 11–stündigen, kontinuierlichen Aufzeichnungen zeigten meist einen andersartigen Tagesverlauf als die gleichzeitig gemessene Temperatur. Bei mindestens einer Messreihe (B 3, Durchlass-Nr. 3) ist dagegen aber eine deutliche Gleichförmigkeit dieser beiden Ganglinien erkennbar (vgl. Abb. 58).

**Tabelle 23: Luftströmungen in verschiedenen Durchlässen über eine mehrstündige Beobachtungszeit (Messfrequenz: 20 Sekunden)**

	Dammlage	steile Hanglage	seichte Hanglage	Troglage
schematischer Querschnitt				
Amphibienschutzanlage(n)	B240(12) – Duingen	B49(1+4) – Koblenz	B3(2+3) – Karlsruhe	B49(8) – Koblenz
Beobachtungszeit	01.10.2007 (12:00 – 22:00 h)	14.08.2007 (10:00 – 19:00 h)	16.10.2007 (11:00 – 22:00 h)	30.03.2007 (12:00 – 21:00 h) 14.08.2007 (10:00 – 20:00 h)
Mittlere Windgeschwindigkeit	0,50 ± 0,59 m/s	0,25 ± 0,12 m/s 0,16 ± 0,08 m/s	0,52 ± 0,51 m/s 0,51 ± 0,33 m/s	0,14 ± 0,08 m/s 0,26 ± 0,13 m/s

Spitzenwert	6,5 m/s	1,0 m/s 0,5 m/s	5,6 m/s 1,3 m/s	0,9 m/s 1,5 m/s
-------------	---------	--------------------	--------------------	--------------------



**Abbildung 58: Temperaturgänge und Luftzuggeschwindigkeiten im mehrstündigen Verlauf innerhalb verschiedener Durchlässe von Amphibienschutzanlagen**

Auch bei simultanen 3-tägigen Messreihen innerhalb von Durchlässen und außerhalb vor, bzw. neben ihren Eingängen lagen die Spitzenwerte der Luftzuggeschwindigkeit bei höchstens 4,7 km/h vor dem Durchlasseingang und 2,5 km/h innerhalb des gleichen Durchlasses.

Dies entspricht etwa einer Halbierung der Windgeschwindigkeit innerhalb des Durchlasses im Vergleich zu den Verhältnissen in seinem Eingangsbereich. Die Ganglinien über die Zeit waren für die drei Messpunkte weder untereinander vergleichbar, noch stimmten sie mit denen der zeitgleich gemessenen Lufttemperatur überein (vgl. Abb. 59).

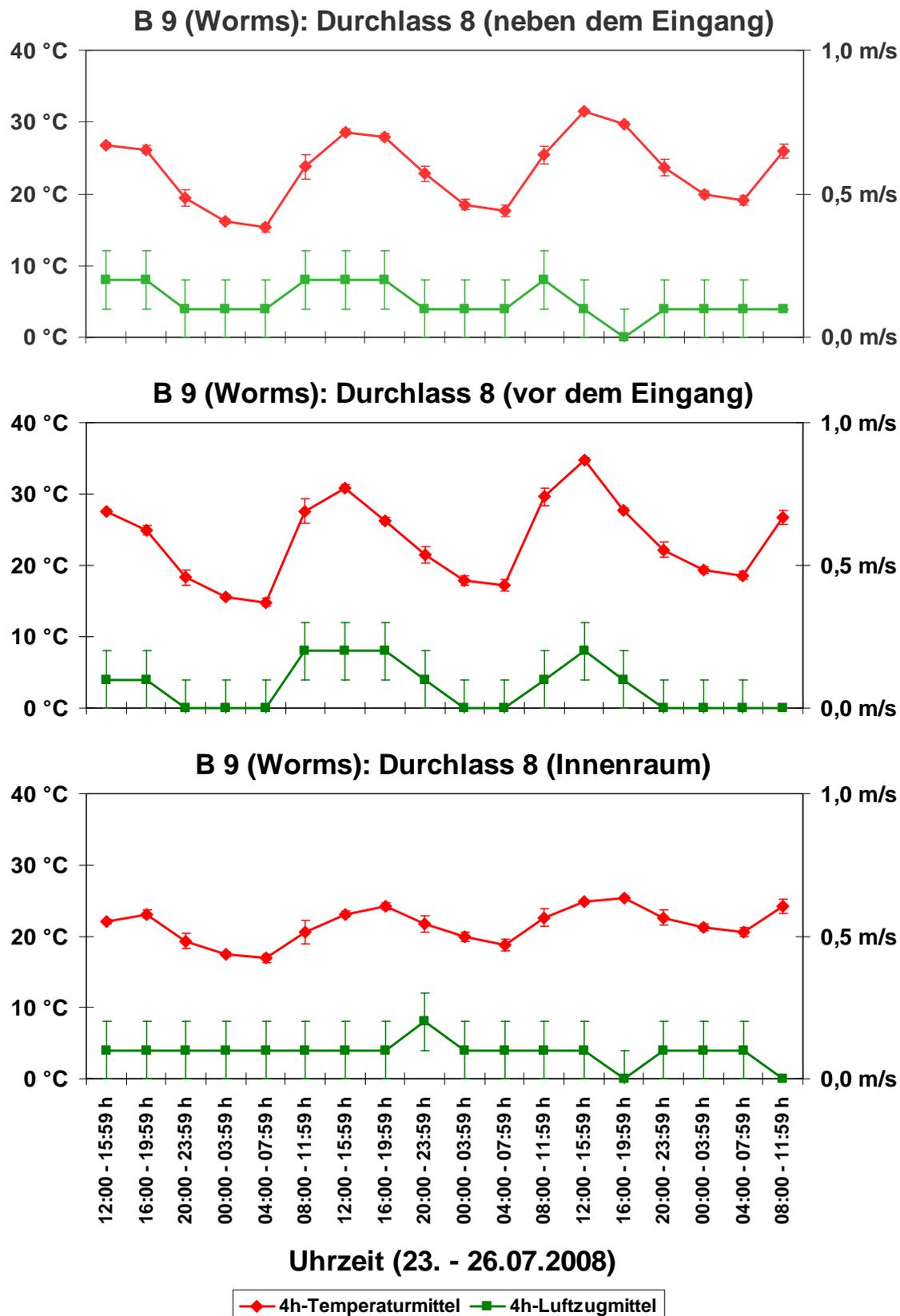


Abbildung 59: 3-tägige Messreihen zur bodennahen Lufttemperatur und zum Luftzug in und vor einem Durchlass der Amphibienschutzanlage an der B 9 bei Worms

Bei den **Austrocknungsversuchen** kamen pro Ansatz 2x 5 Einzelschwämmchen zum Einsatz (s. Abb. 17 in Kap. 2). Bei neun auswertbaren Versuchen<sup>40</sup> wurden diese bis zu ihrer jeweiligen Sättigungsgrenze mit Leitungswasser gefüllt. Aus dem Verhältnis dieser Nassgewichte zum jeweiligen Trockengewicht<sup>41</sup> der Einzelschwämmchen ließ sich die Ausgangswassermenge zu Versuchsbeginn berechnen. Bezogen auf 1 g Trockengewicht ergab sich bei den 90 Messungen im Durchschnitt ein Feuchtgewicht von  $14,1 \pm 4,36$  g. Dies entspräche ungefähr dem Lebendgewicht eines kleinen Springfrosch-Männchens<sup>42</sup>. Allerdings hätte der einen Wassergehalt von etwa 78%<sup>43</sup>, während das Schwämmchen-Modell nach obiger Rechnung einen Wassergehalt von 93% aufweist.

**Tabelle 24: Errechnete durchschnittliche Wasserverluste pro Austrocknungsversuch**

Versuchsdurchlass	Wasserverlust innerhalb von 1 Tag bezogen auf ein Schwammstückchen von 1 g „Trockengewicht“		
	Verdunstung + Luftzug	Verdunstung	Luftzug
B49-Röhre 1 (März/April 2007)	24,7%	23,9%	0,8%
B49-Röhre 1 (August 2007)	17,2%	9,6%	7,6%
B49-Röhre 4 (März/April 2007)	11,3%	8,5%	2,8%
B49-Röhre 4 (August 2007)	7,2%	6,5%	0,7%
B49-Röhre 8 (März/April 2007)	16,0%	13,9%	2,1%
B49-Röhre 8 (August 2007)	18,4%	14,0%	4,4%
B3-Röhre 1 (Oktober 2007)	14,9%	10,5%	4,4%
B3-Röhre 2 (Oktober 2007)	13,8%	7,0%	6,8%
B3-Röhre 3 (Oktober 2007)	19,4%	10,0%	9,4%

Aus der Gewichtsabnahme bei Versuchsende von jedem Einzelschwämmchen wurde der jeweilige Wasserverlust errechnet. Unter der modellhaften Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen dem Wasserverlust und dem Trockengewicht der Haushaltsschwämmchen konnte somit die Wasserabnahme pro Gramm Trockengewicht, bezogen auf eine einheitliche Expositionsdauer von 24 Stunden, bestimmt werden. Die so berechneten Wasserverluste innerhalb eines Tages in den untersuchten Röhren reichen bis zu fast einem Viertel der Gesamtwassergehaltes (Schwankungsbereich: 7% bis 25%, s. Tab. 24). Verdunstungseffekte machen dabei den Großteil aus, aber auch der Einfluss austrocknender Luftzüge war in diesem theoretischen Schwämmchen-Modell deutlich erkennbar (der gemessene Anteil lag zwischen 3% und 49%, vgl. Abb. 60).

Die insgesamt geringsten Wasserverluste traten in der Röhre Nr. 4 der Anlage bei Koblenz auf. Dort befindet sich ein kleiner Quellaustritt im Hang am Durchlasseingang, der für eine regelmäßige Durchfeuchtung dieses Tunnels sorgt. Ansonsten fällt auf, dass im Frühjahr 2007 der Verdunstungsanteil beim Wasserverlust besonders hoch war, was vermutlich auf

<sup>40</sup> Weitere Versuchsansätze scheiterten am Umwerfen der Versuchsaufbauten durch Röhren-passierende Katzen, Marder o.ä.

<sup>41</sup> Bestimmt durch Wägung nach Trocknung im Backofen.

<sup>42</sup> THIELCKE (1987) in GÜNTHER (1996) bestimmte ein Mittelgewicht von 153 Springfrosch-Männchen im Landkreis Konstanz von  $16,4 \pm 3,53$  g.

<sup>43</sup> [http://www.trinkwasser.ch/dt/frameset.htm?html/wasserwelt/waswelt\\_wasserlebensquell\\_04.htm~mainFrame](http://www.trinkwasser.ch/dt/frameset.htm?html/wasserwelt/waswelt_wasserlebensquell_04.htm~mainFrame)

die ungewöhnlich trockene Witterung zu dieser Jahreszeit in Jahr 2007 zurück zu führen ist. Mit Ausnahme der Röhre mit dem Quellaustritt machten in den (spät-)sommerlichen Versuchsansätzen Luftzug-bedingte Wasserverluste ein Viertel bis zur Hälfte des Gesamtwasserverlustes aus.

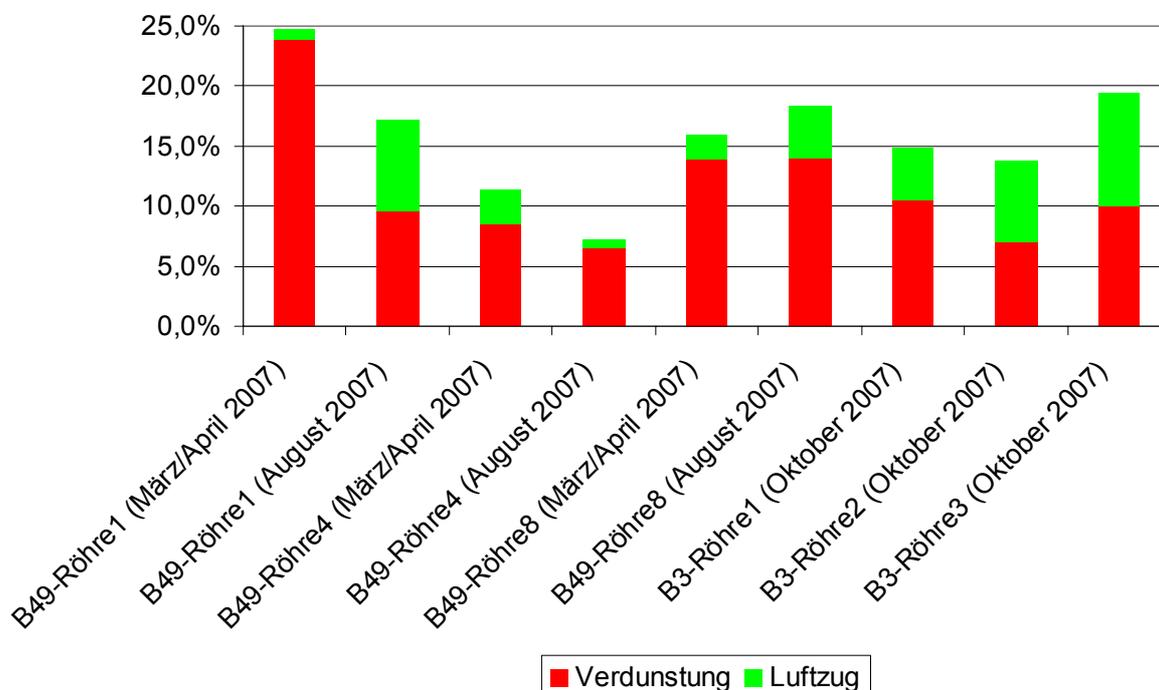


Abbildung 60: Durchschnittliche Wasserverluste innerhalb von einem Tag bei Austrocknungsversuchen in sechs Durchlässen von zwei Amphibienschutzanlagen, bezogen auf ein Schwammstück mit 1 g-„Trockengewicht“ (= 14,1 g-„Feuchtgewicht“)

## 4.3 Verhaltensbeobachtungen

### 4.3.1. Amphibien in und vor verschiedenen Durchlässen

**Phänologische Beobachtungen:** In den Tabellen 25 bis 28 sind überblicksartig Daten zum bekannten Amphibienvorkommen an den untersuchten Schutzanlagen zusammengetragen. Es finden sich dort auch Angaben zur jeweiligen Untersuchungsperiode und zum Umfang der durchgeführten Beobachtungen zum Verhalten der Tiere an den Durchlässen. Aufgeführt sind außerdem Informationen über das saisonale Wandergeschehen zum Zeitpunkt der Untersuchungen.

Beobachtungen im Jahr 2006 beschränkten sich auf erste unsystematische Erhebungen zum Test von Aufnahmeprotokollen und Videogerätschaft sowie zur Durchführung sondierender Messungen zum Mikroklima in und vor den Durchlässen. Dies geschah zur spätsommerlich-herbstlichen Jahreszeit an zwei Schutzanlagen (an K 7 und B 9 bei Worms und an A 8 bei Perl). Möglichkeiten zur Tierbeobachtung waren zu diesem Zeitpunkt aber zu gering, weshalb in den Folgejahren und an allen anderen Schutzanlagen Untersuchungen nur während der wanderstärkeren Frühjahrs- und Sommerperioden durchgeführt wurden.

Die Wanderaktivitäten von Amphibien waren deutschlandweit im Jahr 2007 ungewöhnlich gering. Vom sehr milden Jahresbeginn profitierten die Frühläucher (insbesondere Moor- und Springfrosch sowie auch Molche) und begannen mit ihrer Wanderung vielerorts bereits einen Monat früher als in den Vorjahren (z. B. auch Erdkröten). Das Frühjahr war dann wiederum für Amphibienwanderungen vielfach zu trocken. Auch das hier ausgearbeitete Forschungsprojekt war von dieser allgemeinen Situation stark betroffen. An keiner der untersuchten Anlagen wurden Zahlenwerte anwandernder Tiere erreicht, die in zurück liegenden Jahren dort jeweils üblich waren. An einigen Anlagen blieben Sommerfunde frisch metamorphisierter Jungtiere völlig aus oder umfassten nur Einzeltiere. An den beiden Anlagenteilen bei Worms war sogar noch nicht einmal eine Frühjahrswanderung zu beobachten.<sup>44</sup>

Der Witterungsverlauf im Jahr 2008 entsprach dagegen wieder weitgehend „normalen“ Jahren. Dadurch verlief auch die Amphibienwanderung in stärker vorhersehbarem Rhythmus. Regional gab es aber auch in diesem Jahr Unterschiede. In tieferen Höhenlagen in Nordwestdeutschland oder im Oberrheingraben kamen die Amphibien wieder eher früh aus ihren Winterquartieren, während in den Mittelgebirgslagen trotz warmer Frühlingstage die Nächte noch relativ lange durch tiefe Temperaturen gekennzeichnet waren. Dadurch verzögerte sich dort der Wanderungsbeginn etwas. Die Jungtierentwicklung im Sommer verlief aber überall durchschnittlich gut. Für das Forschungsprojekt bedeutete dies, dass für die Versuchsansätze in der Regel an den Anlagen mit ausreichend großen Populationsgrößen genügend Tiere für die Beobachtungen an den Amphibienschutzanlagen auftauchten. Eine Ausnahme stellte allerdings die Situation in Sachsen, an der L 51 dar. Dort fiel überraschenderweise die Amphibienwanderung komplett aus, sowohl im Frühjahr, als auch im Sommer.

Auch im Jahr 2009 wurde die Frühjahrswanderung nach anfänglich „normalem“ Start wiederum unterbrochen durch einen Kälteeinbruch in der zweiten Märzhälfte. Die außerdem anhaltende Trockenheit begrenzte wiederum an vielen Schutzanlagen die Möglichkeiten zur Beobachtung im April. Die Rückwanderung war sehr individuenarm und begrenzt auf nur wenige Abende, so dass die für diesen Zeitraum vorgesehenen Untersuchungsansätze an den Schutzanlagen sich nicht im vollen geplanten Umfang durchführen ließen. Dafür konnten aber zumindest an der Amphibienschutzanlage an der B 3 bei Karlsruhe noch ergänzende Beobachtungen zur sommerlichen Jungtierwanderperiode durchgeführt werden.

Der generelle Entwicklungstrend zum Amphibienbestand über die letzten acht Jahre (2002 bis 2009) kann zudem aus dem Datenpool der „Schutzzaundatenbank“ des Naturschutzbund Deutschland e.V. abgelesen werden. Die Bestandseinbrüche innerhalb der Untersuchungsperiode, vor allem im Jahr 2009, zeigen sich in Abb. 61 deutlich für nahezu alle Naturraum-Großeinheiten Deutschlands.

---

<sup>44</sup> Die ursprünglich außerdem vorgesehene Untersuchung an der B 191 bei Quickborn (Niedersachsen) wurde kurzfristig von den eingeplanten Bearbeitern vor Ort abgesagt. Der anvisierte Untersuchungsbeginn machte durch die frühzeitigen Wanderungen der Amphibien keinen Sinn mehr und sommerliche Wanderungen im Bereich der dortigen Bundesstraße umfassen höchstens zeitlich sehr verteilt auftretende Einzeltiere (O. Buck, 2007 mdl.). Deshalb wurde diese Anlage letztlich ganz aus dem Untersuchungsprogramm gestrichen.

**Tabelle 25: Überblick zum Wandergeschehen an den untersuchten Amphibienschutzanlagen an Gemeinde-/Kreisstraßen vor und während des Forschungsprojektes**

Frühere Erhebungen	Kontrollzeiten bei FE 02.263/2005/LRB	Zusammenfassende phänologische Beobachtungen im Untersuchungsjahr
<b>K 7 bei Worms:</b>		
bis zu 11 Arten <u>Frühjahr:</u> (jeweils Febr. – Mitte April, 2001 – 2006: 240 – 2700 Tiere/Jahr Vor Anlagenbau (2000 + 2004) sogar bis zu 6000 Tiere/Jahr (1990 – 2000) <u>Sommer:</u> keine Vergleichszahlen	<u>Frühjahr:</u> 9 Nächte (03.03. – 09.04.2007) 16 Nächte (03.03. – 05.04.2009) <u>Sommer:</u> 1 Nacht (15.06.2007) <u>Herbst:</u> (2006)	<u>Frühjahr:</u> 2007 keine Amphibien an der ASA, aber wenige Erdkröten 500 m nördlich ASA Anfang März beobachtet 2009 in Fangeimern hinter Durchlässen 1373 Tiere gezählt (Kammolch, Teichmolch sowie Einzeltiere von 7 weiteren Arten) <u>Sommer:</u> 2007 kein Laich in den Gewässern des NSG „Wormser Ried“ trotz guter Wasserstände, aber Grünfrösche gehört
<b>Parkstraße in Darmstadt:</b>		
Wanderung von bis zu 3000 Erdkröten/Jahr im Bereich der heutigen ASA	<u>Frühjahr:</u> 5 Nächte (30.03. – 09.05.2007) <u>Sommer:</u> 2 Nächte (16. + 26.06.2007)	<u>Frühjahr:</u> 16 Erdkröten und 1 Springfrosch markiert für Individualbeobachtung <u>Sommer:</u> keine Jungtierwanderung an der ASA feststellbar
<b>K 28 („Holmer Teiche“) bei Buchholz:</b>		
bis zu 8 Arten <u>Frühjahr:</u> (an mobilen Zäunen vor Bau der ASA, 1998 – 2001): 4800 – 7500 Tiere/Jahr <u>Sommer:</u> keine Vergleichszahlen	<u>Frühjahr:</u> 6 Nächte (10.03. – 01.04.2008) <u>Sommer:</u> 3 Nächte (11. – 15.07.2008)	<u>Frühjahr:</u> 39 Moorfrösche, 24 Teichmolche, 20 Erdkröten, 17 Kammolche und 3 Grasfrösche markiert für Individualbeobachtung 2008: 2200 Anwanderer in Fangeimern vor der ASA, von denen 1700 die Durchlässe nutzten (= 77%) <u>Sommer:</u> 38 Jungfrösche beobachtet
<b>Bruchstraße bei Duingen-Weenzen:</b>		
Im Untersuchungsabschnitt bis zu 7 Arten <u>Frühjahr</u> 1999: 300 Tiere <u>Sommer</u> 1999: keine Vergleichszahlen vorhanden Nachträglicher Einbau von ASA in 2005	<u>Frühjahr:</u> 4 Nächte (16.03. – 25.03.2007) 4 Nächte (13.03. – 18.03.2009) <u>Sommer:</u> 2 Nächte (20.06. – 25.07.2007)	<u>Frühjahr</u> (Fangzahlen in Eimern): 298 Tiere (= 99% von 1999) (Teichmolch, Bergmolch, Erdkröte, Fadenmolch, Grasfrosch, Kammolch) Staunässe in Durchlässen wirkte positiv auf Durchwanderungsquote (allg. 59%, bei Erdkröte sogar 93%, Molche 49%) Farbmarkierung hält nicht bei Fröschen und Molchen. nur sehr geringe Wanderaktivität in 2009 <u>Sommer:</u> 251 Durchquerer in 35 Tagen in 5 Durchlässen wurden registriert (= 10 Tiere/Tunnel/Woche), 97% Erdkröten (durchschnittlich 49 Tiere/Tunnel – alle gleich nass)

**Tabelle 26: Überblick zum Wandergeschehen an den untersuchten Amphibienschutzanlagen an Landes-/Staatsstraßen vor und während des Forschungsprojektes**

Frühere Erhebungen	Kontrollzeiten bei FE 02.263/2005/LRB	Zusammenfassende phänologische Beobachtungen im Untersuchungsjahr
<b>L 51 bei Byhleguhre:</b>		
bis zu 8 Arten <u>Frühjahr</u> (2002): 5700 Tiere an der ASA (im Jahr 2000 sogar 13000 Tiere an mobi- lem Fangeinrichtung, vornehmlich Moor- frosch) <u>Sommer</u> : keine Vergleichszahlen	<u>Frühjahr</u> : 2 Nächte (12.03. – 01.04.2008) <u>Sommer</u> : 3 Nächte (13.06. – 17.06.2008)	<u>Frühjahr</u> : 2008 keine Amphibienwanderung an der ASA <u>Sommer</u> : 2008 keine Amphibienwanderung an der ASA
<b>L 130 bei Urexweiler:</b>		
bis zu 6 Arten <u>Frühjahr</u> (2001–2004 Zählungen an mobilem Fangeinrichtung): 1400 – 1650 Tiere/Jahr (2008 Zählung in Fang- eimern an ASA): 900 Tiere <u>Sommer</u> keine Vergleichszahlen	<u>Frühjahr</u> : 6 Nächte (15.03. – 16.04.2009) <u>Sommer</u> : keine Untersuchungen	<u>Frühjahr</u> : Insgesamt 50 Erdkröten, 11 Fadenmolche, 4 Berg- molche und 3 Grasfrösche an der ASA beobachtet <u>Sommer</u> : keine Beobachtungen
<b>L 356 bei Ramstein-Mackenheim:</b>		
bis zu 6 Arten <u>Frühjahr</u> 2005: 2600 Tiere (OTT 2005) <u>Sommer</u> keine Vergleichszahlen	<u>Frühjahr</u> : 3 Nächte (10.03. – 31.03.2008) <u>Sommer</u> : 1 Nacht (09.05.2008)	<u>Frühjahr</u> : Insgesamt 4 Molche, 1 Erdkröte an der ASA beo- bachtet (in straßennahen, neuangelegten Teichen fanden sich 2 „Teppiche“ Grasfroschlaich) <u>Sommer</u> : keine Wanderaktivität an der ASA erkennbar, am 30.05.2008 aber ein toter Grasfrosch innerhalb eines der Durchlässe
<b>L 254 („Waldsee“) bei Reidenbruch:</b>		
bis zu 7 Arten <u>Frühjahr</u> (2008 Fang- eimerkontrollen an ASA): ca. 650 Tiere <u>Sommer</u> keine Zahlen 2005 Umbau der ASA auf Durchlässe auf Standard des MAmS	<u>Frühjahr</u> : 6 Nächte (09.03. – 11.04.2008) 8 Nächte (15.03. – 28.04.2009) <u>Sommer</u> : 4 Nächte (23.06. – 28.06.2008)	<u>Frühjahr</u> : 2008 insgesamt 34 Tiere an der ASA beobachtet (Erdkröte, Grasfrosch, Bergmolch, Fadenmolch), Durchquerungsrate markierter Tiere (nach HAHN et al. 2006): Erdkröte 72%, Grasfrosch 42%, Faden- molch 18%, Bergmolch 8% 2009 insgesamt 59 Tiere an der ASA beobachtet <u>Sommer</u> : 96 Tiere an der ASA beobachtet (juvenile Erdkröten)

**Tabelle 27: Überblick zum Wandergeschehen an den untersuchten Amphibienschutzanlagen an Bundesstraßen vor und während des Forschungsprojektes**

Frühere Erhebungen	Kontrollzeiten bei FE 02.263/2005/LRB	Zusammenfassende phänologische Beobachtungen im Untersuchungsjahr
<b>B 96 („Knappensee“) bei Groß-Särchen:</b>		
bis zu 5 Arten <u>Frühjahr</u> 2000: 560 Tiere (vor Anlagenbau 280 – 1340 Tiere/ Jahr 1993 – 1999) <u>Sommer</u> 2000: knapp 500 Jungtiere, hpts. Erdkröten (1995 wurden 950 juvenile Erdkröten + Knoblauchkröten gezählt 1999 nachträglicher Einbau der ASA in B96	<u>Frühjahr:</u> 7 Nächte (01.03. – 10.04.2007) 4 Nächte (02.04. – 15.04.2009) <u>Sommer:</u> 8 Begehungen (11.06. – 05.08.2007)	<u>Frühjahr:</u> 2007: 33 Erdkröten und 22 Knoblauchkröten markiert für Individualbeobachtung: Tiere laufen hpts. an Leiteinrichtung zwischen den Durchlässen hin und her, spähen abends vor Tunnelleingängen und beziehen Tagesversteck in sandgefüllter Betonröhre, Beobachtung nur einzelner Durchquerungen 2009: nur sehr geringe Wanderung beobachtet <u>Sommer:</u> keine Jungtierwanderung an der ASA feststellbar (auch im Laichplatzumfeld sowie bei weiteren Gewässern in der Region nur Beobachtung von Einzeltieren)
<b>B 240 bei Duingen-Weenzen:</b>		
Im Untersuchungsabschnitt von 2007 bis zu 8 Arten <u>Frühjahr</u> 1999: 845 Tiere <u>Sommer</u> 1999: keine Vergleichszahlen vorhanden Neubau von Bundesstraße und ASA in 2005	<u>Frühjahr:</u> 3 Nächte (24.03. – 31.03.2007) <u>Sommer:</u> 2 Nächte(20.06. – 25.07.2007)	<u>Frühjahr</u> (Fangzahlen in Eimern): 134 Tiere (= 16% von 1999) (Erdkröte, Grasfrosch, Bergmolch, Teichmolch, Fadenmolch, Kammmolch) Eher trockene Durchlässe in Dammlage wirkten negativ auf Durchwanderungsquote (allg. 47%, bei Erdkröte 45%, Molche 59%) <u>Sommer:</u> 182 Durchquerer in 35 Tagen in 6 Durchlässen wurden registriert (= 6 Tiere/Tunnel/Woche), 98% Erdkröten (durchschnittlich 45 Tiere/feuchtere Tunnel und 22 Tiere/trockenere Tunnel)
<b>B 3 bei Karlsruhe:</b>		
<u>Frühjahr</u> (jeweils Januar – März, vor 2006): 7000 – 10000 Tiere/ Jahr (hpts. Springfrösche) <u>Sommer</u> (jeweils Juli – Oktober, vor 2006): Grünfrösche	<u>Frühjahr:</u> mehrere Nächte (06.03. – 26.03.2007) 7 Nächte (18.01. – 29.02.2008) 18 Nächte (23.02. – 25.04.2009) <u>Sommer:</u> 9 Nächte (08.05. – 19.07.2007) 18 Nächte (27.06. – 17.08.2008) 14 Nächte (03.07. – 23.07.2009)	<u>Frühjahr:</u> Rückwanderung(!) der Springfrösche war bereits Ende Februar beendet (nach LRA Karlsruhe). <u>Sommer:</u> Juvenile Springfrösche an der ASA wandern zu ca. 80% an Durchlassöffnungen innerhalb von 2 bis 8 Minuten vorbei (7m-Beobachtungsstrecke) und nutzen dabei Rand der Grasvegetation vor dem Eingang (obwohl sie davor und dahinter entlang der straßenparallelen Leitsteine mittig auf Betonuntergrund laufen!). Von Einwanderern in die Durchlässe kehrt etwa die Hälfte wieder nach wenigen Metern um. Erdkröten wandern dicht an Leiteinrichtungskanten und nutzen Durchlässe zielstrebig. Ende Juni laufen viele juvenile Springfrösche von Norden kommend an südlichem Durchlass vorbei Richtung Anlagenende. Farbmarkierungen halten bei 50 – 60 Tieren nicht. Sie reagieren auf Markierungsversuche mit lang andauernder Flucht in höhere Vegetation im Umfeld der ASA.

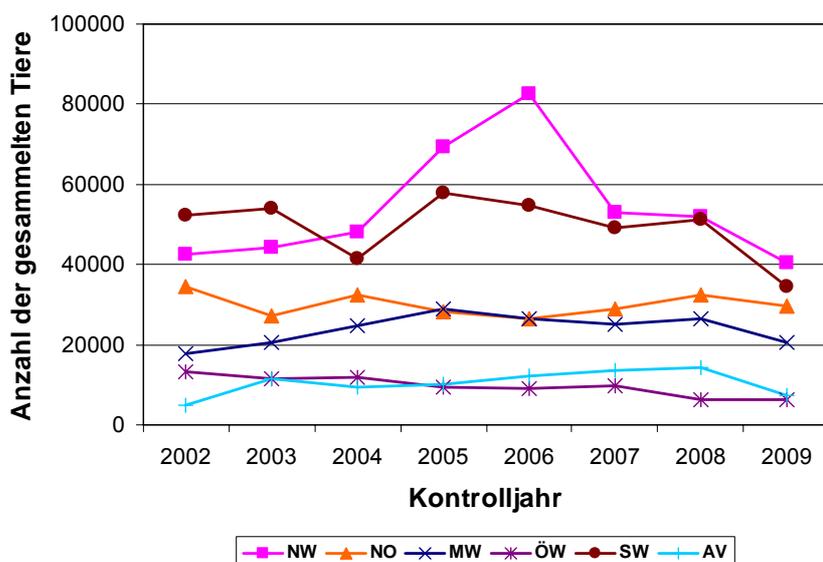
Tabelle 27: (Fortsetzung)

Frühere Erhebungen	Kontrollzeiten bei FE 02.263/2005/LRB	Zusammenfassende phänologische Beobachtungen im Untersuchungsjahr
<b>B 27 bei Walldürn:</b>		
<p>Wanderung von Erdkröten, Grasfröschen sowie auch Laubfröschen und Kammmolche im Bereich der neu gebauten Bundesstraße (Letztere wanderten vor allem entlang eines Wassergrabens, der den Abfluss des Laichgewässers bildet)</p> <p>Neubau von Bundesstraße und ASA (in Dammlage) in 2006</p>	<p><u>Frühjahr:</u> 4 Nächte (06.03. – 12.04.2007)</p> <p><u>Sommer:</u> 1 Nacht (03.07.2007)</p>	<p><u>Frühjahr:</u> Keine Amphibien an der ASA beobachtet, an Fangzäunen entlang des Parallelweges aber Erdkröten und Grasfrösche</p> <p>Laubfrösche scheinen ganzjährig nur noch auf Ostseite der B27-neu zu leben (NSG „Lappen“) und nutzen deshalb die ASA nicht.</p> <p>Kammmolche wanderten wie gewöhnlich Bachgraben entlang, querten Straßenneubau mit neuer Bachverrohrung nicht (starke Strömung, aber auch seitliche Bermen). Bei Versetzungsversuchen mit 20 Tieren an die ASA versteckten sich die Tiere und nutzen die Durchlässe nicht.</p> <p><u>Sommer:</u> Quasi keine Jungtierwanderung feststellbar (Beobachtung vieler Zwergtaucher u. a. Fressfeinde im NSG „Lappen“)</p>
<b>B 49 bei Koblenz:</b>		
<p>bis zu 11 Arten</p> <p><u>Frühjahr</u> (jeweils März – Mitte Juli 1996 – 1998): 400 – 1500 Tiere/Jahr</p> <p><u>Sommer</u> (jeweils Mitte Juli – Mitte Nov. 1995 – 1998): 220 – 1800 Tiere/Jahr</p>	<p><u>Frühjahr:</u> 5 Nächte (07.03. – 30.03.2007)</p> <p><u>Sommer:</u> 1 Nacht (04.07.2007) und im September (21. + 23.09.2007) ohne Amphibien-nachweise</p>	<p><u>Frühjahr:</u> 2007 insgesamt 86 Tiere an der ASA beobachtet (Erdkröte, Teichmolch, Bergmolch, Feuersalamander, Kammmolch, Grasfrosch)</p> <p><u>Sommer:</u> 2007 insgesamt 16 Tiere an der ASA beobachtet (Erdkröte, Teichmolch), außerdem Nachweise von Grasfröschen u. Gelbbauchunken auf Truppenübungsplatz, Wasserfrösche im Umfeld hörbar</p>
<b>B 9 bei Worms:</b>		
<p>bis zu 11 Arten</p> <p><u>Frühjahr</u> (jeweils Febr. – Mitte April, 2001 – 2006: 240 – 2700 Tiere/Jahr</p> <p>Vor Anlagenbau (2000 + 2004) sogar bis zu 6000 Tiere/Jahr (1990 – 2000)</p> <p><u>Sommer:</u> keine Vergleichszahlen vorhanden</p>	<p><u>Frühjahr:</u> 9 Nächte (03.03. – 09.04.2007)</p> <p><u>Sommer:</u> 1 Nacht (15.06.2007)</p>	<p><u>Frühjahr:</u> 2007 keine Amphibien an der ASA, aber wenige Erdkröten 500 m nördlich ASA Anfang März beobachtet</p> <p>2009 in Fangeimern hinter Durchlässen 27 Tiere gezählt (Kammmolch sowie Einzeltiere von 3 weiteren Arten)</p> <p><u>Sommer:</u> 2007 kein Laich in den Gewässern des NSG „Wormser Ried“ trotz guter Wasserstände, aber Grünfrösche gehört</p>

**Tabelle 28: Überblick zum Wandergeschehen an den untersuchten Amphibienschutzanlagen an Bundesautobahnen vor und während des Forschungsprojektes**

Frühere Erhebungen	Kontrollzeiten bei FE 02.263/2005/LRB	Zusammenfassende phänologische Beobachtungen im Untersuchungsjahr
<b>A 94 bei Winhöring:</b>		
In benachbarter Innaue bis zu 5 Arten <u>Frühjahr:</u> an benachbarter Straße an kleiner ASA in 2005 mehrere hundert Tiere <u>Sommer:</u> keine Zahlen vorhanden Bau der A 94 mit ASA in 2006	<u>Frühjahr:</u> 4 Nächte (09.03. – 13.04.2008) <u>Sommer:</u> keine Erhebungen	<u>Frühjahr:</u> Anwanderung an ASA von 3 Erdkröten, 4 Grasfrösche und 1 Laubfrosch beobachtet, auch Filmaufnahmen ergaben keine Massenwanderungen <u>Sommer:</u> keine Daten erhoben
<b>A 8 bei Perl:</b>		
Im Anlagenbereich parallele L 386 in Tal-senke mit kleiner ASA (in 2002 bis zu 3 Arten) <u>Frühjahr 2002:</u> 2800 Tiere <u>Sommer:</u> keine Vergleichszahlen vorhanden Neubau von Bundesautobahn und ASA in 2006	<u>Frühjahr:</u> 1 Nacht (25.03.2008) + informativ zum Jahr 2008 (MÜLLER-STIEß) <u>Herbst:</u> (Oktober 2006)	<u>Frühjahr:</u> Nur Einzeltiere querend (Erdkröte, Grasfrosch, „Molche“) Schottereintrag wirkt sehr trocken trotz Regenwasserereintrag in Durchlassmitte unter Mittelstreifen der BAB <u>Herbst:</u> Keine Beobachtungen von Amphibien, aber Kotspuren von Dachs und Wildschweinspuren vor Eingang

**Entwicklung des Amphibienbestandes**



Naturraum-Großeinheiten Deutschlands:

- NW = nordwestdeutsches Tiefland
- NO = nordostdeutsches Tiefland
- MW = westliches Mittelgebirge
- ÖW = östliches Mittelgebirge
- SW = südwestliches Mittelgebirge/Stufenland
- AV = Alpenvorland

**Abbildung 61: Bestandsentwicklung der letzten acht Jahre bei den Amphibienzählungen an mobilen Schutzzäunen in Deutschland, differenziert nach Naturräumen (eigene Auswertung von 112 Kontrollstellen aus „Schutzzaundatenbank“ des NABU)**



Anekdotisch lassen sich noch weitere Beobachtungen ergänzen.

#### Bei hohem Wasserstand vor den Durchlasseingängen:

- Je ein Teich-, Faden- und Kammmolch liefen in unabhängigen Beobachtungen jeweils zu einem Tunneleingang, drehten dann aber ab und tauchten in eine größere Pfütze vor der Amphibienschutzanlage, z. B. an der Bruchstraße in Duingen unter.
- Auch bei der Amphibienschutzanlage der K 28 bei den Holmer Teichen bei Buchholz wurde beobachtet, dass sowohl Kammmolche bei der Frühjahrswanderung als auch juvenile Erdkröten und Braunfrösche tagelang geflutete Durchlässe (bis zu 40 cm tief) nicht zur Straßenquerung nutzten. Die Tiere näherten sich dem jeweiligen Durchlasseingang schwimmend, bogen aber nur im Einzelfall ein, während der ganz überwiegende Teil der Tiere daran vorbeischwamm und an der seitlich leicht ansteigenden Leiteinrichtung wieder Boden unter die Füße bekam und dort dann weiterlief (BIOLA 2007).

#### Interaktionen zwischen verschiedenen Amphibienarten:

- Ein Kammmolch-Weibchen durchquerte einen Tunnel mit Betonboden erfolgreich, dicht „verfolgt“ von einem Erdkrötenpärchen.
- An der Anlage am Knappensee musste sich ein Knoblauchkröten-Männchen vom Klammergriff eines Erdkröten-Männchens befreien und an der L 130 wurde ein Bergmolch von einem Erdkröten-Männchen angesprungen.

#### Verweildauer im Bereich der Durchlasseingänge:

- Erdkröten-Männchen wurden je einmal beim Eingraben in sandigen Untergrund vor der Leiteinrichtung zwischen zwei Durchlässen sowie innerhalb eines Stelztunnels beobachtet und auch ein Tier beim sich Verstecken unter Laub vor einem Durchlasseingang.
- Ein Fadenmolch-Männchen grub sich ebenfalls vor einem Durchlasseingang in den Untergrund ein.
- Auch ein Erdkröten-Jungtier zeigte auf dem Betonboden vor dem Tunneleingang vergebliche Eingrabbemühungen bis es in einer nahen Laubansammlung Unterschlupf fand.
- Insbesondere am Knappensee (B 96) wurde mehrfach beobachtet, dass Kröten sich abends aus dem Bodensubstrat innerhalb der Stelztunneldurchlässe ausgruben und nach draußen vor die Schutzanlage traten, um danach hier entlang zu patrouillieren.
- An der Anlage bei den Holmer Teichen „verschwand“ ein Teichmolch in einer Fuge am Boden zwischen Eingangsportal und erstem Tunnelsegment, ein anderer beugte sich über die Kante der dortigen Lauffläche, sprang aber nicht runter, sondern lief wieder zurück aus den Durchlass heraus.



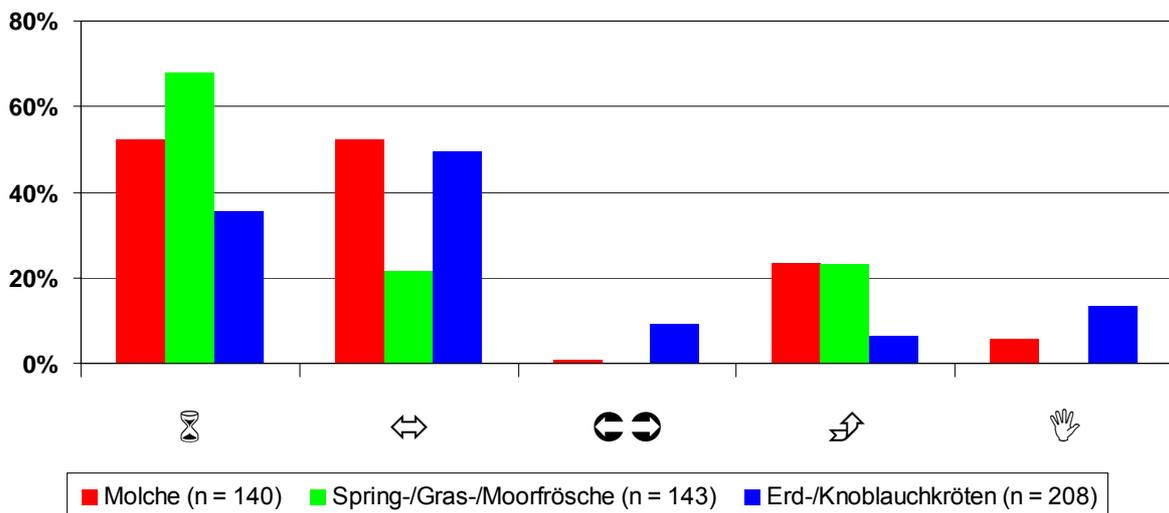
Tabelle 29: Zusammenfassung von Verhaltensbeobachtungen an unveränderten Durchlass-  
eingängen anhand der vor Ort erstellten Protokolle

Amphibienart	Anzahl ind. beob. Tiere	Verhaltensweisen (Anzahl individuell beobachteter Tiere)					Eintritt in den Durchlass (Anzahl individuell beob. Tiere)			Aufenthaltszeit vor Durchlass (Anzahl d. Beobachtungsmi- nuten)		
		Verharren (≥ 1 min.)	Hoch- stellen/ -klettern	Spähen/ Kämpfen	Hin-/Her- laufen vor Durchlass	Pendeln zw. Durch- lässen	vor dem Eingang (B, C)	im Durchlass (D1, D2, D3)	Durch- querung (D4)	Vorfeld (A2, A4)	Leitzau (A1, A3, C1, C3)	vor dem Eingang (B, C2, C4)
Bergmolch (adulte Tiere)	17	3	5	2	9	0	7	2	2	6 min	73 min	44 min
Teichmolch (adulte Tiere)	70	34	21	6	42	1	50	20	6	67 min	242 min	167 min
Fadenmolch (adulte Tiere)	10	7	0	0	3	0	4	0	0	35 min	91 min	5 min
Kammolch (adulte Tiere)	43	29	7	0	19	0	19	17	7	155 min	229 min	31 min
<b>Molche (gesamt):</b>	<b>140</b>	<b>73</b>	<b>33</b>	<b>8</b>	<b>73</b>	<b>1</b>	<b>80</b>	<b>39</b>	<b>15</b>	<b>263 min</b>	<b>635 min</b>	<b>247 min</b>
Springfrosch (adulte Tiere)	81	64	30	0	17	0	56	20	8	156 min	558 min	438 min
Springfrosch (juvenil/subadult)	24	7	2	0	14	0	8	3	1	2 min	49 min	39 min
Gras-/Moorfrosch (adulte Tiere)	4	4	0	0	0	0	3	1	1	0 min	45 min	12 min
Gras-/Moorfrosch (juvenil/subadult)	34	22	1	0	0	0	29	3	1	0 min	216 min	27 min
<b>Braunfrösche (gesamt):</b>	<b>143</b>	<b>97</b>	<b>33</b>	<b>0</b>	<b>31</b>	<b>0</b>	<b>96</b>	<b>27</b>	<b>11</b>	<b>158 min</b>	<b>868 min</b>	<b>516 min</b>
Knoblauchkröte (Männchen, adult)	7	0	0	1	7	7	4	0	0	0 min	60 min	20 min
Knoblauchkröte (Weibchen, adult)	3	0	0	0	3	0	3	2	2	0 min	15 min	2 min
Erdkröte (Männchen, adult)	100	48	6	25	49	9	46	20	8	535 min	1026 min	803 min
Erdkröte (Weibchen*, adult)	50	20	5	2	40	3	30	15	5	206 min	349 min	454 min
Erdkröte (juvenil/subadult)	48	6	2	0	4	0	43	15	8	10 min	121 min	120 min
<b>"Kröten" (gesamt):</b>	<b>208</b>	<b>74</b>	<b>13</b>	<b>28</b>	<b>103</b>	<b>19</b>	<b>126</b>	<b>52</b>	<b>23</b>	<b>751 min</b>	<b>1571 min</b>	<b>1399 min</b>

\* Einzeltiere und auch solche mit einem Männchen im "Huckepack"



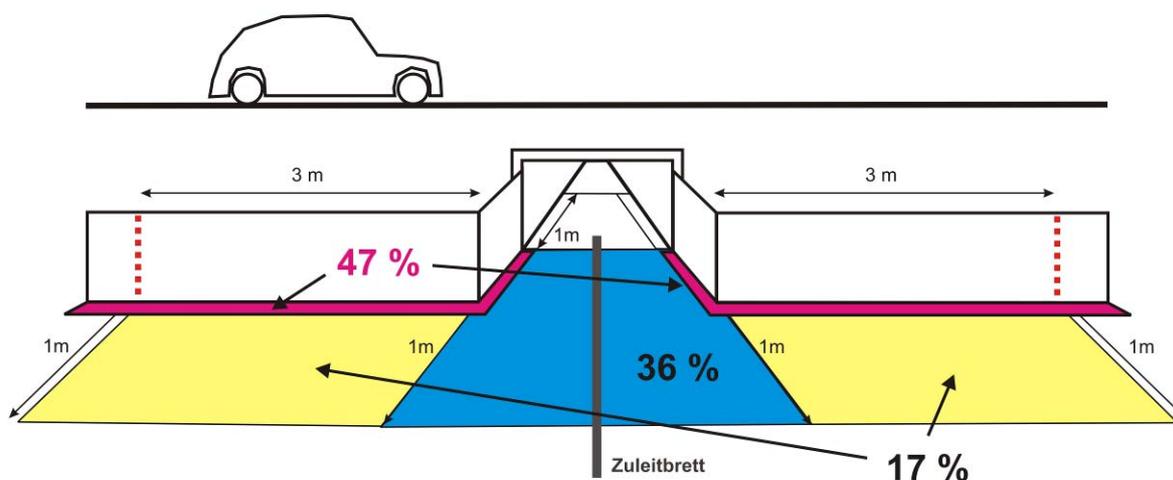
**Abbildung 63:** Kletterfreudigkeit von Molchen an Leitbrett vor Durchlasseingang (oben: Fotos HENSCHEL 2007) und unterschiedlicher Wanderabstand bei Erdkröten und Springfröschen entlang von Leiteinrichtungen (unten: Fotos STÜBER 2008)



**Abbildung 64:** Verhaltensweisen der beobachteten Amphibien vor den Durchlässen verschiedener Amphibienschutzanlagen

- ⌚ = Verharren, Sitzen ( $\geq 1$  min) oder Eingraben vor dem Durchlasseingang
- ↔ = Hin- und Herlaufen vor dem Durchlasseingang
- ↔ = Hin- und Herlaufen zwischen verschiedenen Durchlässen
- ↗ = Hochklettern an Leit- und Sperreinrichtungen
- ✋ = Spähen und „Gerangel“

**Aufenthaltsbereiche der Tiere:** Vor den Durchlasseingängen verteilen sich die beobachteten Tiere nicht gleichmäßig, sondern sie hielten sich bevorzugt dicht an den Leiteinrichtungen sowie im unmittelbaren Eingangsbereich auf (s. Abb. 65). Durch die Kontrolle der Tunneleingänge im 10 Minutenrhythmus im Zuge der Verhaltensstudien konnten die jeweiligen Aufenthaltsbereiche der beobachteten Tiere quantifiziert werden. Dadurch war erkennbar, dass alle individuell beobachteten Tiere innerhalb des etwa 7 m<sup>2</sup> großen Betrachtungssektors vor dem Durchlasseingang (Sektoren „A“, „B“ und „C“; s. Kap. 2) sich während der Gesamtbeobachtungszeit von 5263 Minuten am häufigsten der Lauffläche unmittelbar an der Leiteinrichtung (47 %) sowie im zentralen Bereich vor dem Tunneleingang (Teilbereiche „B“ und „C“ ohne Leiteinrichtungslaufsohle) aufhielten (36 %), gefolgt von. Die restlichen 17 % der Zeit waren sie im näheren Umfeld anzutreffen.

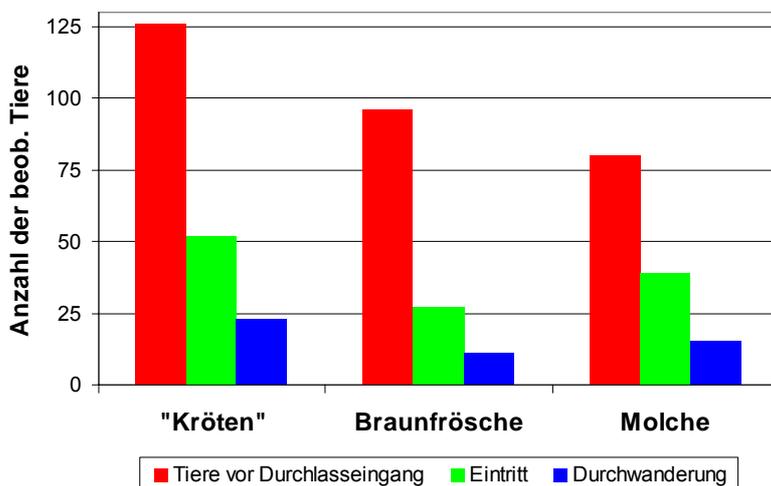
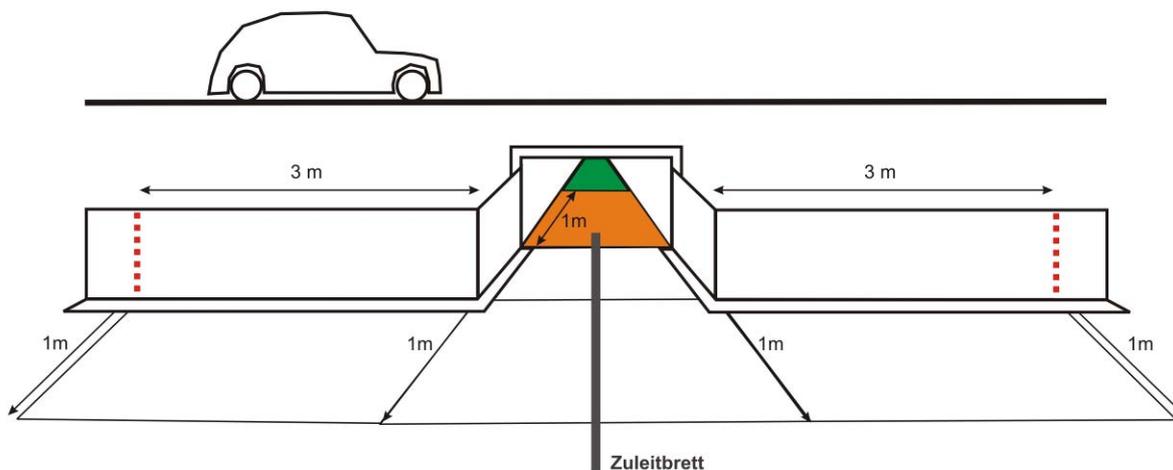


**Abbildung 65: Registrierte Verweildauer von Amphibien in verschiedenen Aufenthaltsbereichen vor den Durchlässen von Amphibienschutzanlagen**

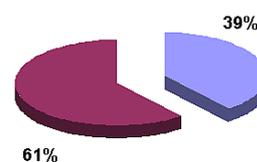
Beim Vergleich von Kamm- und Teichmolchen an der K 7 bei Worms zeigten sich bei Beobachtungen im Jahr 2009 diesbezüglich aber hoch signifikante Unterschiede. Während Teichmolche 52 % der gesamten Beobachtungszeit vor den Durchlasseingängen verbrachten, hielten sich Kammolche dort nur in 12 % der Zeit auf ( $X^2 = 108,0$ ;  $p < 0,001$ ). Beide Molcharten bevorzugten aber außerhalb des Durchlassvorfeldes im gleichen Ausmaß etwas mehr die Nähe zur Leiteinrichtung (59 % *versus* 41 %;  $X^2 = 6,4$ ;  $p = 0,012$ ).

**Eintritt in den Durchlass:** Von den beobachteten Amphibien vor den Durchlasseingängen traten nur 39 % hinein, wobei die Eintrittsrate bei den Froschlurchen etwas niedriger lag als bei den Molchen. Von den Anuren konnten 36 % beim Eintritt in einen Durchlass registriert werden (Braunfrösche: 28 %, Erdkröten: 42 %), bei den Molchen waren es 49 % (s. Abb. 66). Nur von 16 % aller Tiere, bzw. von 42 % der eingewanderten Tiere konnte auch eine tatsächliche Tunneldurchquerung direkt beobachtet, bzw. höchst wahrscheinlich angenommen werden (aufgrund von Hineinlaufen bis hinter die Sichtgrenze). Bei juvenilen Erdkröten lag die Eintrittsquote an der L 254 bei Reidenbruch bei einem Drittel. Auch an der K 7 bei Worms traten Kamm- und Teichmolche ohne Unterschied in der Artzugehörigkeit oder bei den Geschlechtern zu 34 % bei den Beobachtungen in die Durchlässe hinein. Beim Vergleich der Tiere, die bis zu den Tunneleingängen liefen, waren es aber die Kammolche, die

deutlich zielstrebig in die Durchlässe hinein gingen (90 % der Kammmolche versus 38 % der Teichmolche,  $X^2 = 8,7$ ;  $p = 0,004$ ). Nahezu bei 100 % lag die Eintrittsquote aber nur beim Einfallrohr (Abb. 67).



Eintritt in Durchlass



Durchwanderung

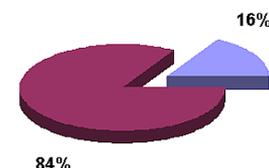


Abbildung 66: Eintrittshäufigkeit von „Kröten“ (Erd- und Knoblauchkröten), Braunfröschen (Spring-, Gras- und Moorfroschen) und Schwanzlurchen (Molche) beobachteter Tiere vor den Durchlässen verschiedener Amphibienschutzanlagen



Abbildung 67: Masseneinwanderung von Springfröschen u. a. Amphibien über Einfallrohr in Ein-Weg-Durchlass (Fotos STÜBER 2009)

### **4.3.2. Sonstige Tierbeobachtungen in und vor verschiedenen Durchlässen**

Auch wurden Tiere anderer Tiergruppen bei der Durchquerung der Kleintierdurchlässe beobachtet. Vor allem Spitzmäuse und „Echte“ Mäuse rannten in Einzelbeobachtungen innerhalb weniger Sekunden durch das Beobachtungsfeld und verschwanden im Tunnelinneren. Unter den Filmaufnahmen befinden sich zudem Bildsequenzen mit Aufnahmen von Laufkäfern, Hundertfüßlern und verschiedenen Fluginsekten, die durch die Durchlässe hindurch krabbeln, bzw. fliegen. Das Umwerfen der Haushaltsschwammstücke zum Austrocknungsversuch in einer Passage der Amphibienschutzanlage bei Duingen ging aber eindeutig auf die Aktivität eines größeren Säugetiers zurück. Anhand der Fußspuren und anderweitiger Beobachtungen wurde eine Hauskatze als wahrscheinlichste Verursacherin ausgemacht. An der B 49 bei Koblenz wurde auch ein Fuchs bei der Tunnelpassage gefilmt, an der B 3 bei Karlsruhe ein Marder. An der gleichen Schutzanlage saßen im Sommer auch mehrfach (junge) Ringelnattern mit mehreren Metern Abstand zueinander entlang der Leiteinrichtung und fraßen dort entlang wandernde juvenile Frösche und Kröten.

### **4.3.3. Verhaltensbeobachtungen von Amphibien bei den Arenaversuchen**

Die Anzahl einsetzbarer Amphibien bei den Arenaversuchen war abhängig von den jeweils zur Verfügung stehenden Tieren aus den Fangeimern an den drei Standorten im Jahr 2009. Um reproduzierbare Ergebnisse zu erlangen, wurden für die Versuchsansätze nach Möglichkeit nur wenige Arten herangezogen, von denen auch eine ausreichende Individuenzahl im Laufe der Wandersaison erwartet werden konnte. An der B 3 bei Karlsruhe kamen dadurch 870 Springfrösche im Frühjahr und 210 Jungtiere im Sommer zum Einsatz (hauptsächlich Erdkröten, ansonsten noch Grasfrösche und Springfrösche). An der K 7 bei Worms waren es 418 Kammmolche, 396 Teichmolche und 15 Anuren (hauptsächlich Springfrösche). An der Bruchstraße bei Duingen war der Zugriff auf Versuchstiere sehr gering: 24 Erdkröten, 9 Kammmolche und 2 Fadenmolche.

Eine bevorzugte Einwanderung in den veränderten oder den unveränderten Durchlass war bei fast keinem der Versuchsansätze auszumachen. Die Durchquerungsrate unterschied sich zumindest nur selten vom Kontrollansatz mit zwei unveränderten Durchlasseingängen (vgl. Tab. 30). Tendenziell präferierten die Tiere Durchlässe ohne Störung durch Lichtblitze und diejenigen mit einer zusätzlichen Lärmquelle. Magnetische Missweisungen und ein schwacher Luftzug im Durchlass hemmte genauso wenig einen Eintritt der Tiere, wie eine Ausleuchtung oder die Bodenfeuchtung sie dazu motivierte.

**Tabelle 30: Einfluss manipulierter Durchlasseingänge auf die Durchquerungsrate eingesetzter Tiere in Wahlexperimenten bei den Arenaversuchen**

veränderter Eingang / unveränderter Eingang

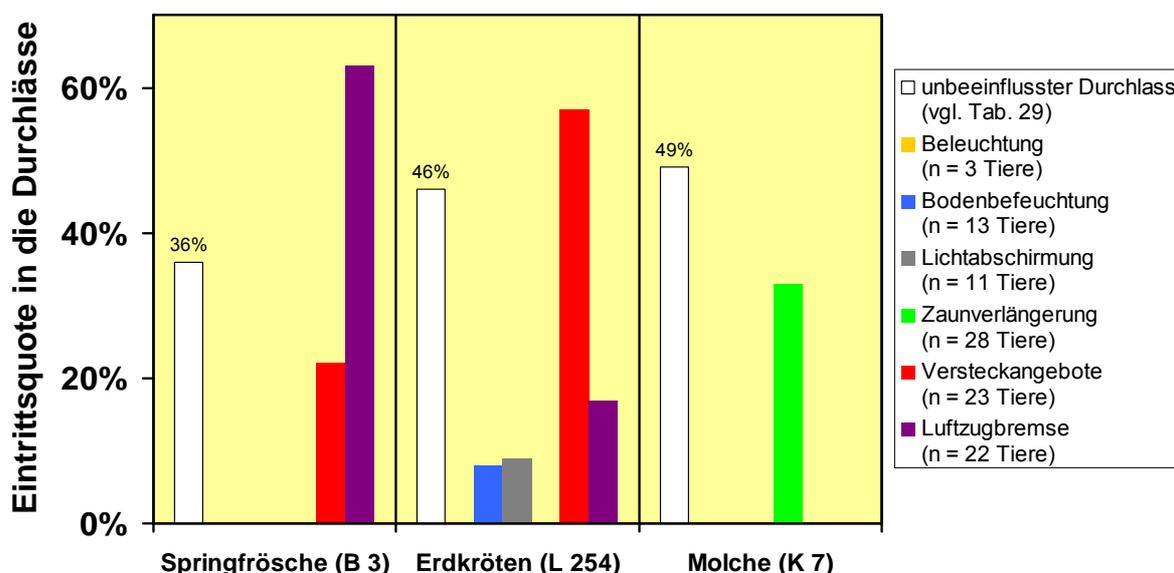
v = Anzahl der Versuchsansätze

n = Gesamtzahl aller Tiere in den Fangeimern am Ausgang beider Durchlässe

Amphibienart	magnet. Missweisung	Beleuchtung	Lichtblitze	Bodenbefeuchtung	Luftzug (0,5 m/s)	Verkehrslärm [15,7 dB(A)]	Kontrolle (links/rechts)
<b>Springfrosch</b> B 3 bei Karlsruhe	61% / 39% (v = 6, n = 54)	35% / 65% (v = 3, n = 23)	41% / 59% (v = 6, n = 79)	25% / 75% (v = 2, n = 8)	63% / 37% (v = 6, n = 59)	84% / 16% (v = 3, n = 19)	43% / 57% (v = 3, n = 21)
<b>Springfrosch</b> K 7 bei Worms	—	100% / 0% (v = 1, n = 2)	25% / 75% (v = 2, n = 4)	—	50% / 50% (v = 1, n = 2)	—	—
<b>Molche</b> K 7 bei Worms	55% / 45% (v = 3, n = 20)	34% / 66% (v = 3, n = 35)	64% / 36% (v = 4, n = 83)	54% / 46% (v = 5, n = 138)	36% / 64% (v = 4, n = 39)	55% / 45% (v = 4, n = 44)	67% / 34% (v = 1, n = 6)
<b>Erdkröte (juv.)</b> B 3 bei Karlsruhe	40% / 60% (v = 5, n = 35)	—	20% / 80% (v = 2, n = 15)	—	—	—	—

#### 4.3.4. Verhaltensbeobachtungen von Amphibien bei experimentellen Veränderungen an und in verschiedenen Durchlässen

Die Quote derjenigen Tiere, die in die Durchlässe eintraten, variierte je nachdem, welche Maßnahmen an deren Eingang vorgenommen wurden. Die Ergebnisse unterschieden sich allerdings auch zwischen den verschiedenen Schutzanlagen und den dort beobachteten Amphibienarten (s. Abb. 68).



**Abbildung 68: Eintrittshäufigkeit von Erdkröten, Springfröschen und Molchen (Teichmolche und Kammolche) vor Durchlässen, die durch bauliche Maßnahmen „optimiert“ wurden**

Einen offensichtlich positiven Effekt hatte die Luftzugbremse an der B 3 bei Karlsruhe für die dort wandernden Springfrösche, während die Erdkröten an der L 254 bei Reidenbruch kaum

darauf reagierten. Dort waren es vielmehr die Durchlässe mit eingebrachten Versteckplätzen (umgedrehte Halbschalen), die vergleichsweise häufig und zügig betreten wurden. Mehrere Beobachtungen von abends aus den Durchlässen zum Eingang hinaus laufende Tiere schienen diese tagsüber als Versteckplatz genutzt zu haben. Eine Überprüfung der zu Versuchszwecken in die Durchlässe hineingelegten Halbschalen auf eventuell darunter sitzende Tiere ergab allerdings auch nach mehrtägiger Exposition keinen Hinweis auf eine tatsächliche Nutzung als Versteckplatz für Erdkröten oder andere Amphibien. Dagegen wurde aber mehrmals beobachtet, dass Erdkröten-Männchen diese als erhöhte Sitzwarte für ihr Spähen aus dem Durchlass heraus nutzten. An der K 7 bei Worms führten wiederum die verlängerten Leitblende (hier: Einweiserzäune) zu einer quantitativ hohen Nutzung durch Kamm- und Teichmolche, allerdings ohne Steigerung der allgemein für Molche festgestellten Eintrittsquote.

Die Versuchsansätze mit Lichtabschirmung am Tunneleingang, Bodenbefeuchtung oder Beleuchtung erbrachten keine nennenswert hohe Nutzungsquote der so präparierten Durchlässe. An der B 3 bei Karlsruhe wurde insbesondere bei Jungtieren beobachtet, dass die meisten am Durchlass vorbei liefen, z. T. sehr zielstrebig und ohne zu verharren. Eine sichtbare Prüfung und Reaktion auf die Situation in den Durchlässen war nicht zu erkennen. Bei den Beobachtungen war mehrfach zu erkennen, dass die Tiere auch nach Auftreffen auf Leitblenden auf diese hinauf und auf der anderen Seite wieder herunter sprangen oder außen um den Zaun herumliefen, um ihre Wanderung entlang der Leiteinrichtung fortzusetzen. In diesen Fällen schien es sich ebenfalls weniger um eine Reaktion auf das Milieu im Tunnelinnern zu handeln, als um ein Beibehalten der an der straßenparallelen Sperreinrichtung eingeschlagenen Wanderrichtung. Immerhin wurde den Tieren am dortigen Tunneleingang eine Richtungsänderung von 90° aufgezwungen. Diese Beobachtungen gingen auf Tiere zurück, die es während der 2009 stattfindenden Rückwanderung offenbar nicht sehr eilig hatten, wenigstens nicht in einiger Entfernung zum Laichgewässer. Eine individuenreiche Wanderung fand nur bei optimalen Wetterbedingungen statt, d.h. Regen wenigstens unmittelbar vorher, Wärme und nasser Boden. Leichter Regen am Vormittag reichte nicht aus, auch wenn der Boden am Abend noch feucht war. An solchen Abenden waren allenfalls 3 – 5 Tiere an der gesamten Anlage zu beobachten, meist Erdkröten. Auch wurde beobachtet, dass sowohl Erdkröten als auch Feuersalamander an der Anlage bereits Nahrung aufnahmen. Sie konnten beim Verzehr von Regenwürmern beobachtet werden, die in Regennächten reichlich an der Anlage umher krochen. Auch wurden an der Anlage (Rückwanderseite) mehrfach Jungtiere von Erdkröte und Springfrosch beobachtet. Der Größe nach handelte es sich um Jungtiere aus dem vorigen Jahr, die auf der Laichgewässerseite überwintert hatten.

Eine völlig gegensätzliche Beobachtung gelang an der gleichen Schutzanlage in einem Herbst vor einigen Jahren (STÜBER 2009 schriftl.). An einem frühen Nachmittag, bei warmer Witterung begann plötzlich eine Grasfrosch-Herbstwanderung in Richtung Moor. Die Tiere kamen auf Höhe des Parkplatzes an der B 3 vom Wald herunter (hier zieht sich ein gehölzgesäumtes Freizeitgrundstück vom Wald bis zur Straße, das eventuell als Leitlinie dient), wanderten durch den dort befindlichen Durchlass und strebten dann dem Bruchwald zu. Es handelte sich um mehrere Hundert Tiere, die innerhalb recht kurzer Zeit den Durchlass mit großer Zielstrebigkeit und ohne Verharren oder Umkehren bzw. Vorbeilaufen passierten.



Die höchste Tunneleintrittsrates wiesen die baulich zu Einfallsröhren umgebauten Stelztunnel an der B 3 bei Karlsruhe auf. Nahezu alle anwandernden Adult- und Jungtiere rutschten über das eingebaute Rohr ins Durchlassinnere. 70 % dieser Tiere (249 Adulti von insgesamt 357 im Frühjahr und 131 Jungtiere von insgesamt 187 im Sommer) liefen danach auch in dieser Richtung weiter bis zum gegenüber liegenden Durchlassende. Ein Experiment mit 200 in das Fallrohr eingefüllten Jungkröten ergab allerdings ein rätselhaftes Ergebnis. Nach zwei Tagen war kein einziges dieser Tiere mehr zu finden, weder im Fangeimer auf der einen, noch auf der anderen Straßenseite. Der Durchlass erwies sich bei einer Überprüfung als völlig dicht. Da auch keine toten Tiere zu finden waren, kommt als einzige Erklärung ein Fressfeind in Frage. Es konnten aber auch keine Fußspuren ausgemacht werden.

## 5. Bewertung der Ergebnisse

### 5.1 Methodenkritische Auseinandersetzung

Die Erfassungen zu den physikalischen und mikroklimatischen Standortbedingungen in und vor den Kleintierdurchlässen erbrachten in der Regel gut auswertbare Ergebnisse. Deren Validierung ist als gesichert anzunehmen.

Für die Messungen des Magnetfeldes an den Amphibienschutzanlagen gab z. B. URBANKE (2008) an: *„Eine Verfälschung des Messergebnisses durch natürliche Variationen des Erdmagnetfeldes ist weder durch Lithosphärenanomalien, noch durch die normalen täglichen Einflüsse des Sonnenwindes zu erwarten, da sich beide in Deutschland auf die Gesamtfeldstärke des Erdmagnetfeldes (etwa 45.000 – 50.000 nT) im Allgemeinen mit nicht mehr als 100 nT auswirken, und damit unterhalb der Mess- und Ablesegenauigkeit des Kompasses liegen. Zudem variieren die Lithosphärenanomalien auch eher großräumig, sodass hierbei die Dimension einer Amphibienschutzanlage unbedeutend ist.*

*Benachbarte Hochspannungsfreileitungen, wie beispielsweise die straßenparallel geführte 380 kV-Leitung an der Amphibienschutzanlage bei Ramstein-Miesenbach, können das Messergebnis ebenfalls nicht verfälschen, da diese im Gegensatz zum statischen Magnetfeld der Erde ein dynamisches Magnetfeld erzeugen, das sich mit der 50 Hz-Frequenz des Wechselstroms fünfzig mal in der Sekunde umpolt, und die Kompassnadel für diesen Richtungswechsel zu träge ist, sodass im Betrag nur die Richtung des Erdmagnetfeldes angezeigt wird (MESCHEDE 2006).*

*Allerdings können Anomalien des Erdmagnetfeldes, die durch den Einfluss des Sonnenwindes während eines Sonnensturms hervorgerufen werden, durchaus Amplituden bis zu 1000 nT innerhalb weniger Minuten erreichen, sodass dabei die Horizontalrichtung des Erdmagnetfeldes um wenige Grad schwanken kann. Daher wurden bei den Magnetfeldmessungen an den Amphibienschutzanlagen stets das Datum und die Uhrzeit zu Beginn sowie bei Beendigung der Messung notiert, um später überprüfen zu können, ob in diesem Zeitfenster ein verstärkter Einfluss des Sonnenwindes vorlag. Hierzu wurden die Beobachtungsdaten der zwei deutschen Observatorien in Niemegk und Fürstenfeldbruck herangezogen. Dabei zeigt der Vergleich der täglichen Magnetogramme vom Observatorium Niemegk, 50 km südwestlich von Potsdam gelegen, und dem Observatorium Fürstenfeldbruck bei München, dass der Tagesgang der Erdmagnetfeldschwankungen innerhalb des gesamten Bundesgebietes einheitlich ist, und somit auch für die Untersuchungsorte repräsentativ ist.*

*Die Auswertung der Magnetogramme für den 26. Februar 2008 sowie für den März 2008 ergab, dass während der gesamten Untersuchungszeit keine Erdmagnetfeldanomalien durch den Einfluss des Sonnenwindes auftraten, die geeignet gewesen wären, das Messergebnis zu verfälschen. So lag insbesondere die Amplitude der Horizontalwinkel- bzw. Deklinationsschwankungen stets in einem Bereich von maximal 30 Bogenminuten, was einer Kompassabweichung von maximal 0,5° entspricht und damit unterhalb der gewählten Mess- und Ablesegenauigkeit liegt.“*

Die Überprüfungen zur Hygroskopizität von Beton beschränkten sich auf handelsübliches Material, wie es in Bauelementen verbreitet vorkommt. Davon ausgehend, dass eine Kurz-

zeitberührung der Oberflächen durch Amphibien die Regel darstellt, wurden Standardverfahren mit einer Expositionsdauer von 24 Stunden und mehr dementsprechend abgewandelt. Die ursprünglich vorgesehenen Vergleichstests an verschiedenen Betonelementen verschiedener Schutzanlagenhersteller wurden aufgrund der Ergebnisse der Voruntersuchungen aufgegeben, die bereits für Bohrkernmaterial auf der oben dargelegten zeitlichen Grundlage nur sehr schwache hygroskopische Wirkungen aufzeigten.

Die „Feinfühligkeit“ von Amphibien auf verschiedene physikalische und mikroklimatische Faktoren ist im Detail nicht bekannt. Somit ist nicht völlig auszuschließen, dass die zu diesen Aspekten durchgeführten Messungen (z. B. Erschütterung, Lichtintensität, Luftzug, Temperatur und Luftfeuchte) gegebenenfalls zu grob skaliert im Verhältnis zur „Empfindsamkeit“ der Tiere sind. Im Verhältnis zum Mittelaufwand vermitteln die erhobenen Parameter aber durchaus ein verlässliches Bild zur Beschreibung der Umweltbedingungen innerhalb und vor den Anlagendurchlässen. Für vergleichende Aussagen bei unterschiedlicher Bauart oder Geländesituation und in Hinblick auf Unterschiede im Verhalten der beobachteten Tiere erschienen sie aber durchaus ausreichend in ihrer Detailliertheit.

Es liegt in der Natur der Sache, dass Verhaltensbeobachtungen eine enorme Bandbreite spezifischer Variationen ergaben. Die Vielfalt an Einflussmöglichkeiten von inneren Faktoren (z. B. physiologische Rahmenbedingungen, hormonelle Steuerungsprozessen oder Raumkenntnis) und solchen, die von außen auf die untersuchten Organismen einwirkten (beispielsweise Interaktionen mit anderen Tieren, physikalische und mikroklimatische Gegebenheiten), verursachten in ihrer Summe bei einem Individuum ein Verhaltensmuster, das bei einem anderen sogar eine gegensätzliche Reaktion auslösen konnte (s. z. B. FRANCK 1985). Verhaltensstudien sind deshalb nur selten eindeutig reproduzierbar. Im vorliegenden Forschungsprojekt wurde aus diesem Grund das Verhalten der Tiere für vergleichende Untersuchungen auf möglichst einfache und eindeutige Merkmale reduziert, soweit nicht auf anekdotische Beschreibungen zurück gegriffen werden musste.

Die im letzten Untersuchungsjahr durchgeführten Arenaversuche waren letztlich diesem Umstand geschuldet, die Fülle der Einfluss nehmenden Faktoren auf das Verhalten der beobachteten Tiere soweit wie möglich zu reduzieren und dadurch Einzelkomponenten in ihrer Wirksamkeit separat überprüfen zu können. Entscheidend war aber zuletzt das Verhalten der Tiere an den Schutzanlagen *in situ* zu testen, da die hier wirksam werdende Kombination aller Einflussgrößen über den Erfolg oder Misserfolg einer baulichen Maßnahme zur Wirksamkeitssteigerung entscheidet.

Als diesbezügliches Maß wurde im Forschungsprojekt die Eintrittsquote in die Durchlässe definiert, die an möglichst unbeeinflussten Tieren beobachtet wurde (durch einen ruhig sitzenden Beobachter in vertretbarer Entfernung, bzw. durch Videoaufnahmen mit Infrarotlichtausleuchtung, das bekanntermaßen von den Amphibien nicht wahrgenommen wird). Die alternative Bestimmung einer „erfolgreichen Querung“ wäre nur mit deutlich höherem methodischen Aufwand zu bewerkstelligen gewesen, was bei der angestrebten Vielzahl an Untersuchungsobjekten über das gesamte Bundesgebiet verteilt nicht leistbar war. Auch stellt sich bei Studien mit Einfang von Tieren, deren Markierung und anschließende Einsperrung in einem abgeäuerten Areal vor einer Amphibienschutzanlage die Frage, ob die schließlich ermittelte Anzahl an Tieren in weiteren Fangeimern am Ausgang der Durchlässe tatsächlich

das räumliche Verteilungsmuster widerspiegelt, wie es ohne diese Manipulationen an den Tieren gegeben wäre. Beobachtungen von Tieren, die am Rand eines Fangeimers wieder umkehrten, lassen zumindest Zweifel an einem völlig „unbeeinflussten“ Verhalten der Tiere zu. Nichtsdestotrotz konnte auch beim vorliegenden Forschungsprojekt dankenswerterweise mehrfach auf Ergebnisse derartig angelegter Untersuchungen zurück gegriffen werden, soweit sie aus zeitgleich zu eigenständigen Verhaltensbeobachtungen durchgeführten Effizienz- und Wirksamkeitsstudien an einzelnen der untersuchten Schutzanlagen stammten. Im Sinne synergistischer Effekte bei der wechselseitigen Ergänzung von Erhebungsdaten war dies uneingeschränkt profitabel für den Erkenntniszugewinn.

Bei den Verhaltensbeobachtungen erwiesen sich die Markierungsversuche als schwierig und oftmals zu invasiv für Jungtiere. Auch Markierungen von adulten Tieren führten beispielsweise an der Amphibienschutzanlage an der B 3 bei Karlsruhe und anderenorts vielfach zu einer Fluchtreaktion von der Schutzanlage weg. Deshalb wurde dieser methodische Ansatz bei den Beobachtungen in 2008 und 2009 stark eingeschränkt, um das Verhalten der Tiere möglichst störungsfrei erfassen zu können. Trotzdem sind Markierungen im Allgemeinen sehr hilfreich zur Individualerkennung und machen bei größeren Arten und adulten Tieren durchaus Sinn, wenn es darum geht, Tiere über längere Zeiträume und größere Strecken zu verfolgen sowie häufige Wiederbeobachtungsmöglichkeiten (z. B. in Fangeimern hinter Durchlassausgängen) bestehen. Bei den vorwiegend durchgeführten Verhaltensbeobachtungen im hier beschriebenen Forschungsprojekt erwiesen sie sich aber eher als nachteilig und wenig zielführend.

Die Verweildauer von Erdkröten und auch Knoblauchkröten vor Tunneleingängen der Amphibienschutzanlage am Knappensee (B 96) lag bei Beobachtungen im Jahr 2000 im Bereich von Tagen, sowohl von Männchen, als auch von Weibchen (JOHN 2003). Erdkröten-Männchen „belagerten“ auch anderenorts<sup>45</sup> vor allem enge Tunnelöffnungen regelrecht, so dass Tunneleintritte mit nachfolgender zügiger Durchquerung bis zur anderen Straßenseite bei männlichen Erdkröten, die „Abfangringe“ um das Laichgewässer bildeten, eher die Ausnahme waren. Da Knoblauchkröten sich aber erst beim Ablachen aneinander klammern, lassen sich hohe Verweildauern an Tunneleingängen von Amphibienschutzanlagen nicht gleichermaßen durch deren natürliches Verhalten erklären. Auch bei Molchen sollten aus Gründen des natürlichen Wanderverhaltens mehrtägige Verzögerungen bei Durchlass-Durchquerungen nicht erwarten werden. Eventuell auftretende Eintrittsverweigerungen werden deshalb bei diesen Amphibienarten eher im technischen Bauwerk der Amphibienschutzanlage ihre Ursachen haben. Somit erschien der methodische Ansatz von „nur“ mehrstündigen Verhaltensbeobachtungen im Eingangsbereich der Passagetunnel prinzipiell zielführend für die Fragestellung nach der Effizienz verschiedenartiger Durchlasstypen, auch wenn Aussagen zu einer gegebenenfalls Tage später dann doch erfolgreichen Durchquerung der beobachteten Einzeltiere nicht gemacht werden können.

Bei den Verhaltensbeobachtungen an verschiedenen Schutzanlageanteilen und deren experimentell vorgenommenen Veränderungen standen Aspekte im Vordergrund, die bei der Konzeption neuer Schutzanlagen oder einer eventuellen Umrüstung bestehender Anlagen Anwendung finden können. Nicht untersucht wurden demgegenüber Ansätze in Bezug auf

---

<sup>45</sup> z. B. eigene Beobachtungen 1994 bei Wiesbaden (VEITH et al., 1995) und 1995 – 1998 an der B 49 bei Koblenz (FUHRMANN 2001)

weitere potenzielle Einflusskomponenten, für die aber keine experimentellen baulichen Veränderungen an Amphibienschutzanlagen auf der Hand lagen (z. B. aktive Wärmezufuhr im Durchlass). Die im letzten Untersuchungsjahr der Gesamtlaufzeit des Forschungsprojektes durchgeführten Arenaversuche hatten nur einen orientierenden Charakter. Eine umfassende Bewertung der Wahlexperimente mit den eingesetzten Tieren konnte somit noch nicht abschließend vorgenommen werden.

Ein ernsthaftes Problem bei den Untersuchungen war ganz allgemein die Unvorhersehbarkeit des Witterungsverlaufs und der daraus resultierenden Phänologie des Wandergeschehens an den Schutzanlagen. Die Notwendigkeit für aufwändige organisatorische Vorbereitungen (z. B. Rekrutierung einer Vielzahl kompetenter und zeitgleich an mehreren Standorten vor Ort arbeitender Mitarbeiter sowie der Aufbau vergleichbarer Versuchsanordnungen) und die logistische Verteilung der eingesetzten Gerätschaft brachte eine gewisse Unflexibilität mit sich, auf früh- und kurzfristig eintretende oder (erst im Nachhinein erkennbar) völlig ausfallende Wanderaktivität im Untersuchungsdesign zu reagieren. Dies führte erst über den langen Bearbeitungszeitraum des Forschungsprojektes zu einer ausreichenden Anzahl von Einzelfallbeobachtungen, die nur in ihrer Summe zu allgemein gültigen Aussagen führen konnten. Einschränkungen der Aussageschärfe zu den Verhaltensbeobachtungen bei experimentell veränderten Durchlasseingängen waren aber leider unvermeidbar, bedingt durch die bundesweit sehr starke Abnahme wandernder Amphibien im letzten Untersuchungsjahr (vgl. Abb. 61).

Neben diesen eher globalen Beeinträchtigungen gab es auch vereinzelte anlagen-spezifische Einflüsse, die sich im Nachhinein als ungünstig erwiesen. Veränderungen an den Laichhabitaten im Laufe der letzten Jahre (z. B. Abbaggerungen im „Knappensee“ an der B 96, Verlandung von Kleintümpeln auf dem aufgegebenen Truppenübungsplatz nahe der B 49 bei Koblenz), Wanderverlagerungen (z. B. an der L 51 bei Byhleguhre, an der L 356 bei Ramstein oder an der Parkstraße in Darmstadt) oder in der Landschaftsstruktur während des Neubaus von Bundesfernstraßen (z. B. A 8 bei Perl, A 94 bei Winhöring, B 240 bei Duingen und B 27 bei Walldürn) konnten in ihren Auswirkungen auf das spätere Wandergeschehen nicht im Vorfeld abgeschätzt werden. Andererseits sind größere Schwankungen bei Amphibienwanderungen in aufeinander folgenden Jahren durchaus häufiger und können ihre Ursachen im fehlenden/eingeschränkten Reproduktionserfolg von vor zwei oder gar drei Jahren haben. Lückenlose Bestandszahlen existierten aber insbesondere an Wanderstrecken für fertig gestellte Amphibienschutzanlagen selten.

## 5.2 Einfluss physikalischer Parameter auf das Verhalten anwandernder und querender Tiere

„Rauigkeit“ der **Laufsohle** war einerseits hinderlich, den Weg durch den Durchlass unter der Straße zügig entlang zu laufen. Andererseits boten kleine Bodendellen und „Hohlräume“ in Laubansammlungen für kleine Tiere sicherlich aber auch Schutz vor Fressfeinden, „aufdringlichen Artgenossen“ und ungünstigen Witterungsbedingungen. Gerade in Anbetracht der Tatsache, dass vielfach die Nutzung der Kleintierdurchlässe auch als Tagesversteck beobachtet wurde, unterstützt diese Argumentationslinie. Selbst Unrat in und vor Amphibien-

tunneln mag unserem ästhetischen Empfinden zwar entgegen treten, dürfte Schutz suchenden Tieren aber ähnliche Versteckmöglichkeiten bieten, wie ein „natürlicher“ Laubhaufen. Hierbei unberücksichtigt bleiben allerdings längerfristige Aspekte eventueller Schadstoffauswaschungen, die in einem Laubhaufen sicherlich nicht zu erwarten sind. Auch die mögliche Fallenwirkung von leeren Gefäßen mit engen Öffnungen (z. B. Flaschen) oder die Verletzungsmöglichkeit an spitzen, bzw. scharfkantigen Gegenständen sollte natürlich nicht unterschätzt werden.

**Staunässe** in Durchlässen stört sicherlich die wenigsten Amphibien. Die hohe Anzahl der trotz hoher Wasserstände im Frühjahr querenden Moorfrösche an der K 28 bei Buchholz belegt die prinzipielle Akzeptanz auch solcher Durchlasssituationen. Die Beobachtungen zum Verhalten einiger Molche an der Bruchstraße bei Duingen und an der L 356 bei Ramstein unterstützen aber dagegen die Ansicht, dass dies eine zügige Passage nicht unbedingt unterstützt, sondern im Gegenteil auch als Endpunkt der Laichplatzsuche von den dortigen Tieren angenommen werden kann.

Das Angebot von Ersatzlaichplätzen für Molche und Grasfrösche kann aber nicht Sinn einer Amphibienschutzanlage sein, zumal straßennahe Tümpel sicherlich aufgrund Verkehrsweg-induzierter Störfaktoren kein Idealstandort für laichbereite Amphibien darstellen. Ob dies trotzdem akzeptierbar ist oder aber dem Ziel dient, auch anderen Tierarten eine Straßenerquerung durch die Kleintierdurchlässe zu ermöglichen (z. B. Fischotter), muss der Einzelfallplanung einer Kleintierschutzanlagen überlassen bleiben.

Die neutralen **pH-Werte** in den unteren Bereichen von Stelztunneln sind als Ergebnis von Verwitterungseffekten zu sehen. Selbst in der Tunnelmitte konnten auf reinen Betonböden keine kritischen Werte ermittelt werden. Diese Eigenschaft des Bodensubstrats stellte sich somit als wenig kritisch für die Tiere heraus. Die deutlich höhere Alkalität in den oberen Tunnelbereichen (sowie in der Tunnelmitte auch bodennah) wird von den Tieren in der Regel nicht berührt und stellt dadurch ebenfalls keine Gefahr für sie dar. Eventuell könnte sie sogar geeignet sein, den immer wieder beobachtbaren Tieren, die an den Wänden nach oben kletternd versuchen, das Schutzanlagensystem zu überwinden, von diesem Vorhaben abhalten.

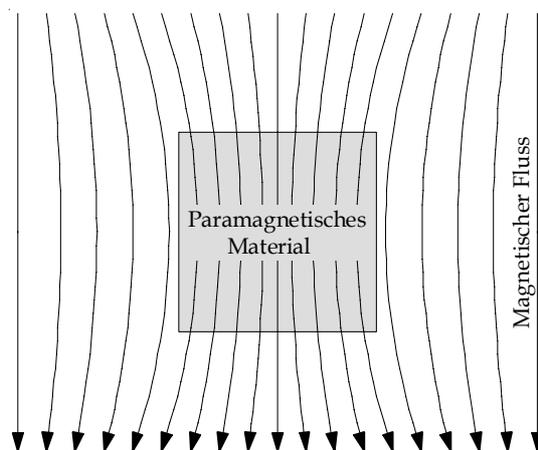
Zur **Hygroskopizität** von Beton ergeben sich folgende theoretische Überlegungen zur Oberflächenbehandlung der verschiedenen Betonbauteile. Bei Amphibienschutzanlagen wird man es vermutlich mit mindestens drei verschiedenen Varianten zu tun haben:

- unbehandelte Betonoberflächen
- anhaftendes Schalöl (bzw. andere Trennmittel) vom Herstellungsvorgang
- aufgebraute Hydrophobierung

Keine dieser Varianten ist optisch eindeutig erkennbar, jedoch unterscheiden sich die Wasseraufnahmen der Oberflächen dadurch. Zudem sind alle drei Varianten unterschiedlichen Alterungsprozessen unterworfen und verändern, je nach Bewitterung, ihre Wasseraufnahme im Laufe der Zeit. Bei gleichem Beton kann somit ein unterschiedliches Wasseraufnahmeverhalten hervorgerufen werden. Neben diesen unsichtbaren Veränderungen der Oberflächen können Betone auch Beschichtungen aufweisen (Silikat-, PU-, EP- u. a.), die ebenfalls jeweils eigene Eigenschaften haben.

Einerseits berühren Amphibien nur die Oberfläche, so dass ein direkter Vergleich der Kurzzeit-Wasseraufnahmefähigkeit sinnvoll erscheint, auch wenn unterschiedliche Oberflächenbehandlungen vorliegen. Andererseits schwächt sich die Wirkung von aufgetragenen Mitteln mit der Zeit ab, so dass die Eigenschaften der Betone selbst vermehrt zur Auswirkung kommen. Der Beton wiederum ist aber ebenfalls Veränderungsprozessen unterworfen, die einen Einfluss auf dessen „Amphibienkompatibilität“ haben können. Beispielsweise verändern sich durch den Vorgang der Karbonatisierung<sup>46</sup> oberflächennah Porenstruktur und pH-Wert des Betons – vermutlich zugunsten der Amphibien. Auch individuelle Zusatzstoffe in den Betonmischungen (z. B. bei Polymerbeton<sup>47</sup>) können sich ebenfalls auf der Werkstoffoberfläche auswirken.

Der Einfluss **para- und ferromagnetischer Eigenschaften** von Baumaterialien in Amphibienschutzanlagen auf die Kompassausrichtung im Laufsohlenbereich ist immens. Diese ständig wechselnden Missweisungen auf wenigen Laufmetern müssen zwangsläufig zu einer Desorientierung bei Tieren führen, die sich bei ihrer Wanderung vom Magnetfeld der Erde leiten lassen. Das Erdmagnetfeld kann lokal durch Baumaterialien, deren atomare Struktur ein magnetisches Moment besitzt, verändert werden. Im Falle der Amphibienschutzanlagen sind dies v. a. Metallwerkstoffe aus Eisen bzw. Stahl, die insbesondere in Form von Leitelementen aus Stahlblech sowie als Bewehrungsstahl in Betonbauteilen (lange Stahlstäbe im Inneren) Verwendung finden.



**Abbildung 69: Magnetfeld bei paramagnetischen Materialien** (aus URBANKE 2008)

Da Eisenverbindungen zum einen eine sehr gute Leitfähigkeit für magnetische Felder besitzen („Suszeptibilität“ = Maß für die Magnetisierbarkeit eines Stoffes), konzentrieren sich darin die Magnetfeldlinien eines umgebenden Magnetfeldes, sodass die magnetische Flussdichte innerhalb des Materials steigt und in dessen Umgebung dafür abnimmt (69). Man spricht hierbei vom Phänomen des „Paramagnetismus“, bei dem sich innerhalb des paramagneti-

<sup>46</sup> In poröse Betonbauteile eindringendes Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) reagiert mit Wasser/Wasserdampf zu Kohlensäure. Diese verbindet sich mit dem Kalkhydrat zu Kalkstein (Calciumcarbonat) und Wasser. Dieser zu einer Verdichtung des Betongefüges führende Vorgang wird als Karbonatisierung bezeichnet. Hierdurch wird die Alkalität des Betons abgebaut. Wassergefüllte Betonporen verhindern das Eindringen von CO<sub>2</sub>, so dass frei bewitterte Betonbauteile langsamer karbonatisieren als solche, die regengeschützt der normalen Luftfeuchtigkeit ausgesetzt sind. Bei ca. 45 % – 75 % relativer Luftfeuchte ist die Karbonatisierungsgeschwindigkeit am größten. (aus [http://www.elkage.de/PHP/fachbegriffe.php?id=1037\\_gekürzt](http://www.elkage.de/PHP/fachbegriffe.php?id=1037_gekürzt))

<sup>47</sup> Polymerbetone enthalten im Gegensatz zum normalen Beton ein Polymer (Kunststoff) als Bindemittel, das die Gesteinskörnung (Zuschlag) zusammenhält. Zement wird im Polymerbeton, wenn überhaupt, nur als Füllstoff eingesetzt. (aus <http://de.wikipedia.org/wiki/Beton>, gekürzt)

schen Materials die einzelnen magnetischen Momente auf atomarer Ebene parallel zu einem angelegten Magnetfeld ausrichten, wodurch die Leitfähigkeit für das angelegte Magnetfeld erhöht wird.

Zum anderen befinden sich in der atomaren Struktur der Metallwerkstoffe mit hoher Suszeptibilität so genannte „Weiss-Bezirke“, innerhalb derer sich eine parallele Ausrichtung der magnetischen Momente auch dauerhaft fixieren kann. Dadurch bildet der Werkstoff (oder Teile davon) ein eigenes magnetisches Dipolfeld mit fester Richtung aus, ähnlich wie bei einem Stabmagneten. Diese Form von Magnetismus wird als „Ferromagnetismus“ bezeichnet. Ferromagnetische Eigenschaften können an den Metallwerkstoffen von Amphibienschutzanlagen insbesondere durch die physikalische Energiezufuhr bei den Fertigungs- und Verarbeitungsprozessen wie Schweißen, Walzen, Biegen, Sägen oder Hämmern sowie durch chemische Umwandlungsprozesse (Korrosion) hervorgerufen oder verändert werden. Im Allgemeinen weisen Baustähle für Bewehrungen häufig solche ferromagnetischen Eigenschaften auf.

Ebenso kann stark eisenhaltiges Gesteinsmaterial mit einer hohen Suszeptibilität, wie z. B. Basalt, ferromagnetische Eigenschaften besitzen. Wenn derartiges Gesteinsmaterial in Form von Splitt oder Schotter als Bau- oder Füllmaterial an Amphibienschutzanlagen verwendet wird, sind hierdurch ebenfalls Veränderungen des Erdmagnetfeldes vorstellbar. Dabei hängt die Suszeptibilität bzw. die ferromagnetische Eigenschaft des Gesteinsmaterials nicht nur vom Mineralientyp, sondern auch von der Korngröße und der Gesteins- bzw. Ablagerungsmatrix ab (TEZKAN 2006).

Die Ergebnisse der **Schallpegelmessungen** in den beiden Durchlässen der Amphibienschutzanlage an der B 3 bei Karlsruhe zeigten Unterschiede zwischen Bodensubstrat und Betonplatten als Untergrund. Die schallabsorbierende Wirkung des Naturbodens ist dabei hervor zu heben. Bei diesem Tunneltyp ist eine deutliche Pegelsenkung durch zusätzliche bauliche Maßnahmen kaum machbar. Bei Durchlässen mit schallharten Betonböden ist dies dagegen durchaus denkbar (s. u.). Eine Verengung des Durchlasseingangs durch z. B. eine massive Leitblende bedingt allerdings bereits eine deutliche Schallpegelminderung.

Die **Lichtverhältnisse** in einem Durchlass sind naturgemäß deutlich reduziert gegenüber dem Vorfeld. Somit ist die teilweise Annahme dieser unterirdischen „Löcher“ als Tagesversteck für Wildtiere durchaus eine konsequente Folge. Ob dies einer erfolgreichen Durchwanderung entgegen steht oder sogar im Gegenteil fördern könnte, hängt sicherlich vom Einzelfall ab. Auf jeden Fall zeigt eine derartige Nutzung aber die Möglichkeit einer naturnahen Laufsohlenbeschaffenheit auf, wenn ein solches technisches Bauwerk eine ähnliche Funktion wie ein natürlicher Tiergang übernimmt.

Fazit: Durchlässe von Kleintierschutzanlagen in den vom MAmS vorgegebenen Dimensionen bieten in Hinblick auf die untersuchten physikalischen Parameter keine erkennbaren Hemmnisse zum Eintritt von Amphibien. Einzig die bei allen Anlagen feststellbaren Veränderungen der lokalen Erdmagnetfeldmuster auf kurzen Distanzen müssen die Orientierungsleistung der Tiere für diesen Sinn massiv beeinträchtigen.

### 5.3 Einfluss mikroklimatischer Parameter auf das Verhalten anwandernder und querender Tiere

Kleintierschutzanlagen werden primär für Tiere gebaut und von solchen genutzt, die bodengebunden leben und sich fortbewegen. Deshalb erscheinen für die Fragestellung Erkenntnisse zu mikroklimatischen Verhältnissen in der unmittelbaren Nähe zur Bodenoberfläche bedeutsam. Grundeigenschaft des Klimas bodennaher Luftschichten ist eine Maximierung der Schwankungsbereiche von Temperatur und Luftfeuchte. Ein- und Ausstrahlung der Sonnenenergie bewirken, dass unmittelbar auf der Bodenoberfläche die Tagesamplituden am höchsten sind, während schon wenige Zentimeter weiter oberhalb die Luftzirkulation für Ausgleich sorgt und in tieferen Bodenschichten (also z. B. auch innerhalb von Mäusegängen) bereits nach kurzer Distanz eine deutliche Dämpfung oberirdischer Extremwerte auftritt. Schon Untersuchungen und Betrachtungen zum Mikroklima bodennaher Luftschichten vor knapp 70 Jahren unter Gesichtspunkten der Abwehr von Schadeinflüssen auf forst- und landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsflächen zeigten Auswirkungen dieser Phänomene auf verschiedene Tiergruppen (Zusammenstellung bei GEIGER, R. 1942). Durch Temperaturunterschiede zwischen der Luft innerhalb und außerhalb von Röhrensystemen können zudem kleinräumige Luftzirkulationen auftreten.

Dem gegenüber stehen Erkenntnisse zu physiologischen Eigenschaften der Amphibien, die – je nach Art(engruppe) in unterschiedlich starker Ausprägung – durch einen sehr hohen Wasserumsatz gekennzeichnet sind. Die Haut der Amphibien ist im Vergleich zu der von anderen Landwirbeltieren sehr durchlässig für Wasser und andere kleinmolekulare Stoffe, so dass diese Tiere besonders durch Austrocknung gefährdet sind. Andererseits verträgt diese Tiergruppe aber ganz allgemein auch extreme Schwankungen ihres eigenen Wassergehalts, so dass selbst Verluste von bis zu  $\frac{1}{3}$  ihres Körperwassers ohne nennenswerte Vitalitätseinbußen einhergehen können.<sup>48</sup> Trotzdem dürfte beispielsweise die überwiegende Nachtaktivität von Amphibien im Landlebensraum eine Folge der dann vorherrschenden Bedingungen einer für sie günstigen, hohen Luftfeuchtigkeit dicht über der Bodenoberfläche sein (GEIGER, R. 1942).

Die geringen Unterschiede der **Lufttemperatur** zwischen den Durchlässen und ihrem jeweils nahen Umfeld im Bereich von 0,1 bis 0,5 °C lassen keinen negativen Einfluss auf die Durchquerungsrate erwarten. Die Unterschiede zwischen Tunneleingang und Tunnelmitte sind dagegen größer. In Eben-, Trog- und Hanglage erwiesen sich die Durchlässe in ihrem Innern ausnahmslos wärmer als am Eingang (0,4 bis 1,8 °C Unterschied). Einzig in Dammlagen könnte sich das um 0,8 °C gemessene, kühlere Durchlassinnere ungünstig auf die Eintrittswahrscheinlichkeit von querungsbereiten Kleintieren auswirken. Kritisch könnte sich eventuell auch die beobachtete etwas kühlere Luftmasse unmittelbar am Durchlasseingang bei Eben-, Trog- und Hanglage erweisen, wenn diese zu einem deutlichen Temperaturgegensatz im Einzelfall ausgebildet sein sollte.

Unterschiede im Temperaturregime innerhalb und außerhalb der Durchlässe von Amphibienschutzanlagen betreffen aber weniger die Mitteltemperatur, sondern wirken sich vor allem bei den Höchst- und Tiefstwerten aus. Entsprechend den oben dargelegten allgemeinen

---

<sup>48</sup> Beim Menschen führen bereits 15% Wasserverlust zum Tode (<http://www.trinkwasser.ch>)

Erkenntnissen zur bodennahen Lufttemperatur „verhalten“ sich Durchlässe wie Tiergänge in oberflächennahen Bodenschichten. Dabei spielt der Durchlassdurchmesser offensichtlich keine Rolle. Alle untersuchten Durchlässe dämpften die an der Bodenoberfläche im Tages- und Jahresgang auftretende Temperaturamplitude deutlich. Vor allem extrem hohe Spitzenwerte, wie sie an exponiert liegenden Straßen erreicht werden können (z. B. > 50 °C direkt an der Leiteinrichtung in Dammlage der B 240 bei Duingen), resultieren innerhalb des dicht unter dem Straßenbelag befindlichen Durchlasses bereits ein Meter hinter dem Eingang in einer Verminderung um 30 Grad. Insbesondere für austrocknungsgefährdete Amphibien dürfte dieser Dämpfungseffekt überlebenssichernd sein. Auch bei den Tiefstwerten kann die Durchlassmitte (beim Beispiel der Anlage an der B 240 bereits 7 m nach dem Eingang) während des Frühjahrs als einigermassen frostsicher gelten.

Auch bei der **Luftfeuchtigkeit** stellt sich die Situation ähnlich dar. Amphibien werden naturgemäß eine feuchtere Umwelt einer trockeneren vorziehen (s. o.). Dazu bieten die höheren Feuchtigkeitswerte an den Durchlasseingängen sicherlich eine gute Ausgangsbasis für eine erfolgreiche Durchquerung. Sie darf nur innerhalb des Bauwerks dann nicht zu stark abnehmen, dass die Tiere eine weitere Passage bis zum gegenüberliegenden Ende einstellen. In allen diesbezüglich untersuchten Durchlässen lagen die gemessenen Feuchtigkeitswerte auf Höhe der Straßenmitte aber nur unwesentlich niedriger als in den Eingangsbereichen.

Wie bei den Temperaturwerten besteht der bedeutendste Effekt der Durchlässe in einer Abmilderung von Extremwerten. Da die gemessenen Luftfeuchtwerte innerhalb und außerhalb der Durchlässe im Mittel immer auf einem recht hohen Niveau lagen (meist über 75%) und die Höchstwerte durchgängig bei knapp 100%, macht sich die Wirkung der Durchlässe vor allem bei den Minimalwerten bemerkbar. Innerhalb der Durchlässe wurde die 40%-Marke höchstens im Ausnahmefall knapp unterschritten, während Vergleichswerte außerhalb von ihnen meist um 25% oder niedriger lagen. Auch diese Wirkung dürfte austrocknungsgefährdeten Amphibien besonders entgegen kommen.

Andererseits konnte aber auch nachgewiesen werden, dass in den untersuchten Kleintierdurchlässen regelmäßig ein **Luftzug** herrscht. Die tatsächliche Verdunstungswirkung dieser Luftdurchströmungen war zudem belegbar, wie die Austrocknungsversuche eindeutig zeigten. Sie machten beim Modell der Haushaltsschwämmchen bis zur Hälfte der Gesamtwasserabnahme aus. Es stellte sich aber hierbei auch heraus, dass die Durchlässe die an der Leiteinrichtung herrschenden Zirkulationsgeschwindigkeiten ebenfalls zu dämpfen vermögen. Gerade in der Nähe von Straßen verursacht der Fahrzeugverkehr im bodennahen Bereich offensichtlich böige Luftzirkulationen mit bis zu 24 km/h, die sich auch in die Durchlässe hinein fortsetzen, dort aber im Vergleich zum Geschehen an der Leiteinrichtung deutlich abschwächen.

Fazit: Mikroklimatische Unterschiede geben keinen Anlass anzunehmen, dass Amphibien Durchlässe von Kleintierschutzanlagen meiden. Diese können im Gegensatz sogar eher als lokale Gunsträume für schutzsuchende Tiere angesehen werden.

## 5.4 Einfluss baulicher Gestaltungen auf das Verhalten anwandernder und querender Tiere

Das zentrale Thema des hier beschriebenen Forschungsprojektes betraf die Möglichkeiten zur Gestaltung von Durchlässen und ihren Eingängen mit dem Ziel, einen Eintritt der anwandernden Tiere und ihre zügige Durchwanderung zu unterstützen. Leider waren die Untersuchungsergebnisse in dieser Hinsicht nicht immer eindeutig und zum Teil sogar widersprüchlich. So mieden die eingesetzten Springfrösche und juvenilen Erdkröten bei den Arenaversuchen in der Tendenz zwar Durchlasseingänge mit auf- und abschwelenden Lichtquellen davor, doch beim *in situ*-Experiment an bestehenden Amphibienschutzanlagen brachten Abschirmungen des Durchlasseingangs vor Lichtblitzen vorbeifahrender Autos trotzdem keine erhöhte Eintrittsquote. Bei den baulichen Experimenten mit einer Luftzugbremse am Durchlassausgang führte dies zumindest bei Springfröschen an der Anlage unter der B 3 bei Karlsruhe zu einer gesteigerten Eintrittsrate, aber die gleichen Tiere reagierten im dortigen Arenaversuch genau gegenteilig, während wiederum die eingesetzten Molche an der K 7 bei Worms den zugluftfreien Durchlass etwas häufiger wählten.

Entgegen der Erwartung führten auch eine Befeuchtung des Tunnelbodens oder eine dauerhafte Beleuchtung des Durchlasses nicht zu einer messbaren Steigerung der Eintrittshäufigkeit durch die beobachteten Amphibien. Selbst die magnetische Missweisung am Tunneleingang hielt die Tiere nicht in auffälliger Weise von einem Tunneleintritt ab. Einzig die juvenilen Erdkröten reagierten eher abweisend auf den so präparierten Tunneleingang. Vielleicht sind Jungtiere in ihrer Orientierungsleistung stärker von natürlichen Leitsystemen wie dem Erdmagnetfeld abhängig als adulte Tiere, die irritierende Signale aufgrund ihrer Lebenserfahrung und ausgereifteren Ortskenntnis kompensieren können.

Auch der Faktor Verkehrslärm schien weniger aversiv zu wirken als angenommen. Zum einen waren Lärmentwicklungen in Durchlasssystemen, die zum Straßenbelag hin abgeschlossen sind, deutlich reduziert gegenüber den herrschenden Schallpegeln direkt am Straßenrand. Zum anderen reagierten die Tiere im Wahlexperiment der Versuchsarena sogar eher positiv „neugierig“, so dass fast von einer akustischen Lockwirkung gesprochen werden kann.

Positiv wirkten sich auch zwei weitere experimentelle Ansätze an bestehenden Kleintierdurchlässen aus. Das Angebot an Versteckplätzen in Form umgedrehter Halbschalen und die Verlängerung von Leitblenden im Eingangsvorfeld, wie auch ins Tunnelinnere hinein können durchaus als Maßnahmen zur Eintrittssteigerung betrachtet werden. Die Möglichkeiten zur konkreten Ausgestaltung sind hierbei sehr vielfältig und könnten ein eigenständiges Forschungs- und Entwicklungsprojekt begründen. Die hier präsentierten Untersuchungsergebnisse liefern vielversprechende Ansätze zu diesen Teilaspekten. Erstens konnte die Wirkung von Versteckmöglichkeiten innerhalb von Durchlässen auf die erfolgreiche Straßenunterquerung insbesondere an Tunneln der Amphibienschutzanlage an der L 254 bei Reidenbruch mit hohem Erdkrötenaufkommen überprüft werden. Vor allem die Passagezeiten von Weibchen, deren Vorwärtskommen üblicherweise von noch unverpaarten Männchen immer wieder unterbrochen wird, konnten sich dadurch verkürzen. Zweitens werden einfache Bretter in Verlängerung der Durchlassausrichtung oder senkrecht zur Straße zumindest von den vielfach straßenparallel anwandernden Tieren umlaufen oder überklettert, insbesondere bei

niedriger Bauausführung. Bei Anlagen in unmittelbarer Nähe zum Laichplatz ist dies vermutlich nicht weiter störend, aber auch nicht fördernd für einen Tunneleintritt. Als wirkungsvoll erwiesen sich dagegen Einweisbretter in Form von Sperrwandelementen mit einem Überkletterschutz an ihrer Oberkante. Doch auch diese Systeme werden in der Regel seitlich umwandert, wenn sie nur als kurze Bauelemente im Straßengraben installiert sind. Die Verlängerung dieser Leitblendenelemente bis zum Grabenhinterrand, bzw. noch besser mehrere Meter weit ins Gelände hinein, erscheint essenziell für ihre Funktionalität. Ob dazu ein bogenförmiger Zulauf unbedingt erforderlich ist oder auch eine rechtwinkelige Wand den gleichen positiven Effekt auslöst, konnte im Forschungsprojekt nicht eindeutig ergründet werden. Es zeigte sich aber, dass auch eine Verlängerung der Leitblende in den Durchlass hinein von großer Bedeutung für seine Wirksamkeit ist. Denn viele der in die Tunnel erfolgreich hinein geführten Tiere liefen am eingangsnahen Ende der Leitblende ansonsten ebenfalls auf der Gegenseite wieder aus dem Tunnel hinaus.

An der B 3 bei Karlsruhe konnte durch die dortige besondere Geländegegebenheit mit einem ziemlich tief liegenden Graben schließlich auch ein Einfallrohr in einen auf beiden Seiten offenen Tunnel auf seine Wirksamkeit hin getestet werden. Dies erwies sich letztlich als die erfolgreichste Methode, eine möglichst hohe Zahl an anwandernden Tieren auch zu einem Betreten des Durchlasses zu bewegen. Die Weiterführung der Tiere im Durchlassinneren kann natürlich nur bei ausreichend dimensionierten Bauwerken gelingen. Eine Fallenwirkung oder die Anlockung von Fressfeinden durch eine hohe Beutetierkonzentration ist dabei natürlich möglichst zu unterbinden. Es liegt aber in der Natur der Sache, dass Letzteres nie völlig ausgeschlossen werden kann. Doch dieses Risiko ist als Einzelereignis zum Beispiel auch durch die hohe Tieranzahl an den Laichplätzen immer gegeben (z. B. Massentötung von Erdkröten durch einen Iltis an einem Laichplatz in Wiesbaden<sup>49</sup>) und führt unter natürlichen Rahmenbedingungen nicht zu einer populationswirksamen Gefährdungssituation. Insbesondere an Schutzanlagen mit tief liegenden Tunneleingängen ist das hier getestete Bauprinzip auch als Nachrüstoption gut umsetzbar (s. u.).

Das Ergebnis der Untersuchungen zeigte darüber hinaus auch, dass die Zielvorstellung einer möglichst raschen Passage der Durchlässe durch die anwandernden Tiere nicht unbedingt mit deren Bedürfnissen und den daraus abgeleiteten Gestaltungsmöglichkeiten im Einklang stehen muss. So erscheint es durchaus betrachtenswert, die Funktion eines Durchlasses als reines Querungsbauwerk zu überdenken und ihm darüber hinaus auch die Funktion als Versteckplatz zuzubilligen. Eine eventuelle Fallenwirkung muss natürlich ausgeschlossen werden. Die günstigen mikroklimatischen Bedingungen aber, die Durchlässe analog zu anderen oberflächennahen natürlichen Tiergängen bieten, sollten als Option bei der Ausgestaltung Berücksichtigung finden. Die Dämpfung starker Schwankungsbereiche von Temperatur und Luftfeuchte sowie auch von böigen Luftverwirbelungen und von Verkehrslärm, wie sie auf der freien Erdoberfläche und ebenfalls vor Sperr- und Leiteinrichtungen von Kleintierschutzanlagen herrschen, ist durchaus als positive Wirkung von Durchlässen zu sehen. Dies lohnt sich, bei weiteren konzeptionellen Betrachtungen zu beachten.

Fazit: Der Einfluss einzelner physikalisch-mikroklimatischer Komponenten auf das Eintrittsverhalten von Amphibien in Durchlässe von Kleintierschutzanlagen konnte aufgrund wider-

---

<sup>49</sup> Beobachtung von 426 getöteten Erdkröten innerhalb von einem Monat (SEITZ et al. 1995)

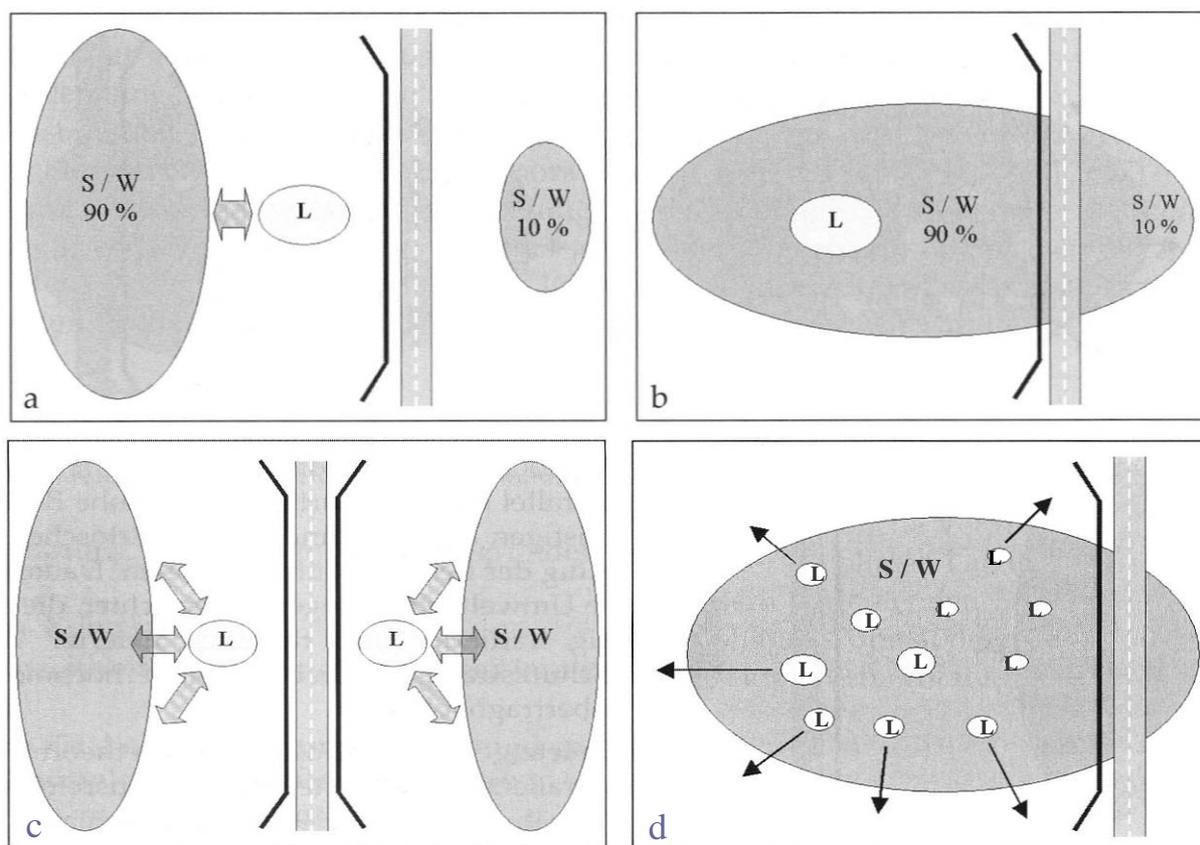
sprüchlicher Ergebnisse in keinem Fall zweifelsfrei belegt werden. Positive Wirkungen baulicher Veränderungen beschränkten sich auf das Angebot von Versteckplätzen und groß dimensionierte Leitblendenelemente. Die effektivste Methode zur Steigerung der Eintrittsquote betraf Einfalltrichter, die auch als Nachrüstung bestehender Amphibienschutzanlagen konzipiert werden können.

## 6. Konzeptionelle Betrachtungen

Das Ziel des Forschungsprojektes lag nicht zuletzt in einer konzeptionellen Betrachtung zum sinnvollen Einsatz, zur Gestaltung und zur Wartung von Amphibienschutzanlagen an Straßen. Alle drei Aspekte sollten bei einer zukünftigen Überarbeitung der mittlerweile zehn Jahre zurück liegenden Ausgabe des Merkblatts für Amphibienschutz an Straßen (MAMs 2000) berücksichtigt werden. Nachfolgend werden hierzu einige Anregungen gegeben sowie auf noch offene Fragestellungen hingewiesen.

### 6.1 Wann ist der Bau einer dauerhaften Amphibienschutzanlage sinnvoll?

Die Entfernung einer stationären Amphibienschutzanlage vom Laichplatz sowie das alternative Angebot an intakten Laichgewässern bestimmt letztlich die Akzeptanz und Wirksamkeit stärker als jede bauliche Optimierung ihrer Durchlässe. Diese Ansicht findet in jüngster Zeit in der Fachwelt zunehmende Bestätigung (s. z. B. KNEITZ & OERTER 1994, KORDGES 2003 oder DUNKEL 2004). Gerade beim Neubau von Verkehrswegen kommt dadurch dem gesetzlich vorgeschriebenen Vermeidungsgebot ein besonders hoher Stellenwert zu.



**Abbildung 70:** Situationen zur Raumnutzung durch Amphibienpopulationen, für die eine durchlassarme Schutzanlagenkonzeption denkbar ist (L = Laichplatz, S / W = Sommer- / Winterhabitat; aus KORDGES 2003, verändert)

Aber auch beim Ausbau bestehender Straßen ist nicht immer eine „klassische“ Kleintier-schutzanlage mit hoher Anzahl an Durchlässen erforderlich, wie die Beispiele in Abb. 70 zeigen. Die rechtzeitige Einholung und Berücksichtigung von Daten zur Verteilung der Populati-

onen/Populationsteile im Umgriff der geplanten Straße trägt zu einem sach- und fachgerechten Mitteleinsatz sowie eine zügige Vorhabensplanung bei (vgl. JEDICKE 2008).

Es ist in diesem Zusammenhang wichtig, eine Unterscheidung vorzunehmen von Wanderbewegungen zwischen den Populationen/Populationsteilen einer Metapopulation (vgl. KLEIN & VEITH 1997) und „echten“ saisonalen Wanderungen, wie beim klassischen Beispiel von Erdkrötenpopulationen (BLAB 1986). Die Anlage von Ersatzlaichplätzen ist bei Ersterem gegebenenfalls die bessere Lösung (vgl. KNEITZ & OERTER 1994). „Standardlösungen“ nach MAmS beziehen sich primär auf saisonale Wanderstrecken. Dieses wichtige Merkblatt sollte deshalb unbedingt auch auf andere Situationen anwendbar werden. Dazu sind die dortigen Aussagen und Darstellungen stärker zu differenzieren und zu ergänzen, in Teilen auch zu korrigieren.

So sind die dort angegebenen Durchlassquerschnitte bestenfalls für Kreis- und Landesstraßen tatsächlich empfehlenswert (vgl. Tab. 31). Beim Regelquerschnitt von Bundesfernstraßen sind Zweifel angebracht, ob aufgrund der langen Tunnellängen und deren zwangsläufige naturferne Bauart (fehlende Vegetation, beengtes Raumangebot) eine langfristige Wirksamkeit überhaupt gegeben ist. Vermutlich kann dies nur über einen zusätzlichen Aufwand (über Empfehlungen im MAmS hinaus!) erwartet werden (z. B. Lichtschacht im Mittelstreifenbereich einer Autobahn<sup>50</sup>).

**Tabelle 31: Regelquerschnitte verschiedener Straßenklassen und Empfehlungen des MAmS (Ausgabe 2000) zu den jeweiligen Durchlassgrößen**

Straßenklasse	Kreisstraße	Landes-/ Staatsstraße	Bundesstraße			Bundesautobahn	
			2-streifig	3-streifig	4-streifig	4-streifig	6-streifig (8-streifig)
<b>Regelquerschnitt<sup>51</sup> (RQ)</b> (Fahrbahn, Bankett und evtl. Mittelstreifen, Randstreifen etc.):							
RAS-Q	7,5 m	9,5 m	7,5–10,5 m	15,5 m	20,0 m	26–29,5 m	33–35,5 m
RAL-Entwurf / RAA			11,5 m	15–15,5 m	25–31 m	25–31 m	31,5–36 m (38,5–43,5 m)
<b>Empfehlungen für die Durchlassgröße</b> (lichte Weite/lichte Höhe):							
Rahmendurchlass □	100/75 cm					150/100 cm	175/125 cm
Rohrdurchlass ○	100 cm					140 cm	160 cm
Rechteckhaube ▭	110/60 cm					145/80 cm	180/100 cm
Halbkreishaube ⤿	100/70 cm					140/70 cm	160/110 cm

<sup>50</sup> Dies wurde im Forschungsprojekt ansatzweise untersucht (an der A 8 bei Perl), ließ sich aber leider aufgrund dort fehlender Amphibienwanderungen nicht in ihrer tatsächlichen Wirkung überprüfen.

<sup>51</sup> RAS-Q = Richtlinien für die Anlage von Straßen mit dem Abschnitt „Querschnitt“ (bisherige Regelungen), RAL / RAA = Richtlinien für die Anlage von Landesstraßen / Autobahnen (aktuelle Regelwerke, u. a. aufgrund zukünftig breiterer Seiten- und Mittelstreifen)

Bei der Konzeption derartig langer Durchlässe unter Verkehrsstraßen werden vermutlich nur deutlich breitere Durchlässe sowie eine hohe Tunnelsequenz pro Straßenkilometer wirkungsvoll sein können, was letztlich einer Aufständigung der Straße schon sehr nahe kommt. Ob die hierfür zu veranschlagenden sehr hohen Kosten aber tatsächlich noch in Relation zum Nutzen stehen können, ist fraglich. Hier erscheint es deshalb überprüfenswert, ob nicht die gleichen (oder sogar geringere) Mittelaufwendungen in Biotopgestaltungsmaßnahmen im Straßenumfeld besser investiert wären.

Entgegen den Angaben im MAmS (Ausgabe 2000), das Durchlasslängen bis zu 50 m vorsieht, könnte eine Kleintierschutzanlage für Anuren (Kröten und Frösche) nach vorliegender Erkenntnis allerdings nur bis maximal zur Breite einer 3-streifigen Bundesstraße (bis RQ 15,5) noch zielführend sein. Bei Molchen dürfte eher sogar ein RQ 11 von Landes-/Staatsstraßen bereits die Obergrenze des Vertretbaren sein. Ansonsten ist die Anlage von Ersatzlebensräumen sinnvoller, beiderseits der Straße mit Sperreinrichtungen abgesichert und nur vereinzelt einem Durchlass zur Ausrechterhaltung des erforderlichen sporadischen Genaustauschs zwischen Populationen beiderseits der Straße. Einzelne Durchlässe sind für die Unterstützung von Biotopvernetzungen (insbesondere entlang vorhandener linearer Landschaftselemente, wie Wasserläufe, Heckenzüge, Baumreihen, Waldränder etc.) bedeutsam (FGSV 2008). Dies ist auch in Bezug auf Amphibien wichtig zur funktionalen Aufrechterhaltung von Verbindungen zwischen „*patches*“ (temporär besetzte oder nicht-besetzte Laichplätze) nach dem Metapopulationsmodell. Differenziert werden kann hierbei zwischen Hauptvorkommen („*main populations*“) mit „Satellitenhabitaten“ im Umfeld (= „*source-satellite*“-Situation) oder – besonders schwierig zu erkennen – viele Einzelhabitate ohne „*main population*“.

Alternativ zu Durchlässen unter der Straße könnte bei Hanglage im Einzelfall auch die Mitnutzung einer Grünbrücke mit Gefälle und Wasserrinne den gleichen Effekt bewirken. Wirtschaftlich erscheint diese Lösung aber nur im Ausnahmefall, wenn aus anderen (artenschutzrechtlichen) Gründen eine Grünbrücke ohnehin erforderlich wird. Voraussetzung ist immer eine wirklich gute Vorkartierung, die das jeweilige Verteilungsmuster der wertgebenden Populationen/ Populationsteile im größeren räumlichen Bezug erkennt und darauf aufbauend die jeweils beste Lösung (ökologisch und ökonomisch) für individuelle Planungsfälle findet.

## 6.2 Welche Anforderungen sind an den Bau einer dauerhaften Amphibienschutzanlage zu stellen?

Voruntersuchungen über mindestens zwei Jahre müssen die Wanderströme möglichst genau ergründen, damit die Schutzanlage daran orientiert werden kann. Im Nahbereich zum Laichplatz wandern Amphibien zielgerichteter als fernab des Laichplatzes, dadurch können Durchlässe in Laichplatznähe in der Regel einfacher gestaltet werden als fernab davon. Auch entsprechend den jeweils vorkommenden Arten kann die Ausgestaltung einer Schutzanlage differenziert werden. Von schmalen Durchlässen mit einem Durchmesser unterhalb der Empfehlungen des MAmS (Ausgabe 2000) ist davon unabhängig aber zumeist abzuraten. Die Gefahr einer Unpassierbarkeit durch Verstopfung mit Laub oder Unrat ist einfach zu groß und oft lassen solche Durchlässe sich auch nicht oder nur sehr schlecht reinigen. Auch



Durchlässe mit offenen Schlitzen oder Gitterrostabdeckungen im Fahrbahnbelag eingebaut können bei regelmäßig befahrenen Straßen nicht empfohlen werden. Schadstoffeinträge, hohe Schallpegelentwicklungen (z. B. VEITH et al. 1995) und schnelle Luftdruckunterschiede (z. B. HUMMEL 2001) durch darüber hinweg fahrende Fahrzeuge sind mit einem straßenquerenden Tierdurchlass nicht vereinbar.

Die Funktionalität von Kleintierdurchlässen muss sowohl von Anbeginn ihrer Nutzbarkeit wie auch nach jahrelangem Betrieb gewährleistet sein. Dies beinhaltet insbesondere, dass von ihnen keine neuen Gefahren ausgehen dürfen, die über das allgemeine Lebensrisiko hinaus gehen. Hierzu gehört:

- Nur gut gewässerte Betonbauteile ein zu bauen, bzw. diese nach dem Einbau gut ab zu spülen (auch Ortbeton zur Feingestaltung), um Betonschleier zu entfernen (pH-Wert-Absenkung auf neutrales Maß und Abwendung hygroskopischer Wirkung).
- Keine Bodengestaltung mit Schottersteinen (diese sind in der Regel nicht pH-neutral und bilden für kleine Tiere einen sehr rauhen Untergrund) und keine Verwendung von ferromagnetischen Gesteinssplitt (Überlagerung des Erdmagnetfeldes).
- Einbau von magnetfreien Betonelementen (z. B. Röhren aus Glasfaserbeton) oder solchen, die am Magnetfeld der Erde ausgerichtet sind. Telemetrieversuche mit adulten Erdkröten, die mit einem Dauermagneten auf dem Kopf ausgestattet wurden, zeigten nach Verfrachtung eine längere Re-orientierungsphase als Vergleichstiere ohne einer derartigen Störung ihres Magnetfeldsinns (vgl. FINCK 1996). Auch scheinen Jungkröten sich von „unnatürlichen“ Erdmagnetfeldmustern eher abschrecken zu lassen.
- Fugendichte Ausführungen an der Sperreinrichtung, um ein Überklettern zu verhindern
- Fugendichte Ausführungen im Tunnelinnern sind insbesondere dann bedeutsam, wenn tiefe Kluften in den Straßenuntergrund führen (Gefahr: Schotterbett ohne erkennbaren Ausgang und ggf. stark alkalisch)
- Feuchte Bodenverhältnisse sind günstig (vor allem für Jungtiere), aber erscheinen nicht unbedingt essenziell
- Streifenfundamente für Stelztunnel sollten mit senkrechter Innenkante gestaltet werden und der anstehende Boden dazwischen weitgehend im Urzustand belassen bleiben, da die Kapillarporen nur so erhalten bleiben (ein nachträglicher Bodeneintrag ist meist zu trocken)
- Eine Nutzung des Durchlasses zum Abführen unbelasteten (!) Oberflächenwassers ist denkbar und über Wasserrückhaltesysteme (z. B. Prinzip der Durchlässe in den Amphibienschutzanlagen der Parkstraße in Darmstadt [nach NIEDERSTRAßER, pers. Mitt. 2006] oder System unter der A 8 bei Wels in Österreich [nach KYEK & WITTMANN 2003 und 2004]) sogar förderlich zur Erhöhung der Luftfeuchtigkeit, aber bei Überflutungen sind Bermen beiderseits des Durchlasses unbedingt erforderlich (auch zur Vermeidung von Engpässen bei „Gegenverkehr“ oder Räuberpassage, wie z. B. Fischotter, Katzen, Ringelnattern etc.)
- Verkehrslärm in einem Durchlass unter der Straße schien bei den Wahlexperimenten nicht als aversiver Faktor zu wirken, sondern lockte die Versuchstiere sogar eher an. Vor diesem Hintergrund erscheint es prüfenswert, ob gegebenenfalls natürliche Gerä-

sche, wie sie an Amphibienlaichplätzen regelmäßig vorkommen (z. B. Paarungsrufe von Fröschen oder Abwehrlaute von Erdkrötenmännchen), nicht sogar einen Anreiz zum Betreten und zur Durchwanderung bieten könnten. Es ist durchaus denkbar, dass Arten, die selbst keine eigenen lautstarken Rufe von sich geben (z. B. Molche), sich an den Geräuschen anderer Arten bei ihrer Wanderung im unübersichtlichen Gelände leiten lassen.

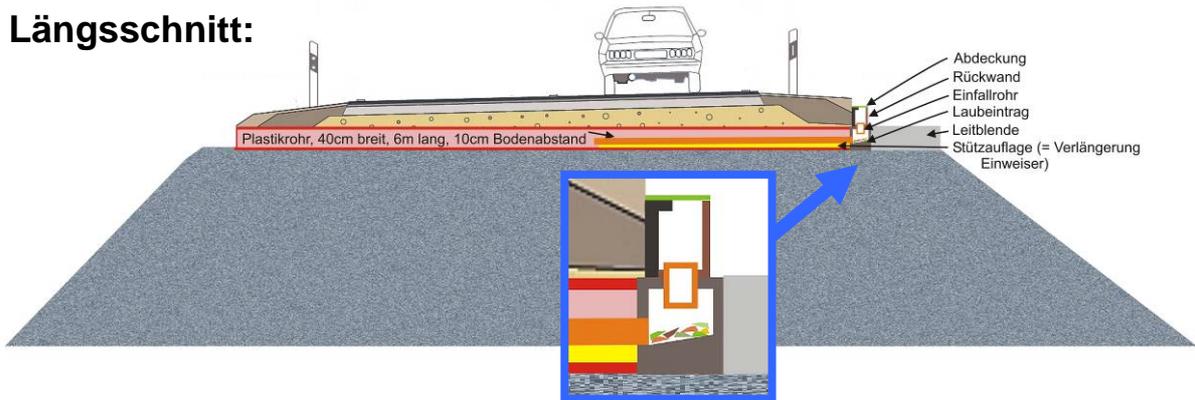
- Besonders laute Durchlässe (mit Betonboden) können jedoch grundsätzlich mit Schallabsorbern ausgestattet werden. Diese müssen witterungsbeständig sein und einen Schutz vor mechanischer Zerstörung aufweisen. Dazu bietet sich ein so genannter „Lochplattenschwinger“ aus gelochtem Metallblech an, der vollflächig an beiden Wänden und vollflächig an der Decke angebracht werden kann.<sup>52</sup>
- Die sporadische Beleuchtung eines Areals im Wanderkorridor der Amphibien scheint dagegen eher abschreckend zu wirken, wie auch aus den Arenaversuchen hervorging. Die Schreck- und Fluchtreaktion vieler Tiere auf ein Anleuchten mit Taschenlampenlicht (auch aus größerer Entfernung) ist Ausdruck eines natürlichen Verhaltens von Tieren, die ungewohnten Situationen ausgesetzt werden. Andererseits spähen aber auch viele Kröten und Frösche in das Scheinwerferlicht von auf sie zurollenden Fahrzeugen, statt zügig die Fahrbahn zu verlassen, ein Effekt, der beispielsweise auch bei Hasen, Rehen und Wildschweinen vielfach zu beobachten ist (= schreckhaftes Verharren). Zur Steigerung der Akzeptanz von Durchlässen in Kleintierschutzanlagen liegt es aber aufgrund der obigen Ergebnisse nahe, Laufflächen vor Leiteinrichtungen und Durchlasseingängen so zu gestalten, dass die Lichtkegel vorbeifahrender Fahrzeuge diese nicht überstreichen. Dies kann durch ein Hochziehen der Leitwände über das Niveau des Straßenbelags hinaus (bzw. alternativ durch einen kleinen Erdwall parallel zur Straßenböschung) erreicht werden oder durch eine „Überdachung“ der Lauffläche (z. B. durch nach innen schalenartig eingewölbte, statt senkrechte Leitwände) und ein trichterförmiges Eingangsportal an den Durchlässen.
- Die Nutzbarkeit von Kleintierdurchlässen kann hinausgehen über die reine Funktion als Passage unter einer Straße hindurch. Die dortigen mikroklimatischen Bedingungen sind durchaus geeignet, auch als Wohnbehausung dienen zu können. Dazu sind aber Versteckangebote notwendig, die natürlicherweise durch Laubeinwehungen entstehen können. Dies lässt sich aber auch künstlich erzeugen, indem zum Beispiel Hohlraum bietende Steine (z. B. Hohlblocksteine, Tonhalbschalen usw.) in die Durchlässe hineingelegt oder auch fest eingebaut werden. Dass derartige bauliche Veränderungen zur Erhöhung der Versteckangebote im Innenraum bislang strukturarm gestalteter Kleintierdurchlässe auch bei regelmäßigen Tunnelreinigungen und Inspektionen nicht hinderlich sind, sollte bei entsprechenden Ansätzen Berücksichtigung finden.

<sup>52</sup> Ausführungsvorschlag nach WINTER 2009 (Schichtaufbau von außen nach innen):

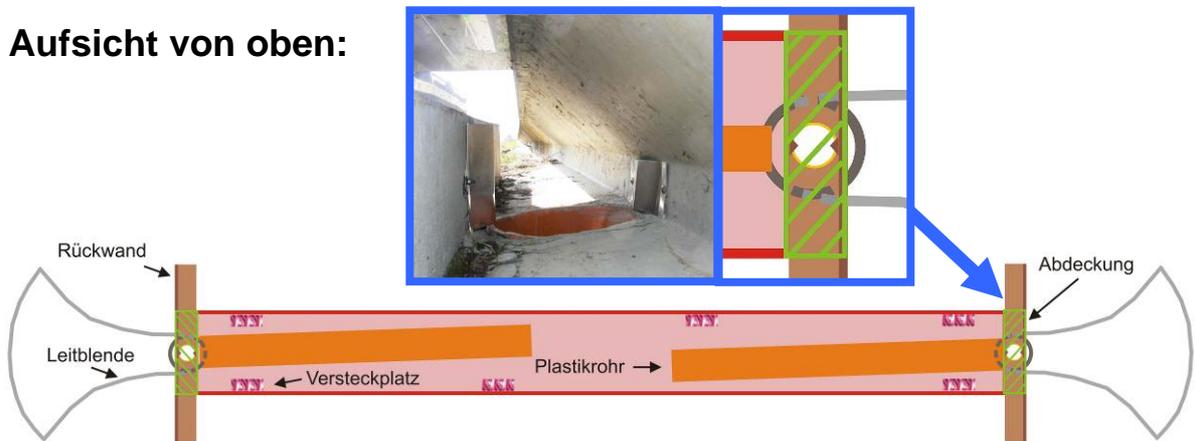
1.) 150 mm Unterkonstruktion auf die Tunnelwand, dazwischen vollflächig schallabsorbierende Hinterlegung aus 40 mm dicken Mineralfaserplatten nach DIN EN 13162 (Strömungswiderstand  $> 5 \text{ kPa} \times \text{s/m}^2$ ) in 20  $\mu\text{m}$  dicke Polyethylen-Folie eingeschweißt.

2.) 0,5 mm Metallochblech, mit 3 mm Lochdurchmesser und 30 % Lochflächenanteil (Ein derartiger Lochplattenschwinger weist über den gesamten Frequenzbereich einen etwas geringeren Schallabsorptionsgrad als der offenporige PUR Weichschaum auf, dies wird jedoch durch die deutliche Erhöhung der schallabsorbierenden Fläche ausgeglichen. Die Schallpegelsenkung im Tunnel wird bei vollflächigem Einbau eines derartigen Lochplattenschwingers im Bereich von ca. 3 dB liegen. In der Praxis wird selten mehr als eine Pegelsenkung durch Schallabsorption von 3 dB erreicht werden können.

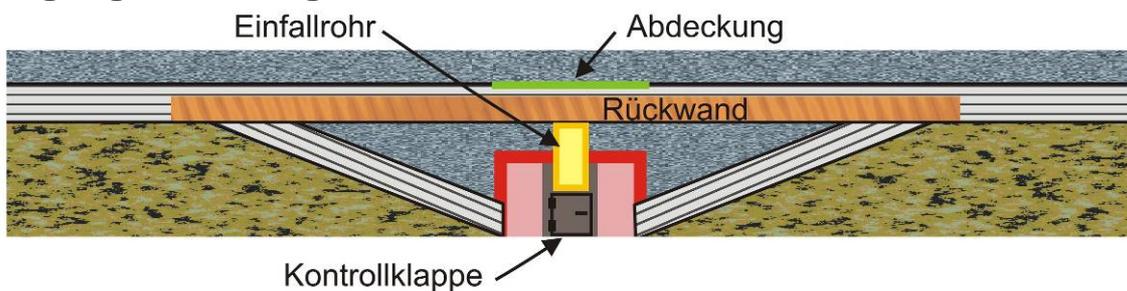
**Längsschnitt:**



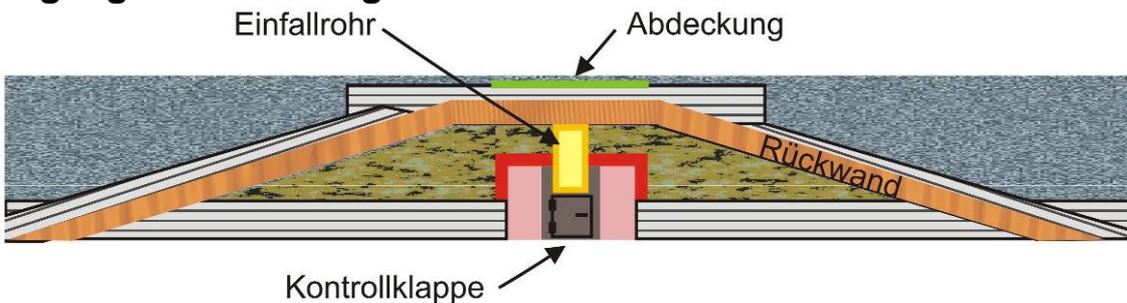
**Aufsicht von oben:**



**Eingang bei tiefliegendem Durchlass:**



**Eingang bei ebenerdigem Durchlass:**



**Abbildung 71: Prinzipskizze einer Kombination aus Ein-Weg- und Zwei-Wege-Durchlass, auch zum nachträglichen Einbau in bestehende Kleintierschutzanlagen geeignet, evtl. auch nur einseitig (Diskussionsentwurf von NIEDERSTRÄßER & FUHRMANN 2010)**

- Der Einbau von Ein-Weg-Durchlässen ist aufwändig und widerspricht dem Ansatz, einen Durchlass als „Querungshilfe“ und nicht als „Zwangspassage“ gestalten zu wollen. Gerade auch an Tierwechsellinien ohne Saison bedingtem Wanderhintergrund können solche Systeme kontraproduktiv sein. Die im Forschungsprojekt aber getestete Kombination aus offenem Durchlass mit einer „Einfallrutsche“ scheint die Vorteile beider Systeme gut zu vereinbaren. Die leichte Rückführung eventuell irrtümlich hineingeratender Tiere (Igel etc.) unterscheidet dieses Kombinationssystem grundlegend von reinen Ein-Weg-Durchlässen. Gleichzeitig ist aber die Eintrittsquote in den Durchlass hinein deutlich erhöht gegenüber den offenen Zwei-Wege-Systemen. Es besteht noch Experimentierbedarf an baulichen Details vor einer standardmäßigen Einführbarkeit des Systems, aber das Prinzip (vgl. Abb. 71) erscheint ausbaufähig und zielführend. Wichtig ist, dass die Durchlasseingänge zwar auf Amphibiendimensionen abgestellt werden, aber trotzdem auch Kleinsäugetieren und anderen Tieren ein Eintritt gewährt wird. Bei der Neukonzeption eines derartigen Kombinationsdurchlasses sollte eine Bauwerksbreite von mindestens 1400 mm gewählt werden, um die konstruktionsbedingte Einengung der unteren Eingangsöffnung möglichst niedrig zu halten. Ein nachträglicher Einbau in 1000 mm-Durchlässe erscheint zwar ebenfalls möglich, was auf seine tatsächliche Funktionalität aber noch überprüft werden muss. Überschlägig können die Kosten für eine einseitige Nachrüstung eines Durchlasses nach der oben dargestellten Planskizze je nach Geländesituation auf 2.000 – 3.000 Euro beziffert werden.

Die Vielfältigkeit von Geländesituationen und lokal-spezifischen Wanderbewegungen von Amphibien und anderen bodengebundenen Kleintieren machen es schwierig, eine „Standardlösung“ für den Bau von Kleintierschutzanlagen zu präsentieren. Sinnvoll könnte aber die Ausweisung von funktionsgerechten „Musterschutzanlagen“ sein, an denen die Aus- und Fortbildung zur Anlagenerrichtung und –unterhaltung vorgeführt werden kann.<sup>53</sup>

### **6.3 Was ist bei der Unterhaltung einer dauerhaften Amphibien-schutzanlage zu beachten?**

Kleintierschutzanlagen können nur dann ihre vorgesehene Funktion entfalten, wenn sie intakt gehalten werden. Als Teil des Straßenkörpers ist hierfür allein die Straßenbauverwaltung verantwortlich. Genau wie für andere Bau- und Bestandteile der Straße ist dazu ein verbindlicher Wartungs- und Pflegeplan aufzustellen mit möglichst präzisen Angaben zu Zeitpunkt, Art und Umfang von Kontroll- und Pflegemaßnahmen (vgl. z. B. SCHWEIMANN 2005 u. FGSV 2008). Dazu gehört eine jährliche Funktionsprüfung, bei der nicht nur auf die Abweh- rung von Unfallgefahren durch eventuell gelockerte Bauelemente zu achten ist, sondern auch auf die Dichtheit der Sperreinrichtung und Durchgängigkeit der Durchlässe. Besonde- res Augenmerk ist hierbei auch auf die Beseitigung möglicher Tierfallen (z. B. Müll in Form von Flaschen, scharfkantigen Blechdosen etc.) und Überkletterhilfen (herabhängender Überwuchs, offene Fugen usw.) zu legen.

---

<sup>53</sup> Arno GEIGER vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz in Nordrhein-Westfalen schlägt hierzu vor, bundesweit verteilt so genannte „Vorzeiganlagen“ für zertifizierte Bau- und Pflegeunterweisungen in einer Auswahlliste zu führen (pers. Mitt. 2010).

Das vielfach übliche Durchspülen ist eigentlich nur unmittelbar nach Fertigstellung des Bauwerks notwendig (um den Betonschleier zu entfernen). Danach erscheint es eher entbehrlich, sofern keine Verstopfungen auftreten (z. B. durch eingeschwemmtes Bodenmaterial oder Laub), die anderweitig nicht entfernt werden können (z. B. mit Hilfe eines Teleskoprechens). An Durchlässen, die gesichert nicht von größeren Tieren (Marder, Fischotter, Wildkatze etc.) genutzt werden, könnte bei regelmäßig auftretenden Laub- oder Mülleinwehungen durch ein grobes Gitter an den Durchlasseingängen versperrt werden. Zu Revisionszwecken sollten diese aber geöffnet werden können.

Neben diesen Funktionskontrollen sind außerdem in größeren regelmäßigen Abständen Wirksamkeitsüberprüfungen durch Fachleute erforderlich. Ähnlich einer technischen Bauwerkskontrolle von z. B. Brücken ist für eine funktionale Gewährleistung eine biologische Überprüfung von Kleintierdurchlässen erforderlich. Für die hierbei anzuwendenden Methoden ist die Entwicklung eines Standards dringend anzuraten, um zu möglichst objektiven und miteinander vergleichbaren Ergebnissen zu gelangen (s. z. B. GEISE et al. 2008). Zur Anwendung können beispielsweise Fangeimerkontrollen mit und ohne Markierungen der gefangenen Tiere kommen sowie auch Videoüberwachungen. Ziel sollte unter anderem sein, eventuelle Veränderungen im Wanderstrom der Tiere zu erkennen, um darauf abgestellt gegebenenfalls neue Zuleitungen zu den vorhandenen Durchlässen aus flexiblem Zaunmaterial aufstellen zu können oder auch eine Sperrreinrichtungsverlängerung vorzunehmen.

Eine zweimal jährlich durchgeführte Mahd (Ende Mai bis Mitte Juni vor Abwanderung der Jungtiere sowie im September vor Beginn der Herbstwanderung) ist unverzichtbar, um ein Freihalten der Sperr- und Leiteinrichtungen vor aufkommendem Bewuchs zu gewährleisten. Aber es ist auch die Gestaltung und Pflege des Anlagenumfeldes ausschlaggebend für die Sinnhaftigkeit teurer Investitionen in Form von Amphibienschutzanlagen an Straßen. So rügen beispielsweise Landesrechnungshöfe zu Recht die Funktionslosigkeit einzelner Amphibienschutzanlagen nachdem benachbarte Laichplätze austrocknen und Sommerlebensräume verbuschen. Da diese Teilhabitate meist weiter von der Straße entfernt sind, müssen hierzu Straßenbau- und Naturschutzverwaltung in enger Abstimmung zu einem gemeinsamen und langfristig angelegten Gestaltungs- und Pflegekonzept im Amphibienlebensraum kommen. Auch ehrenamtliche Kräfte können hierbei eine wichtige Rolle spielen. So kontrollieren beispielsweise Mitglieder des NABU im Landkreis Dahme-Spreewald monatlich die Amphibienschutzanlage an der L 51. Dabei werden herabgefallene Äste und Müll beseitigt und umgefallene Bäume dem Straßenbauamt gemeldet (nach LEBER 2003 in DUNKEL 2004). Ein Beispiel, das Schule machen könnte.

## 7. Zusammenfassung

Das Forschungsprojekt verfolgte das Ziel, den möglichen Einfluss der Laufsohlenbeschaffenheit und des Mikroklimas vor und in Durchlässen von Amphibienschutzanlagen auf die erfolgreiche Durchquerung durch Amphibien und andere Kleintiere zu ergründen. Es umfasste eine Laufzeit von vier Jahren. Der Einbau dauerhafter Schutzanlagen an Straßen, bestehend aus einem System meist aus Beton- und/oder Stahlteilen für Sperreinrichtungen entlang der Straße und Tunneldurchlässe verschiedener Bauformen, gilt bereits seit mehreren Jahrzehnten als eine Standardlösung zur Vermeidung und Minderung von Beeinträchtigungen des Naturhaushalts.

Vereinzelte durchgeführte Wirksamkeitsuntersuchungen jüngerer Datums an Amphibienschutzanlagen zeigten eine unterschiedliche und zum Teil nur geringe Annahme durch die Tiere bzw. geringe Querungserfolge. Entsprechend wirkt diese nach dem europäischen Artenschutzrecht und der Eingriffsregelung des Bundesnaturschutzgesetzes zu erbringende Minimierungsmaßnahme nicht immer zufriedenstellend und Amphibienpopulationen brachen trotz hoher Mittelaufwendungen offensichtlich in einigen Fällen ein. Einzelbeobachtungen zufolge kehrten bereits in die Tunnel eingewanderte Tiere nach einigen Metern wieder um und verließen ihn. Ursächlich für niedrige Querungsraten schien demnach nicht eine grundsätzliche Scheu vor dem Betreten der Tunnel zu sein. Es bestand vielmehr die Vermutung, dass in den Durchlässen austrocknende und abkühlende Verhältnisse herrschen, welche die Tiere zum Abbruch ihrer Querungen bewegen. Aber auch andere mögliche Ursachen für dieses Verhalten der Tiere sollten überprüft werden. Ziel des Projektes war die Bestätigung oder Ablehnung der Hypothese, dass Laufsohlenbeschaffenheit und Mikroklima wesentlichen Einfluss auf die Durchquerung der Tunnel durch Amphibien nehmen. Dies wurde experimentell an einer Auswahl unterschiedlicher Amphibientunnel von 16 bundesweit verteilten Schutzanlagen überprüft. Die Auswahl umfasste alle Straßenklassen (4x Gemeinde-/Kreisstraße, 4x Landes-/Staatsstraße, 6x Bundesstraße und 2x Autobahn), wodurch auch unterschiedliche Durchlasslängen von 7 – 42 m im Untersuchungsprogramm vertreten waren.

Es sollte geklärt werden, welche Verhaltensweisen Amphibien und andere Kleintiere bei der Tunneldurchquerung zeigen, welche physikalischen und mikroklimatischen Eigenschaften verschiedene Durchlasstypen und Laufsohlen haben und wie diese Einflüsse das Verhalten der querenden Tiere beeinflussen. Zum Abschluss stellte sich die Frage, ob sich die Durchquerungsrate durch bauliche Veränderungen erhöhen lässt.

Überprüft wurden physikalische Eigenschaften von Schutzanlagenteilen, wie Hygroskopizität und Alkalität, Magnetfeldmuster, Vibrationen und verkehrsbedingte Lärmentwicklungen sowie die Lichtverteilung am Durchlasseingang und Lichtblitze vorbeifahrender Autos. Gemessen wurden außerdem mikroklimatische Bedingungen innerhalb und außerhalb der Durchlässe (Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und deren Austrocknungswirkung). Effekte auf das Verhalten anwandernder und querender Tiere wurden vor Ort protokolliert und durch Filmaufnahmen ergänzt. In abgeäuerten Versuchsanlagen wurden eingesetzte Tiere verschiedenen Wahlexperimenten ausgesetzt, in denen ihre Eintrittshäufigkeit und ihr Verhalten vor jeweils zwei alternativen Durchlasseingängen mit und ohne Veränderungen beobachtet wurden. An einigen der Durchlässe in bestehenden Amphibienschutzanlagen wurden versuchsweise Veränderungen vorgenommen und deren Auswirkungen auf

das Verhalten der anwandernden Tiere analysiert. Getestet wurden folgende Parameter: Ferromagnetismus, Lichtblitze vorbeifahrender Autos, Beleuchtung des Durchlasses, Luftzug und Lärm im Durchlass, Bodenfeuchtigkeit vor und im Durchlass, Versteckplatzangebote im Durchlass und Zuleitung zur Durchlassöffnung. Außerdem wurde an einem Durchlass die Effizienz eines nachträglich eingebauten Einfallrohrs für adulte Springfrösche im Frühjahr und juvenile Erdkröten im Sommer überprüft.

Ergebnis der Untersuchungen ist, dass die Böden der Durchlässe sehr unterschiedlich gestaltet sein können, aber nur im Einzelfall die Fortbewegung kleiner Tiere aufgrund ihrer Oberflächenstruktur behindern. Selbst Laub- und Mülleinwehungen in den Durchlässen führen nicht zwangsläufig zu einer Unpassierbarkeit für Amphibien und andere Tiere vergleichbarer Größe. Wiederholt konnte beobachtet werden, dass bei grabfähigem Untergrund einige Tiere sogar die Durchlässe als Tagesversteck nutzten. Das Verhalten der Anwanderer variierte bei Durchlässen, die während der Frühjahrswanderperiode von Staunässe geflutet waren.

Die Hygroskopizität von Betonbauteilen erwies sich nicht als beeinträchtigend für die querenden Tiere. Viele Betonbauteile sind im oberen Tunnelbereich deutlich alkalisch, doch die Laufbereiche wiesen selbst unter der Straßenmitte immer pH-neutrale Verhältnisse auf. Das Erdmagnetfeld wird an allen Anlagen mit Metallzäunen und metallarmierten Betonbauteilen stark verändert und fällt dadurch als Orientierungsmöglichkeit für anwandernde und querende Tiere völlig aus. Tunnel mit schallhartem Betonboden sind lauter als Stelztunnel über einem Naturboden. Eingangsverengungen mit beispielsweise einem großen Leitblendeelement führen bereits zu einer deutlichen Schallpegelreduktion. Allerdings können verkehrsbedingte Belastungen, wie Bodenvibrationen und Schallpegel, innerhalb der Durchlässe in ihrer Wirksamkeit eher vernachlässigt werden. Durchlässe sind hinsichtlich ihrer Lichtverhältnisse natürlichen Tiergängen vergleichbar. Da die Wanderaktivität von Erdkröten in hellen Vollmondnächten deutlich vermindert war, wirkte es sich positiv aus, dass bereits 60 cm hinter dem Durchlasseingang nur noch 6 % der Lichtmenge im Außenbereich festgestellt werden konnte.

Mikroklimatisch führen Durchlässe von Amphibienschutzanlagen zu einer deutlichen Dämpfung von Tagesschwankungen der bodennahen Lufttemperatur, Luftfeuchte und von böigen Luftverwirbelungen, wie sie vor Leitanlagen und Durchlasseingängen herrschen. Trotzdem erhöhen Luftbewegungen in den Tunneln die Wasserverdunstung bis zum Doppelten, wie in Experimenten mit wassergesättigten Haushaltsschwämmchen nachgewiesen wurde. Aber auf das Wanderverhalten der Amphibien hatte dies keine nachweislich negativen Auswirkungen.

Das Verhaltensrepertoire der beobachteten Tiere vor den Durchlasseingängen war sehr vielfältig. Verharren oder häufiges Hin- und Herlaufen standen aber im Vordergrund. Etwa 13 % der beobachteten Tiere versuchten zudem, durch Hochstellen und Klettern an Leit- und Sperrrichtungen das Schutzanlagensystem zu umgehen, was aber bei keiner der Beobachtungen gelang. Die meisten Tiere hielten sich dicht an der Sperrwand, bzw. unmittelbar vor den Durchlasseingängen auf, während nur 39 % der Amphibien auch tatsächlich hineinwanderten. An Ein-Weg-Durchlässen mit einem Fallrohr lag die Eintrittsquote dagegen bei nahezu 100 %. Es wurden auch Tiere anderer Tiergruppen bei der Durchquerung der Kleintierdurchlässe beobachtet: vor allem „Mäuse“, aber auch Laufkäfer, Hundertfüßler und sogar

verschiedene Fluginsekten. An größeren Tieren konnten Hauskatzen und Marder beobachtet werden sowie Ringelnattern, die an den Anlagen auf junge Amphibien als Beute warteten.

Die Verhaltensbeobachtungen in den Versuchsarenen erbrachten keine eindeutigen Ergebnisse in Hinblick auf eine Präferenz oder Ablehnung bestimmter Veränderungen an Tunneleingängen. Tendenziell wurden aber Durchlässe ohne Störung durch Lichtblitze oder solche mit einer künstlichen Lärmquelle bevorzugt. Bei den *in situ*-Experimenten waren es allerdings die Abbremsung von Luftbewegungen im Durchlass, das Angebot an Versteckplätzen und die Verlängerung von Leitblenden am Durchlasseingang, die zu vergleichsweise hohen Eintrittsraten der anwandernden Tiere führten. Die höchste Einwanderungsquote wurde aber beim versuchsweisen Ansatz mit einer Einfallröhre in einen beiderseitig offenen Stelztunnel erreicht. Fazit: Viele der heranwandernden Tiere gingen nicht in die Durchlässe hinein und einige der anderen kehrten nach ihrem Eintritt wieder um. Unter den physikalischen Parametern waren Magnetfeldänderungen entlang der Laufstrecke der Tiere bei allen untersuchten Anlagen am auffälligsten, verblieben aber bezüglich ihrer tatsächlichen Wirkung unklar.

Die Untersuchungsergebnisse wurden schließlich vor dem Hintergrund einer konzeptionellen Betrachtung zum sinnvollen Einsatz, zur Gestaltung und zur Wartung von Amphibienschutzanlagen diskutiert. Hierbei wurde darauf hingewiesen, dass es neben der „Standardlösung“ nach dem Merkblatt für Amphibienschutz an Straßen (MAMs) auch eine ganze Reihe anderer Raumnutzungssituationen gibt, für die alternative Maßnahmen zu bevorzugen wären. Auch scheinen „klassische Schutzanlagen“, die an saisonalen Wanderstrecken zum Einsatz kommen, an breiten Straßen (wie im Regelfall Autobahnen) nicht zielführend zu sein. Je nach vorkommenden Arten ist zudem eine Differenzierung vorzunehmen: bei Kröten und Fröschen Straßenbreiten bis max. RQ 15,5 (= 3-streifige Bundesstraße), bei Molchen bis max. RQ 9,5 (= Landes- oder Staatsstraße). Für die Gestaltung von Durchlässen beim Bau einer dauerhaften Amphibienschutzanlage wurden schließlich mehrere Kriterien aus den Untersuchungsergebnissen abgeleitet. Anlagen in der Nähe zum Laichplatz der Amphibien können in der Regel einfacher gestaltet werden, als solche fernab davon. Es wurde auch auf den Aspekt hingewiesen, dass Durchlässe von Kleintierschutzanlagen nicht nur die gefahrlose Querung verkehrsreicher Straßen ermöglichen, sondern auch eine Funktion als Versteckplatz (ähnlich wie natürliche Tiergänge) einnehmen können. Bei der Wartung und Pflege von Schutzanlagen ist neben der Kontrolle zur Verkehrssicherheit und grundsätzlichen (technischen) Funktionalität auch die Wirksamkeit in größeren regelmäßigen Abständen zu überprüfen. Hierzu fehlt es aber noch an verbindlichen Vorgaben zur Methode und zum erforderlichen Umfang. Nur auf dieser Grundlage kann gewährleistet werden, dass die investierten Mittel auch dauerhaft die erwartete Wirkung entwickeln. Anhand der Ergebnisse erscheint eine Überarbeitung des MAMs sinnvoll.



## 8. Danksagung

Ohne die tatkräftige Unterstützung vieler Beteiligten wäre das hier beschriebene Forschungsprojekt niemals umsetzbar gewesen. Dafür sei allen Mitwirkenden ganz herzlich gedankt.

Der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) gebührt der Dank, dieses wichtige Thema im Berührungsfeld zwischen Straßenbau einerseits und Natur- und Artenschutz andererseits aufgegriffen zu haben. Für das entgegengebrachte Vertrauen im Zuge der Auftragserteilung an die Beratungsgesellschaft NATUR und die umfängliche Betreuung durch Herrn Dr. U. Tegethof und Kollegen sowie die Unterstützung während des langjährigen Projektverlaufes möchten wir an dieser Stelle unseren besonderen Dank ausdrücken.

Die in der Startphase des Forschungsprojektes durchgeführte Umfrage bei Verbänden und Behörden im Bereich Naturschutz und Straßenbauverwaltung erhielt eine große Resonanz. Für die umfänglich zur Verfügung gestellten Informationen zu bestehenden Amphibienschutzanlagen in Deutschland sei hier ebenfalls sehr gedankt. Dem Naturschutzbund Deutschland (NABU) gebührt außerdem die Anerkennung, die in mühevoller Arbeit von unzähligen, überwiegend ehrenamtlich tätigen Personen erhobenen Daten in der „Schutzzaun-datenbank“ auf seiner homepage ([www.amphibienschutz.de](http://www.amphibienschutz.de)) seit vielen Jahren zusammengetragen zu haben. Ein besonderes Dankeschön ist auszusprechen für die Unterstützung des Forschungsprojektes durch die dortige Veröffentlichung des Aufrufs zur Meldung von realisierten Amphibienschutzanlagen sowie die spezielle Datenaufbereitung in Hinblick auf langjährige Entwicklungen zum Amphibienbestand an den registrierten Sammelstrecken.

Den zahlreichen Mitarbeitern und Helfern sei ebenfalls in besonderem Maße gedankt für ihren unermüdlichen Einsatz zu jeder Tages- und Nachtzeit bei oftmals widrigen Witterungsverhältnissen und für ihre Bereitschaft, je nach Wettergeschehen kurzfristig raus zu fahren und zwangsläufig auch Wochenenden an einer der untersuchten Amphibienschutzanlagen zu verbringen. Da die Wanderaktivität der Amphibien nur selten mit Sicherheit vorhergesagt werden konnte, mussten die Mitarbeiter an den Untersuchungsorten gelegentlich eine hohe Frustrationstoleranz für vergebliche Anfahrten in Kauf nehmen. Auch war der „Kampf“ mit den Tücken zahlreicher technischer Gerätschaften sicherlich nicht immer ganz einfach zu führen.

Herr Dipl.-Ing. P. Urbanke ist für sein hohes Engagement zur Beschreibung der para- und ferromagnetischen Verhältnisse an einer Vielzahl von Amphibienschutzanlagen sehr zu loben. Seine Bachelorthesis stellt einen bedeutenden Teilaspekt des Forschungsprojektes dar. Für seine Erlaubnis, Auszüge daraus hier darstellen zu dürfen, sei ihm herzlich gedankt. Herrn Dipl.-Ing. J. Kreye vom Materialprüfamt an der Hochschule Rhein-Main sowie Herrn Ch. Winter von der Kurz & Fischer GmbH sind wichtige Beiträge zu hygroskopischen Eigenschaften von Beton und zur Lärmausbreitung in Durchlässen von Amphibienschutzanlagen für den nicht-biologischen Teil des Forschungsprojektes in gut verständlicher Aufbereitung zu verdanken.

Für die Arbeiten an den Schutzanlagen sowie für das In-die-Hand-nehmen zahlreicher amphibischer Versuchskandidaten für die vorgenommenen Markierungen und den Einsatz in

den Versuchsarenen war eine ganze Reihe von Genehmigungen erforderlich. Für die durchweg unkomplizierte Erteilung sei den zuständigen Verwaltungen und Behörden ebenfalls herzlich gedankt.

Die ungezählten Gedankenaustausche mit am Forschungsprojekt beteiligten und unbeteiligten Fachkollegen befruchteten die hier beschriebene Studie in vielfältiger Weise. Für die resultierenden Anregungen und hilfreichen Hinweise soll an dieser Stelle ebenfalls ein großes Dankeschön ausgesprochen werden. Dies gilt natürlich ganz besonders für die Diskussionen in ausnahmslos angenehmer Atmosphäre mit den Mitgliedern der projektbegleitenden Arbeitsgruppe.

Last, but not least geht der Dank an Herrn Mark Levy für die von ihm vorgenommene professionelle englische Übersetzung der Kurzfassung.

## 9. Literatur

- BIOLOGISCH-LANDSCHAFTSÖKOLOGISCHE ARBEITSGEMEINSCHAFT (BIOLA, 2007): Amphibienleitanlage K28 Holmer Teiche. Funktionskontrolle 2007. – unveröffentl. Gutachten im Auftrag der Stadt Buchholz. 12 S. Handeloh.
- BITZ, A. & R. THIELE (1996): IV 4.2 Straßenverkehr und Amphibienwanderwege in Rheinland-Pfalz. – in: BITZ, A., FISCHER, K. SIMON, L., THIELE, R. & M. VEITH (Hrsg.): Die Amphibien und Reptilien in Rheinland-Pfalz. – Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz, Beiheft **18/19**: 639 – 646. Landau.
- BLAB, J. (1986): Biologie, Ökologie und Schutz von Amphibien. – Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz **18**: 1 – 150. 3. Aufl., Bonn – Bad Godesberg.
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (Hrsg.): Daten zur Natur 1999, 2002, 2004, Bonn – Bad Godesberg
- BUNDESANSTALT FÜR STRAßENWESEN (bast, Hrsg.): Verkehrs- und Unfalldaten. Kurzzusammenstellung der Entwicklung in Deutschland. – PDF-Seite aus [http://www.bast.de/cdn\\_005/nn\\_42248/DE/Statistik/Verkehrsdaten](http://www.bast.de/cdn_005/nn_42248/DE/Statistik/Verkehrsdaten)
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (Hrsg., 2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. – Beschluss des Bundeskabinetts am 7. November 2007. Reihe Umweltpolitik, 178 S. Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR (Hrsg., 1987): Merkblatt zum Amphibienschutz an Straßen (MAmS) – Ausgabe 1987. – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. 15 S., Köln.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG (Hrsg., 2008/2009): Verkehr in Zahlen. – Eigenverlag. Bonn.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN (Hrsg., 2000): Merkblatt zum Amphibienschutz an Straßen (MAmS) – Ausgabe 2000. – Verkehrsblatt-Verlag. 28. S. Dortmund.
- BÜTTNER, L. (2002): Stationäre Amphibienschutzanlagen (ASA) als Naturschutzmaßnahme im Regierungsbezirk Leipzig. Untersuchungen zur technischen Funktionstüchtigkeit sowie ihrer Perspektive in der Naturschutzarbeit. – Diplomarbeit an der Universität Leipzig, 164 S., Leipzig.
- DEUTSCHER BUNDESTAG (2007): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Anton Hofreiter, Undine Kurth (Quedlinburg), Winfried Hermann, weiterer Angeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drucksache 16/5835 – Bundeswildwegeplan als Ergänzung zum Bundesverkehrswegeplan. – Drucksache 16/6049 vom 11.07.2007, 6 S., veröffentlicht unter <http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/16/060/1606049.pdf>
- DUNKEL, E. (2004): Effizienz und Funktionalität einer stationären Amphibien- und Kleintierschutzanlage in Berlin-Buch. Mit besonderer Berücksichtigung der Wanderphänologie von Amphibien. – Diplomarbeit am Institut für Biologie der Humboldt Universität zu Berlin, 75 S., Berlin.
- ESSWEIN, H. (2007): Der Landschaftszerschneidungsgrad als Maß für Biodiversität? – Treffpunkt Biologische Vielfalt **7**: 157 – 164. Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.), Bonn.
- FGSV – FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (Hrsg., 2008): Merkblatt zur Anlage von Querungshilfen für Tiere und zur Vernetzung von Lebensräumen an Straßen M AQ. – erstellt von der Arbeitsgruppe Straßenentwurf, Arbeitsausschuss: Landschaftsgestaltung, Arbeitskreis: Grünbrücken, Regelwerk der 2. Kategorie (R 2), 48 S. Köln.
- FINCK, Th. (1996): Telemetrische Untersuchung zum Migrationsverhalten der Erdkröte (*Bufo bufo* L., 1758) unter besonderer Berücksichtigung der Magnetfeldorientierung. – Diplomarbeit am Fachbereich Biologie, Institut Zoologie der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. 144. S. + Anhang. Mainz.

- FRANCK, D. (1985): Verhaltensbiologie. Einführung in die Ethologie. – Georg Thieme Verlag, 2. Aufl., 301 S. Stuttgart.
- FREY, E. & J. NIEDERSTRAßER (1999): Baumaterialien für den Amphibienschutz an Straßen. Ergebnisse der Eignungsprüfung an einer Anlage. – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.), Naturschutz-Praxis. Artenschutz **3**: 1 – 159, Karlsruhe.
- FUHRMANN, M. (2001): Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 02.160/1995/LRB des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Untersuchungen der Wirksamkeit von Amphibienschutzmaßnahmen (B 49 bei Koblenz). – Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik **814**: 1 – 114. Bonn.
- GAWLAK, C. (2001): Unzerschnittene verkehrsarme Räume in Deutschland 1999. – Natur und Landschaft **11**: 481 – 484. Bonn – Bad Godesberg.
- GEIGER, R. (1942): Das Klima der bodennahen Luftschicht. – Fr. Vieweg & Sohn, 436 S. Braunschweig.
- GEISE, U., ZURMÖHLE, H.-J., BORGULA, A., GEIGER, A., GRUBER, H.-J., KRONE, A., KYEK, M., LAUFER, H., LÜNEBURG, H., PODLOUCKY, R., SCHNEEWEISS, N., SCHWEIMANN, M., SMOLE-WIENER, K. & S. ZUMBACH (2008): Akzeptanzkontrollen für stationäre Amphibien-Durchlassanlagen an Straßen. Vorgaben für eine Methodenstandardisierung. – Naturschutz und Landschaftsplanung **40**: 248 – 256. Stuttgart.
- GELDER, J.J. VAN (1973): A quantitative approach to the mortality resulting from traffic in a population of *Bufo bufo* L. – Oecologia **13**: 93 – 95.
- GLANDT, D. (2004): Der Laubfrosch. – Laurenti Verlag, 128 S., Bielefeld.
- GLANDT, D., N. SCHNEEWEISS, A. GEIGER & A. KRONSHAGE (Hrsg., 2003): Beiträge zum Technischen Amphibienschutz. – Supplement der Zeitschrift für Feldherpetologie **2**, Laurenti-Verlag, Bielefeld.
- GÜNTHER, R. (Hrsg., 1996): Die Amphibien und Reptilien Deutschlands. – Gustav Fischer Verlag. 825 S. Jena.
- HAHN, G., KOLLING, S., RÜCKER, I., HAINZ, A. & E. REIMANN (2006): Funktionskontrolle der optimierten Amphibienleit- und -schutzanlage an der L 254 am Waldsee im Kreis Neuwied. – Gutachten im Auftrag des Landesbetriebs Straßen- und Verkehr Koblenz, 33 S. Koblenz.
- HEINE, G. (1987): Einfache Meß- und Rechenmethode zur Ermittlung der Überlebenschance wandernder Amphibien beim Überqueren von Straßen. – Veröffentlichungen für Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg, Beiheft **41**: 473 – 479. Stuttgart.
- HENSCHEL, H. (2007): Teilverlegung der B240 Weenzen-Fölziehausen. Monitoringuntersuchung 2007 an der Amphibienleit- und -schutzanlage. – unveröffentl. Gutachten. Hannover.
- HEUSSER, H. (1968): Die Lebensräume der Erdkröte *Bufo bufo* (L.), Größenfrequenz und Populationsdynamik. – Mitteilungen der naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen **29**: 1 – 29. Schaffhausen.
- HOVESTADT, T., ROESER, J. & M. MÜHLENBERG (1994): Flächenbedarf von Tierpopulationen als Kriterien für Maßnahmen des Biotopschutzes und als Datenbasis zur Beurteilung von Eingriffen in Natur und Landschaft. – Berichte aus der Ökologischen Forschung **1**: 1 – 277. Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich.
- HUMMEL, D. (2001): Amphibienschutz durch Geschwindigkeitsbegrenzung – eine aerodynamische Studie. – Natur und Landschaft **76**: 530 – 533. Bonn – Bad Godesberg.
- INNENMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg., 2009): Amphibien schützen. Leitfaden für Schutzmaßnahmen an Straßen. – Schriftenreihe der Straßenbauverwaltung **4**: 1 – 59. Stuttgart.

- JAEGER, J., ESSWEIN, H., SCHWARZ-VON RAUMER, H.-G. & M. MÜLLER (2001): Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg – Ergebnisse einer landesweiten räumlich differenzierten quantitativen Zustandsanalyse. – *Naturschutz und Landschaftsplanung* **33**: 305 – 317. Arolsen.
- JEDICKE, E. (2008): Kosten des Naturschutzes bei Straßenbauprojekten. – *Naturschutz und Landschaftsplanung* **40**: 157 – 158. Arolsen.
- JOHN, I. (2003): Das Wanderverhalten von Erdkröte (*Bufo bufo* LINNAEUS 1758) und Knoblauchkröte (*Pelobates fuscus* LAURENTI 1768) an einer Amphibientunnelanlage am Knappensee/ Oberlausitz. – Diplomarbeit an der Friedrich-Schiller-Universität Jena, Biologisch- Pharmazeutische Fakultät, Institut für Ökologie, 123 S., Wittichenau.
- KLEIN, M. & M. VEITH (1997): Metapopulationen – ein sinnvolles Konzept für den Amphibienschutz? – *Mertensiella* **7**: 17 – 28. Rheinbach.
- KLOFT, W.J. & M. GRUSCHWITZ (1988): *Ökologie der Tiere*. – UTB-Taschenbuch, 2. Aufl., 333 S., Ulmer GmbH, Stuttgart.
- KNEITZ, G. & K. OERTER (1994): Zur Wirksamkeit von Ersatzlaichgewässern für Amphibien beim Bundesfernstraßenbau. – Bericht zum Forschungsvorhaben FE 02.132 G89L der Bundesanstalt für Straßenwesen. 304 S. (Teil A). Bonn.
- KORDGES, TH. (2003): Amphibien-Schutzmaßnahmen an bestehenden Straßen – Anspruch und Wirklichkeit. – in GLANDT, D., N. SCHNEEWEIß, A. GEIGER & A. KRONSHAGE (Hrsg.): Beiträge zum Technischen Amphibienschutz. – Supplement der Zeitschrift für Feldherpetologie **2**: 107 – 128. Bielefeld.
- KUHN, J. (1987): Straßentod der Erdkröte (*Bufo bufo* L.): Verlustquoten und Verkehrsaufkommen, Verhalten auf der Straße. – Veröffentlichungen für Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg, Beiheft **41**: 175 – 186. Stuttgart.
- KYEK, M. & H. WITTMANN (2003): Kleintierdurchlass-Vergleichsanlage. – Projektbericht zur A 8 Innkreis Autobahn, Abschnitt Wels – Sattledt KM 64,700 bis 75,750 Länge = 11050 m, im Auftrag der ÖSAG, 52 S. Salzburg.
- KYEK, M. & H. WITTMANN (2004): Vergleichende Akzeptanzkontrolle an Amphibiendurchlässen unterschiedlicher Bauart mit Hilfe von natürlichen Amphibienpopulationen im oberösterreichischen Alpenvorland. – Beiträge zur Naturkunde Oberösterreichs **13**: 413 – 451. Elsbethen.
- LAUFER, H. & H.-J. ZURMÖHLE (2007): Dauerhafte Amphibienschutzmaßnahmen an Straßen. – Laufer, H., Fritz, K. & P. Sowig (Hrsg.): Die Amphibien und Reptilien Baden-Württembergs. – Ulmer Verlag, S. 143 – 157. Stuttgart.
- LEBER, S. (2003): In 9 Jahren vom mobilen Amphibienschutzzaun zur stationären Schutzanlage. – GLANDT, D., SCHNEEWEIß, N., GEIGER, A. & A. KRONSHAGE (Hrsg.): Beiträge zum Technischen Amphibienschutz. – Supplement der Zeitschrift für Feldherpetologie **2**: 129 – 135. Bielefeld.
- MESCHEDE, D. (2006): *Gerthsen Physik*. – 23. Auflage, Springer Verlag, Berlin und Heidelberg.
- NOWAK, E. (1977): *Ausbreitung der Tiere*. – Die Neue Brehmbücherei **480**: 1 – 143. Ziemsen Verlag, 2. Aufl., Wittenberg Lutherstadt.
- ÖSTERREICHISCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT STRASSE UND VERKEHR (Hrsg., 2003): 04.03.11 Amphibienschutz an Straßen. – Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen, Arbeitsgruppe Verkehr und Umwelt. Wien.
- SCHWEIMANN, M. (2005): Technischer Amphibienschutz an Straßen – Stationärer Leitwandvergleich anhand der MAmS 2000-Kriterien. – *Straßenverkehrstechnik* **49**(6): 307 – 314.
- SINSCH, U. (1998): *Biologie und Ökologie der Kreuzkröte*. – Laurenti Verlag, 222 S., Bochum.

- SSYMANK, A., HAUKE, U., RÜCKRIEM, CH. & E. SCHRÖDER (1998): Das europäische Schutzgebietssystem NATURA 2000. – Bundesamt für Naturschutz (Hrg.), Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz **53**: 1 – 560. Bonn – Bad Godesberg.
- SEITZ, A., FUHRMANN, M., VEITH, M., DÖHR, S. & S. JORDAN (1995): Untersuchungen zur Bedeutung und Akzeptanz der Amphibienschutzanlage in Wiesbaden-Auringen für die Erdkröte (*Bufo bufo* L., 1758). – Bericht im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Landesentwicklung, Wohnen, Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz, dem Hessischen Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen sowie des Amtes für Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz in Wiesbaden, 142 S. + Anhang, Mainz.
- STEINICKE, H., HENLE, K. & H. GRUTTKE (2002): Bewertung der Verantwortlichkeit Deutschlands für die Erhaltung von Amphibien- und Reptilienarten. – Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.), 96 S., Bonn – Bad Godesberg.
- TEZKAN, B. (2006): Skriptum zur Vorlesung „Angewandte Geophysik für Geologen“ im Sommersemester 2006 im Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität Köln, 5. Geomagnetisches Feld, S. 1 – 40. Köln.
- URBANKE, P. (2008): Optimierungsmöglichkeiten für stationäre Amphibienschutzanlagen an Straßen hinsichtlich anlagebedingter Veränderungen des Erdmagnetfeldes. – Bachelor-Thesis an der Fachhochschule Wiesbaden, Fachbereich Geisenheim, Studiengang Landschaftsarchitektur, 141 S. Geisenheim.
- URBANKE, P., FUHRMANN, M. & E. RÜCKERT (2010 in Vorber.): Veränderungen des Erdmagnetfeldes an stationären Amphibienschutzanlagen in Straßen. – Manuskript für die Zeitschrift für Feldherpetologie.
- VEITH, M., FUHRMANN, M., DÖHR, S. & A. SEITZ (1995): Akzeptanz und Effektivität einer Amphibienschutzanlage. Untersuchungen an Erdkröten (*Bufo bufo* L.) in Wiesbaden-Auringen – Problematik, Methoden, Zwischenergebnisse. – LÖBF-Mitteilungen **20** (1): 15 – 22. Recklinghausen.
- VERKEHRSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg., 1991): Amphibienschutz. Leitfaden für Schutzmaßnahmen an Straßen. – Schriftenreihe der Straßenbauverwaltung **4**: 1 – 59. Stuttgart.
- WINTER, CH. (2009): Schallpegelmessungen verursacht durch Straßenverkehrslärm an zwei Kleintierdurchlässen unter der Bundesstraße B3 südlich und nördlich von 76356 Weingarten. – Gutachten der Kurz u. Fischer GmbH, 32 S. Winnenden und Wiesbaden.

## 10. Anhang (auf DVD beim Auftraggeber)

- Fragebogen zur Erfassung von Amphibienschutzanlagen in Deutschland und Verteilerliste
- Protokollmusterbögen zur Erhebung physikalischer und mikroklimatischer Parameter an den untersuchten Durchlässen und zum Verhalten der Tiere im Eingangsbereich
- ACCESS-Datenbank der Erhebungsbögen
- Auswertungstabellen
- Fotodokumentation der untersuchten Amphibienschutzanlagen
- Ausgesuchte Filmsequenzen