

**STRASSENÜBERQUERUNGEN VON IGELN**  
(*Erinaceus europaeus*)

---

DIPLOMARBEIT  
von

FABIO BONTADINA

Ausgeführt unter der Leitung von  
ROBERT ZINGG und PROF. DR. HANS KUMMER

Zoologisches Institut der Universität Zürich  
Abteilung für Ethologie und Wildforschung

JUNI 1991

# INHALTSVERZEICHNIS

## A. EINLEITUNG

Direkte und indirekte Auswirkungen des Strassenverkehrs .....	1
Strassenopfer Igel.....	2

## B. METHODEN

Untersuchungsgebiet.....	5
Untersuchungstiere.....	6
<b>1. DATENAUFNAHME .....</b>	<b>7</b>
Beobachtungsplan.....	7
Markierung der Igel.....	8
Beobachtete Parameter bei Strassenüberquerungen .....	10
<b>2. DATENAUSWERTUNG .....</b>	<b>12</b>
Berechnung der Strassenüberquerungen pro Nacht und Zeitabschnitt.....	12
Probleme bei Datenaufnahme und -auswertung .....	13

## C. RESULTATE

<b>1. AKTIVITÄTSZEITEN DER IGLER .....</b>	<b>15</b>
<b>2. HÄUFIGKEIT DER STRASSENÜBERQUERUNGEN .....</b>	<b>16</b>
<b>3. WANN TRETEN STRASSENÜBERQUERUNGEN VON IGLERN AUF ? .....</b>	<b>18</b>
<b>4. EINFLUSS KÜNSTLICHER BELEUCHTUNG .....</b>	<b>21</b>
<b>5. GEFAHRENBEREICH STRASSE.....</b>	<b>22</b>
Laufgeschwindigkeit bei Strassenüberquerungen.....	22
Winkel der Strassenüberquerungen .....	25
Einfluss der Fahrzeugfrequenz und der Strassenbreite .....	26

## D. DISKUSSION

Strassen im Lebensraum des Iglers .....	29
Strassenüberquerungen in der ganzen Nacht.....	31
Barrierenwirkung von Strassen ?.....	32
<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>35</b>

<b>E. LITERATUR .....</b>	<b>36</b>
---------------------------	-----------

<b>F. ADRESSEN.....</b>	<b>38</b>
-------------------------	-----------

## A Einleitung

### Direkte und indirekte Auswirkungen des Strassenverkehrs

Seit Beginn der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts steigt in der westlichen Welt die Mobilität, verbunden mit einer Tendenz hin zum Individualverkehr, rasant und ungebremst. Die soziologischen, ökonomischen und ökologischen Auswirkungen sind derart umfassend, dass Beobachter dieser Entwicklung das 20. Jahrhundert als das Zeitalter der Massenmotorisierung bezeichnen (HUBER 1982).

Räumliche Auswirkungen zeigen sich unter anderem im zunehmenden und ständig engmaschigeren Strassen- und Wegnetz und der damit verbundenen, fortschreitenden Parzellisierung der Landschaft.

Strassen selbst sind "kein Lebensraum, (...) sondern mit dem über sie rollenden Verkehr und den damit verbundenen Immissionsbelastungen ein Todesstreifen für nahezu alles Lebende" (MADER 1979).

Vom Verkehr und seinen Auswirkungen sind neben dem Menschen eine Vielzahl von Tiergruppen betroffen. Seit 40 Jahren werden mit Publikationen von Erhebungen tödlicher Unfälle bei Vögeln, Amphibien, Kleinsäugetern und jagdbaren Wildtieren auf direkte Folgen des Strassenverkehrs hingewiesen (Übersicht in ELLENBERG et al. 1982) und bald auch schon mögliche Schutzmassnahmen diskutiert (z. B. BERTHOUD & MÜLLER 1983). Erst seit den siebziger Jahren jedoch kommen Untersuchungen zu den indirekten Folgen des Strassenverkehrs hinzu (MADER 1979).

Es konnte gezeigt werden, dass sich viele Auswirkungen lokal auf den Strassenbereich konzentrieren, während Immissionsbelastungen auch weit von Strassen entfernt wirken. Der Zersplitterung von Lebensräumen in kleine Restflächen wurde in jüngster Zeit, in Zusammenhang mit der Inseltheorie, eine immer grössere Aufmerksamkeit geschenkt.

Die von MACARTHUR & WILSON (1967) entwickelte Theorie beschreibt auf Grund von Untersuchungen an marinen Inseln die Abhängigkeit der Artenvielfalt von Inselgrösse und der Entfernung zu anderen Inseln oder zum Festland. Verschiedene Untersuchungen an Habitatinseln, wie sie auch durch die trennende Wirkung von Strassen entstehen, haben eine grosse Übereinstimmung mit den Gesetzmässigkeiten der Inseltheorie gezeigt. So verringert eine zunehmende Isolation der Habitatinsel die

Einwanderungsrate neuer Arten, während gleichzeitig die Aussterberate zunimmt. Dies führt zu einer geringeren Artenzahl. Wird bei einer Art die kritische, minimale Populationsgrösse unterschritten, ist das Aussterben programmiert (SHAFFER 1981).

### **Strassenopfer Igel**

Dem Igel wurde im Vergleich zu anderen Wildtieren schon immer ungewöhnlich viel Sympathie entgegengebracht. Dabei mag sein ansprechendes Äusseres, aber auch eine Betroffenheit ob seiner unverschuldeten Hilflosigkeit, die bei jedem auf der Strasse liegenden Kadaver augenfällig wird, mitspielen. Schon 1957 macht WEINZIERL auf die besondere Gefährdung des Igels durch den Strassenverkehr aufmerksam und wenig später wird vor einer drohenden Ausrottung durch den Verkehr gewarnt (SPONHOLZ 1965, zit. in ELLENBERG et al. 1982).

Da keine genauen Angaben über Populationsgrössen der Igel bestehen und Schätzungen der Zahl überfahrener Igel auf oft gewagten Spekulationen beruhen, ist das Ausmass einer möglichen Bedrohung des Igels durch direkte Folgen des Strassenverkehrs schwer abschätzbar. Verschiedene Autoren nehmen übereinstimmend an, dass die Zahl überfahrener Tiere als Index für die Populationsdichte gelten kann. HANSEN (1969) stellte in Dänemark innerhalb einer 8-jährigen Untersuchungszeit eine Abnahme überfahrener Igel um 40% fest, während das Verkehrsaufkommen in diesem Zeitraum um 147% zunahm. Erhebungen auf einer Strecke nahe München zeigen in einem Zeitraum von 10 Jahren eine konstant grosse Zahl überfahrener Igel, wobei leider nicht auf die Entwicklung des Verkehrs eingegangen wird (REICHHOLF & ESSER 1981).

Unbestritten gelten die Igel als eine der Wirbeltiergruppen, die am stärksten durch den Strassenverkehr direkt betroffen ist. Bei einer Untersuchung von HEINRICH (1978) machten die Igel mit 14% nach den Kaninchen den zweitgrössten Anteil überfahren aufgefundener Wirbeltiere aus. Noch unklar ist nach bisheriger Literatur, ob häufige Strassenüberquerungen oder längere Aufenthalte zur Futtersuche oder Wärmeaufnahme (HORKING 1970) zu den vielen Verkehrsopfern führen.

Zu weiteren Auswirkungen des Verkehrs auf die Igel fehlen bisher Untersuchungen. In der vorliegenden Arbeit interessieren mich deshalb die folgenden Fragen:

Wirken sich die direkten Folgen des Strassenverkehrs auf das räumliche Verhalten der Igel aus? Erkennt also der Igel die Gefahr der Strasse und reagiert sichtbar darauf? Ergibt dies Barrierenwirkungen von Strassen, die zu einem Isolationseffekt führen?

Wäre bei Igeln ein Isolationseffekt durch Strassen vorhanden, so könnte zunächst erwartet werden, dass sie Strassenüberquerungen meiden. Bereits Beobachtungen im Rahmen des Pilotprojektes zeigten aber, dass im Untersuchungsgebiet viele Strassen überquert werden. Das heisst allerdings noch nicht, dass kein Isolationseffekt vorhanden ist. Sowohl beim Hasen (PFISTER et al. 1979) als auch beim Fuchs (zit. in ELLENBERG et al. 1982), die beide relativ häufig Opfer des Verkehrs werden, sind Isolationseffekte beschrieben worden.

In der eigentlichen Datenaufnahme unterschied ich verschiedene Strassentypen und behandle im Rahmen dieser Arbeit deren Einfluss auf die ausgewählten Aspekte Häufigkeit und Zeitpunkt von Strassenüberquerungen, möglicher Einfluss der Strassenbeleuchtung sowie Geschwindigkeit und Winkel bei Strassenüberquerungen.

## Dank

Die vorliegenden Untersuchungen fanden statt im Rahmen einer mehr-jährigen Freilandstudie von Robert Zingg (ZINGG, in Vorb.) zur Raumnutzung und Habitatwahl freilebender sowie in Menschenhand aufgezogener oder künstlich überwinteter Igel.

Robert Zingg danke ich ganz herzlich für die tagtägliche und vor allem nächtliche Unterstützung während meiner ganzen Untersuchungszeit. Ohne die spannenden Diskussionen zum Thema, seiner ausgereiften Methoden zur Markierung und Beobachtung der freilebenden Igel, seiner Mithilfe bei vielen Arbeiten und Beobachtungen im Feld und der ausführlichen Lokalinformationen über Dorfgeschichten und Hintergärten wäre diese Arbeit nie möglich gewesen.

Prof. Dr. Kummer danke ich, dass er mir mit Hinweisen und Vertrauen die Freiheit der Themenwahl und Arbeitsweise überliess und dadurch diese Arbeit ermöglichte.

Prof. Dr. Barbour danke ich für einige Hinweise zum Testen der Resultate. Ganz herzlich danken möchte ich Dr. Beat Naef-Daenzer, der mir mit aussergewöhnlichen Ideen aus dem statistischen Sumpf helfen konnte.

Sandra Gloor, Berni Denzler und Martin Hemmi haben mir in vielen Situationen und bis zur kritischen Durchsicht der Arbeit wichtiges geholfen.

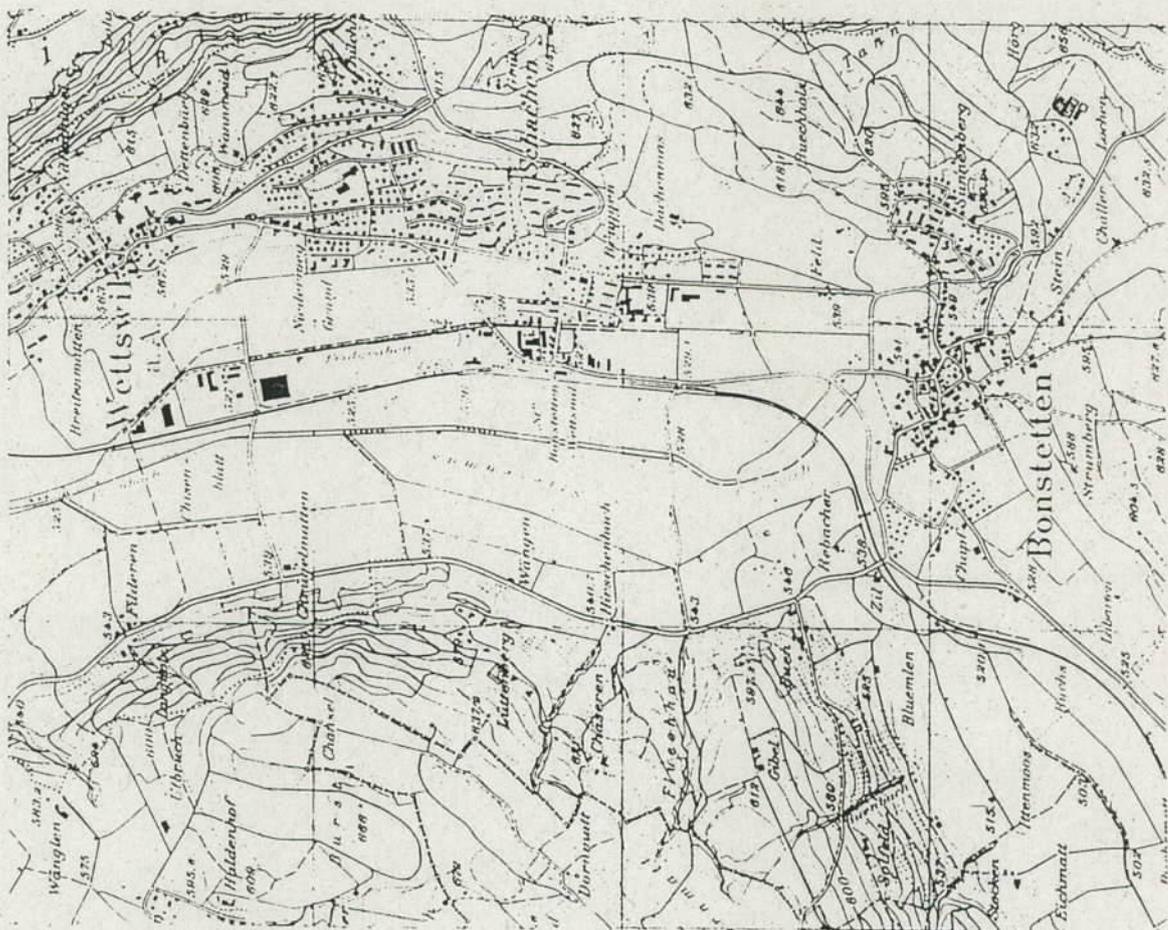
Viele andere haben mich während der Arbeit unterstützt, haben mich in methodischen Belangen beraten, haben Anregungen und Ideen bei der Vorbereitung oder auf nächtlichen Streifzügen beigetragen. Ihnen allen meinen herzlichen Dank!

## B Methoden

### Untersuchungsgebiet

Die Datenaufnahme erfolgte zwischen dem 25. April und dem 19. September 1989 in den Gemeinden Bonstetten und Wettswil, die rund 10 km südwestlich von Zürich liegen.

Das Untersuchungsgebiet ist eine Talmulde von 6 km<sup>2</sup> Fläche, die östlich und westlich von je einem parallel laufenden, bewaldeten Hügelzug begrenzt wird. Die Talsohle liegt auf 530 m ü.M., zu den Hügelkämmen steigt der Hang mässig steil bis 650 Meter an (Abb. 1).



**Abb. 1: Untersuchungsgebiet**

Ausschnitt aus den Landeskarten Blatt 1111 und 1091. Masstab 1:25'000

Die beiden Dörfer sind Agglomerationsortschaften von Zürich, in denen nur noch im Kern ein kleiner Teil der ursprünglichen landwirtschaftlichen Betriebsgebäude erhalten geblieben sind. Locker angeordnete Wohnblöcke und grosse Einfamilienhausgebiete bestimmen heute den übrigen Dorfraum.

Zwischen den Ortschaften liegt ebenfalls ein Wohngebiet mit vereinzelt Industriebauten. Das ganze Siedlungsgebiet zeichnet sich durch ein dichtes Netz von Strassen verschiedener Breite aus. Die Talebene wird von einer Hauptstrasse und der Bahnlinie, sowie weiter westlich von der Kantonsstrasse längs durchschnitten.

Das den Siedlungsraum umgebende Grüngelände wird - ein Naturschutzgebiet um die Teiche der Ebene ausgenommen - intensiv landwirtschaftlich genutzt und ist zu grossen Teilen ausgeräumt. Rund um die beiden ehemaligen Bauerndörfer sind noch grössere Restbestände an Hochstamm-Obstgärten mit Viehweiden erhalten.

Die lockere Besiedlung und der grosse Einfamilienhaus-Anteil bewirken, dass der ganze Siedlungsraum von kleinen Grünflächen, hauptsächlich in Form von privaten, meist nicht sehr naturnahen Gärten, durchsetzt ist. Insgesamt ist der Siedlungsraum im Untersuchungsgebiet durchaus vergleichbar mit Stadtrand-Siedlungen oder grösseren Gemeinden ohne Industrie, wie sie im ganzen schweizerischen Mittelland angetroffen werden können.

### **Untersuchungstiere**

Es wurden 6 weibliche und 8 männliche, wildlebende Igel untersucht (Tab. 1). Drei im vorangegangenen Winter künstlich überwinterte Tiere (w103, m140, w141) lebten alle vor der Beobachtungszeit länger als drei Monate im Untersuchungsgebiet. Durch die Studie von ZINGG (in Vorb.) ist von neun Tieren das Alter bekannt. Mindestens 5 (36%) der untersuchten Tiere sind während der Untersuchungszeit oder im nachfolgenden Jahr durch den Strassenverkehr umgekommen.

### Tab 1: Die 14 Untersuchungs-Igel

Für 6 weibliche (**w**) und 8 männliche (**m**), adulte Igel sind **Alter** (Zahl Überwinterungen), bekannter **Verbleib** bis Ende 1990 (**Verkehr**: von einem Fahrzeug überfahren, **tot**: andere Todesursache), Anzahl Beobachtungsnächte mit Sichtbeobachtungen > 1h/Nacht (**Nächte**), totale Anzahl Beobachtungszeit in Stunden und Minuten (**Beo.Dauer**) zusammengestellt.

Tier	Alter	Verbleib	Nächte	Beo.Dauer
w 83	>=3	?	2	14:36
w103	2	?	3	15:58
w109	1	?	5	30:02
w114	1	Verkehr	3	11:33
w136	?	?	3	16:02
w141	1	?	2	9:01
m 97	?	tot	4	27:06
m104	3	Verkehr	3	12:30
m106	1	Verkehr	4	22:26
m112	1	?	3	6:13
m140	1	tot	2	10:00
m144	?	?	3	22:01
m146	?	Verkehr	1	6:51
m148	?	Verkehr	3	12:19

## 1. Datenaufnahme

Das Ziel, möglichst viele Strassenüberquerungen verschiedener Igel beobachten zu können, konnte nur erreicht werden, indem ich einzelnen Igel auf ihren nächtlichen Streifzügen folgte.

### Beobachtungsplan

Die Beobachtung der Tiere erfolgte in vier Blöcken von je rund 4 Wochen Dauer. Während der Dauer eines Blockes beobachtete ich jeweils 2 Weibchen und 2 Männchen, wobei ich die Reihenfolge der Beobachtungsnächte zufällig wechselte. Im nächstfolgenden Block wurde mit 4 anderen Untersuchungstieren fortgefahren. Gegen Ende der Untersuchungszeit gelang es mir in zwei Fällen nicht, rechtzeitig eine neue Igelin zu finden, weshalb weniger Weibchen als Männchen beobachtet wurden.

Ich versuchte jeweils ein ausgewähltes Tier vom abendlichen Aktivitätsbeginn an bis zum morgendlichen Aktivitätsende ununterbrochen zu beobachten ("focal sampling" (ALTMANN 1974)). Einen grafischen Überblick über die Dauer der Beobachtungen gibt Abbildung 5 (Seite 19). Der Tabelle 1 können die Zahl der Beobachtungsnächte und die absolute Dauer der Beobachtungen für jedes Tier entnommen werden. Insgesamt habe ich in 41 trockenen Nächten während 217 Stunden beobachtet. In den regnerischen Nächten konnten wegen des Lärms der fallenden Regentropfen, der schlechten Sicht sowie der Feuchtigkeitsempfindlichkeit der elektronischen und optischen Geräte keine Beobachtungen aufgezeichnet werden. Beim Verhalten in Bezug auf die Strassenüberquerungen konnte ich jedoch keine qualitativen Unterschiede feststellen.

Die Wege des jeweiligen Igels und in Abständen von rund einer halben Stunde auch die aktuelle Nachtzeit habe ich während den Beobachtungen auf Tonband gesprochen. Diese Angaben wurden später auf Kartenausschnitte 1:2'500 des Untersuchungsgebietes übertragen.

### **Markierung der Igel**

Der Grossteil der Igel im Untersuchungsgebiet war für die Untersuchungen von ZINGG (in Vorb.) bereits individuell markiert. Dazu wurden zum einen Ohrmarken verwendet, da sich diese als sehr dauerhaft erwiesen. Zusätzlich wurden 5 Schrumpfschlauch-Röhrchen mit einem redundanten Farbcode auf einzelne Stacheln geklebt, was eine regelmässige Kontrolle und Identifizierung ermöglichte, ohne die Tiere berühren oder betäuben zu müssen.

Damit die Tiere individuell beobachtet und wiedergefunden werden konnten, arbeitete ich mit der Methode der Telemetrie. Den Tieren wurde für ihre rund vierwöchige Blockzeit der nächtlichen Strassenbeobachtungen ein rund 20 Gramm leichter Telemetriesender der Firma WAGENER (Adresse im Anhang) aufgesetzt. Dazu wurde dem betäubten Igel mit schnellhärtendem Epoxydharz (Araldit rapid) eine Sender-Grundplatte auf gekürzte Stacheln im Nackenbereich festgeklebt, worauf dann der Sender festgeschraubt werden konnte. Wurde der Sender auf der Vorderseite etwas unter die voranliegenden Stacheln und insgesamt nicht allzu tief an der Stachelbasis festgeklebt, so schien er die

Tiere nicht zu beeinträchtigen. Die Befestigung des Senders wurde regelmässig geprüft. Selten aufgetretene Entzündungen an der Stachelbasis wurden mit einer wundheilenden Salbe behandelt und wenn nötig eine übermässige Belastung einzelner Stacheln durch breiteres Festkleben des Senders behoben.

Das hochfrequente Signal, das der Minitransmitter zwischen 148 und 149 MHz aussendet, kann mit einer H-Antenne, angeschlossen an einen Receiver der Firma BURCHHARD (Adresse im Anhang) bis auf eine Distanz von 5 Kilometern empfangen werden. Damit war es jederzeit möglich, einen mit einem Sender versehenen Igel aufzufinden. Nach der späteren Entfernung des Senders wurden in keinem Fall Beeinträchtigungen eines Tieres festgestellt.

Um ein lückenloses Verfolgen der Tiere zu ermöglichen, klebte ich zu Beginn der Nachtaktivität eine kleine Plastikampulle mit selbstleuchtender Flüssigkeit so auf einen Stachel, dass der betroffene Igel das Licht nicht wahrnehmen konnte (Abb. 2). Damit gelang es mir, in schlecht begehbarem Gebiet den Sichtkontakt zum Tier (bzw. zum Lichtpunkt) teilweise bis zu einem Abstand von 50 Metern zu halten. Während das kleine, wandernde Licht SpaziergängerInnen erstaunte und von Katzen und Kühen interessiert wahrgenommen wurde, konnte ich nie einen Einfluss auf andere Igel feststellen. Die Flüssigkeit verlor nach 8 Stunden ihre Leuchtkraft und wurde später zusammen mit der Ampulle wieder entfernt.







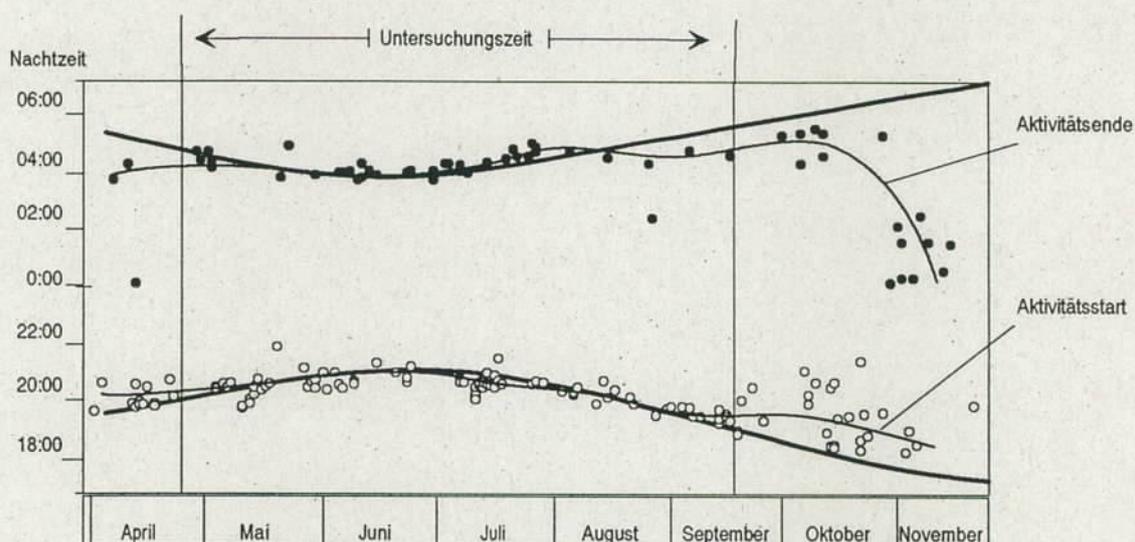




## C. Resultate

### 1. Aktivitätszeiten der Igel

Den zeitlichen Rahmen, in dem Strassenüberquerungen vorkommen können, legt die Nestabwesenheit des Igels (Aktivitätszeit) fest. In Abbildung 3 sind die in der vorliegenden Arbeit festgestellten Zeitpunkte des Aktivitätsstartes und -ende, erweitert mit Daten aus 4 Jahreszeiten (ZINGG, in Vorb.), dargestellt.



**Abb. 3: Nächtliche Nestabwesenheit im Jahresverlauf.**

Die Darstellung umfasst 185 Beobachtungen des Nestverlassens oder -aufsuchens von insgesamt 52 Igel. Mit dicker Linie ist der Zeitpunkt der bürgerlichen Dämmerung im Jahresverlauf eingetragen, während mit dünner Linie die Einzelpunkte (o Aktivitätsstart, • Aktivitätsende) von Hand geglättet wurden. Zeitangaben in MEZ (Winterzeit).

Deutlich wird, dass von Mai bis August die bürgerliche Dämmerung am Abend und am Morgen eine gute Näherung für den Zeitpunkt des Aktivitätsbeginnes wie auch für denjenigen des erneuten Aufsuchens des Nestes darstellt.

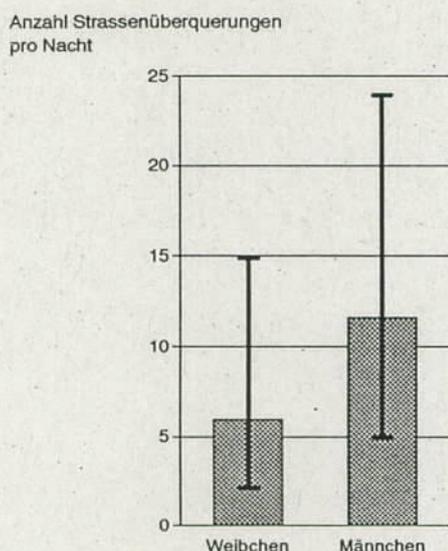
Im Frühling und im Herbst zeigen Abweichungen von der Synchronisation der Aktivitätszeit mit der bürgerlichen Dämmerung eine Verkürzung der möglichen Aktivität im Dunkeln: Während der Untersuchungszeit der vorliegenden Arbeit verbrachten die Igel praktisch die ganze Dunkelzeit ausserhalb des Nestes. Im folgenden wird deshalb die nächtliche Aktivitätszeit der Igel mit der Zeit zwischen der abendlichen und

morgentlichen bürgerlichen Dämmerung gleichgesetzt. Dadurch entsteht tendenziell beim Ende der Untersuchungszeit eine geringe Überschätzung der absoluten Dauer der nächtlichen Aktivitätszeit.

## 2. Häufigkeit der Strassenüberquerungen

Bei den 6 Weibchen wurden in 17 untersuchten Nächten minimal 2, maximal 15 Strassenüberquerungen pro Nacht beobachtet (Abb. 4 und 5). Der vorsichtig geschätzte Durchschnittswert beträgt 6.0 Strassen pro Nacht (Methode S.12).

Die 8 untersuchten Männchen kreuzten mit geschätzten 11.6 Strassenüberquerungen / Nacht (beobachtet: min. 5, max. 24 in 23 untersuchten Nächten) beinahe doppelt so häufig Strassen wie die Weibchen.



**Abb. 4: Hochgerechnete Anzahl Strassenüberquerungen pro Nacht.**

Die Säulen stellen für die beiden Geschlechter die geschätzte, durchschnittliche Zahl von Strassenüberquerungen pro Nacht dar. Überlagert sind die beobachteten Minimal- und Maximalwerte.

Ein solches Resultat kann auf drei Arten entstehen: 1) Männchen suchen gezielt nach Strassen und überqueren sie auch, 2) Weibchen versuchen die Ueberquerung von Strassen zu meiden, oder 3) die Zahl der Strassenüberquerungen ist abhängig von der zurückgelegten Strecke (Männchen müssten fast doppelt so weit wie Weibchen laufen). Da ein absoluter Vergleich der zurückgelegten Distanz in einer Nacht mit den aufgenommenen Daten aus Nachtabschnitten nicht möglich ist, vergleiche ich die Zahl der Strassenüberquerungen pro zurückgelegte

Wegstrecke von 1000 Metern. Im Durchschnitt aus 40 Nächten von 14 Igeln wurden 6.0 +/-3.6 Strassen/km (Mittelwert +/- Standardabweichung) überquert (Tab 2). Die Geschlechter zeigen keine Unterschiede. Damit sind die Hypothesen 1) und 2) unwahrscheinlich; die Zahl überquerrer Strassen ist demnach eine Funktion der zurückgelegten Wegstrecke. Für eine statistische Prüfung der Unterschiede zwischen den Individuen ist der Datensatz zu klein.

**Tab 2: Strassenüberquerungen pro 1000 Meter**

Weibchen (w), Männchen (m)

Tier	Anzahl Strassen- überquerungen/ 1000 Meter	Standard- abweichung s	Anzahl Nächte n
w 83	7.1	4.1	2
w103	5.5	4.0	2
w109	2.4	2.0	5
w114	8.3	1.4	3
w136	10.8	2.8	3
w141	4.6	6.5	2
m 97	5.4	1.1	4
m104	9.0	1.3	3
m106	7.2	6.4	4
m112	4.3	3.0	3
m140	5.9	1.6	2
m144	3.8	1.7	3
m146	7.5	0.0	1
m148	4.6	1.5	3
<b>6 Weibchen</b>	<b>6.1</b>	<b>4.1</b>	<b>17</b>
<b>8 Männchen</b>	<b>5.9</b>	<b>3.2</b>	<b>23</b>
<b>Alle Tiere</b>	<b>6.0</b>	<b>3.6</b>	<b>40</b>

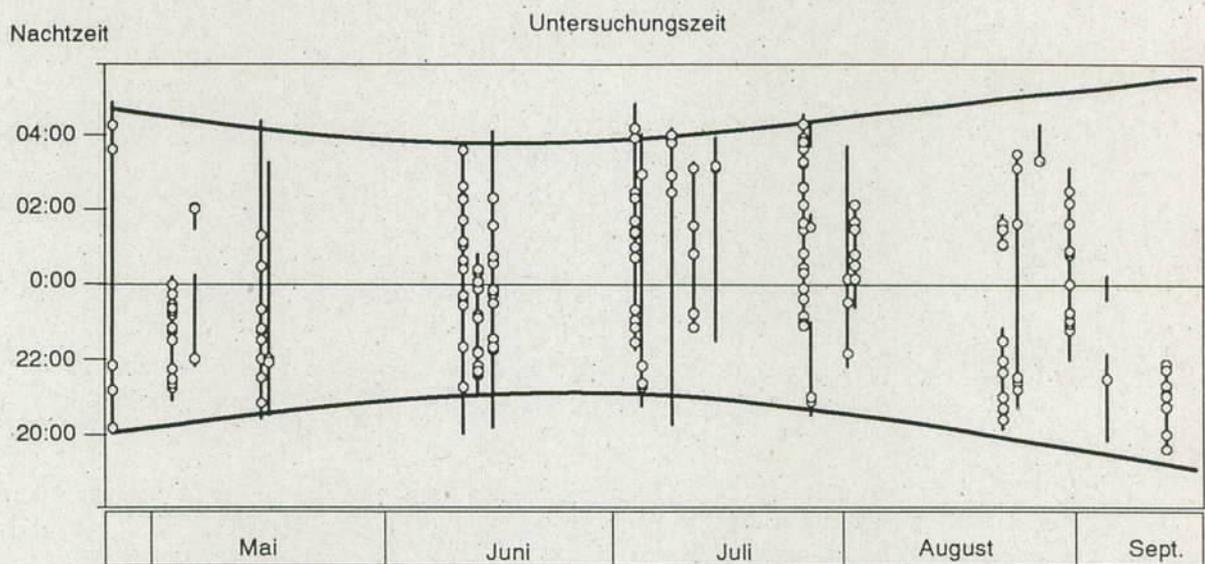
### **3. Wann treten Strassenüberquerungen von Igel auf ?**

Um die Frage zu klären, ob Überquerungen von Strassen zu bestimmten Nachtzeiten auftreten, sind in Abbildung 5 alle beobachteten Strassenüberquerungen, für beide Geschlechter getrennt, im Nachtverlauf eingetragen.

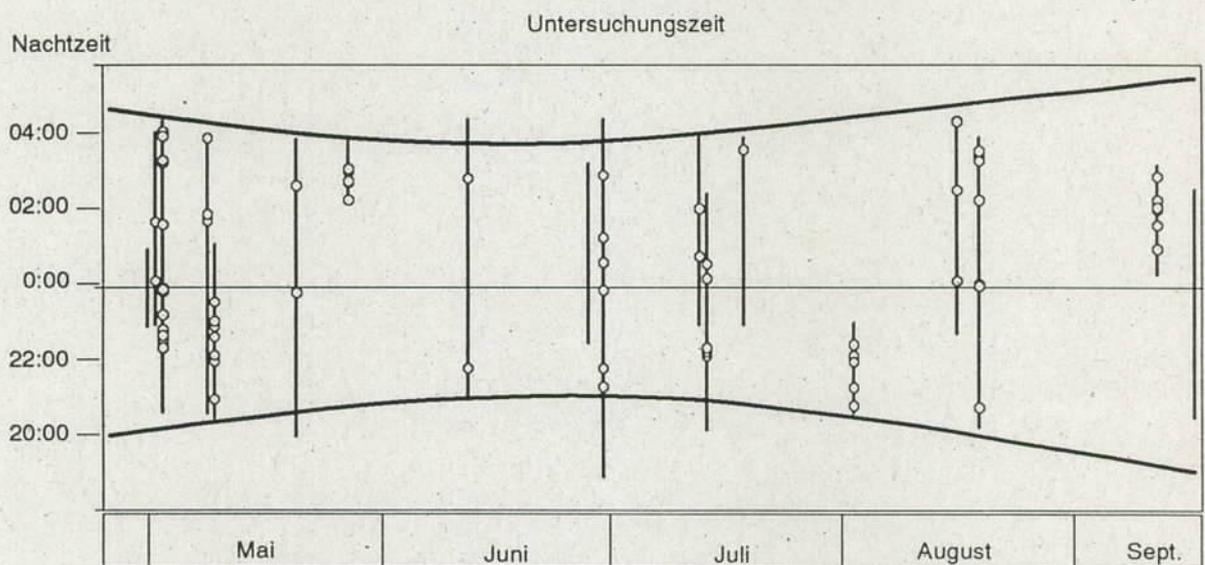
Es wird deutlich, dass Strassenüberquerungen während der ganzen Dunkelzeit, also der vollständigen Aktivitätszeit der Igel, auftreten. Das Verteilungsmuster der Strassenüberquerungen zeigt innerhalb der Nächte keine generellen Phasen mit fehlenden Strassenüberquerungen. Ebenso ist innerhalb der Untersuchungszeit im Jahresablauf kein saisonales Muster zu erkennen.

Zwischen Männchen und Weibchen wird erneut der grosse Unterschied in der Zahl der Strassenüberquerungen deutlich, ohne dass sich aber ein geschlechtsspezifisches Verteilungsmuster zeigt.

a) Männchen



b) Weibchen



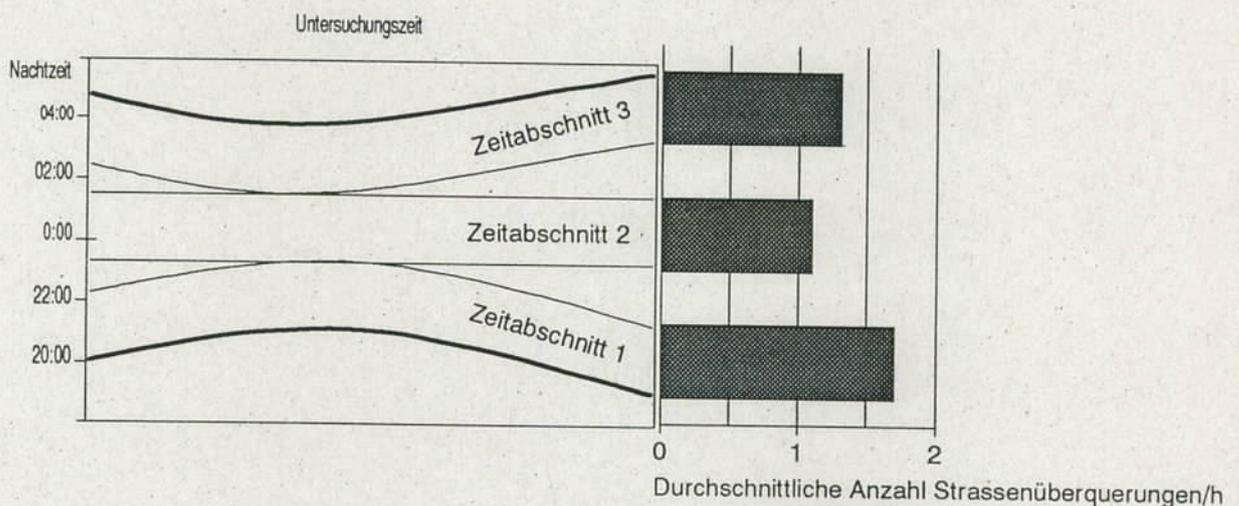
**Abb. 5: Zeitpunkte der Strassenüberquerungen.**

Die vertikalen Linien stellen die nächtlichen Beobachtungsperioden im Jahresverlauf dar. Mit Kreisen sind die Strassenüberquerungen eingetragen. Die dicke Linie am Abend und am Morgen bezeichnet die bürgerliche Dämmerung.

**a)** 121 Strassenüberquerungen von 8 Männchen. **b)** 85 Strassenüberquerungen von 6 Weibchen.

Da kurz aufeinanderfolgende Strassenüberquerungen in Abbildung 5 übereinander liegen, werden nur die Verteilung der Strassenüberquerungen, nicht aber deren Häufigkeiten deutlich.

Um die Hypothese, dass Strassenüberquerungen gehäuft abends und morgens auftreten, zu prüfen, wurde die Anzahl Strassenüberquerungen in drei gleich grossen Zeitabschnitten (nach der Dämmerung, um Mitternacht und vor der Dämmerung; siehe Methoden S. 12) berechnet. Dazu wurden die Beobachtungen aller Individuen, gewichtet nach Beobachtungsdauer über die ganze Untersuchungszeit, gemittelt. Damit wird eine direkte Vergleichbarkeit der Werte erreicht (Abb. 6).



### Abb. 6: Anzahl Strassenüberquerungen im Laufe der Nacht.

Für drei Zeitabschnitte konstanter Dauer (linke Abbildungshälfte) sind rechts die durchschnittliche Anzahl Strassenüberquerungen pro Stunde über den Jahresverlauf dargestellt. Die Werte der einzelnen Zeitabschnitte unterscheiden sich nicht signifikant (Kruskal-Wallis Rangvarianztest (SIEGEL 1987),  $p > 0.2$ ).

Tendenziell werden im ersten (abendlichen) Zeitabschnitt am häufigsten Strassen überquert. Der mitternächtliche Abschnitt zeigt am wenigsten Strassenüberquerungen. Da Werte einzelner Tiere deutlich von diesem Muster abweichen, sind die Unterschiede nicht signifikant. Allerdings zeigen 8 von den 14 untersuchten Igel (57%) die Tendenz, dass gegenüber dem mitternächtlichen Zeitabschnitt sowohl am Abend wie auch am Morgen mehr Strassenüberquerungen auftreten (Erwartungswert, wenn zufällig: 33%).

#### 4. Einfluss künstlicher Beleuchtung

Der Igel ist bei der Überquerung von Strassen im Siedlungsraum oft künstlichem Licht der Strassenbeleuchtung ausgesetzt.

Falls ihn, als fast ausschliesslich nachtaktives Tier, diese Situation des deckungslosen, beleuchteten Überganges stören würde, so könnte er ausweichen, indem er Strassen an einer unbeleuchteten Stelle kreuzt. Im Untersuchungsgebiet wird die Strassenbeleuchtung von 1 Uhr bis zur Morgendämmerung ausgeschaltet. Damit kann ich, quasi als Kontrollversuch, in der zweiten Nachthälfte einen Erwartungswert für Überquerungen an unbeleuchteten und potentiell beleuchteten Stellen ermitteln und diesen mit den entsprechenden "experimentellen" Häufigkeiten aus der ersten Nachthälfte vergleichen (Tab 3). Ein Quotient  $Q > 1$  zeigt, dass Strassen häufiger als erwartet an unbeleuchteter Stelle gequert werden. Da nie der gleiche Strassenabschnitt gequert wurde, konnte mit  $\chi^2$  getestet werden. Es ist die bei einigen Tieren geringe Datenmenge zu beachten.

**Tab 3: Einfluss künstlicher Beleuchtung.**

Für 6 weibliche (w) und 8 männliche (m) Igel ist der Quotient (Q) zwischen beobachteten und erwarteten Häufigkeiten der Strassenüberquerungen an unbeleuchteter Stelle zusammengestellt. Die Unterschiede sind mit dem  $\chi^2$ -Test geprüft (\*=signifikant).

Tier	Anzahl Strassen- überquerungen n	$Q = \frac{\text{beobachtet}}{\text{erwartet}}$	Irrtums- wahrscheinlich- keit: p
w 83	3	2	-
w103	6	-	-
w109	6	1.25	-
w114	23	0.47	0.26
w136	18	0.89	0.71
w141	3	-	-
m 97	35	2.39	0.02*
m104	39	0.78	0.54
m106	15	0.75	0.46
m112	11	3.42	0.09
m140	8	3	0.21
m144	21	1.34	-
m146	4	1	-
m148	5	-	-

Eine solche Gegenüberstellung setzt voraus, dass sich die Wahl der Kreuzungsorte in den beiden Nachtteilen nicht ändert. Dies habe ich in bezug auf die Strassenbreite und den Strassentyp getestet, ohne Unterschiede zu finden.

Ausser bei einem Tier (m97) zeigt sich kein signifikanter Einfluss der künstlichen Beleuchtung. Zudem zeigen die Individuen gegenläufige Tendenzen.

## 5. Gefahrenbereich Strasse

Die folgenden Resultate betreffen die Frage, ob Igel Strassen bei ihren Überquerungen als mögliche Gefahrenquelle erkennen.

Zu Beginn behandle ich die Laufgeschwindigkeit und die Winkel bei Strassenüberquerungen. Sie bestimmen die Aufenthaltszeit auf der Strasse, die proportional mit dem Unfallrisiko verknüpft ist.

Ein dritter Teil betrifft das Risiko, bei einer Strassenüberquerung von einem vorbeifahrenden Fahrzeug erfasst zu werden. Dies ist neben anderen Faktoren abhängig von der Fahrzeugfrequenz auf der betreffenden Strasse.

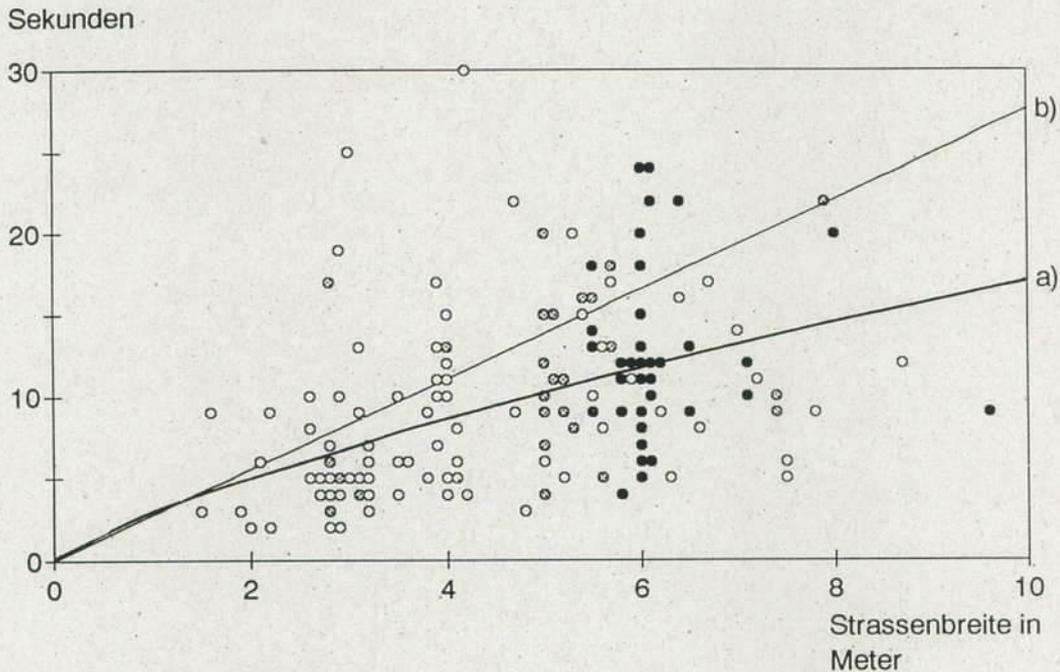
### Laufgeschwindigkeit bei Strassenüberquerungen

Je breiter eine Strasse ist, desto länger dauert bei gleichen Bedingungen deren Überquerung. Mit der Geschwindigkeit kann ein Tier in einem bestimmten Rahmen darauf Einfluss nehmen, wie lange es sich während der Überquerung auf der Strasse aufhält.

Bei 196 Strassenüberquerungen von insgesamt 14 Igeln konnte ich die Überquerungszeit messen und nachträglich die Strassenbreite bestimmen. Für die folgenden Auswertungen wurden 18 Beobachtungen, bei denen offensichtliche Störungen einwirkten, weggelassen. Die Überquerungszeiten sind in Abhängigkeit der Strassenbreiten in Abbildung 7 dargestellt.

Mit der exponentiellen Funktion  $y=ax^b$  (wobei  $a=2.76$ ,  $b=0.79$ ;  $r=0.52$ ) kann dieser Zusammenhang beschrieben werden (Abb. 7a). Dieses exponentielle Modell wurde zum einen gewählt, weil es im Vergleich zu einer linearen oder anderen Funktion einen grösseren Anteil der Streuung (27%) erklären kann, zum anderen, weil es bei einer theoretischen

Strassenbreite von 0 Meter ebenfalls von einer Zeit=0 ausgeht, was den Sachverhalt richtig beschreibt. Dabei hängt  $a$  reziprok mit der Anfangsgeschwindigkeit beim Betreten der Strasse zusammen; je kleiner  $a$  ist, desto grösser die Anfangsgeschwindigkeit und desto flacher wird die Regressionskurve in Abbildung 7. Der Regressionskoeffizient  $b$  beschreibt die Geschwindigkeit bei der Strassenüberquerung. Wäre  $b=1$ , dann wäre die Geschwindigkeit bei der Überquerung breiter und schmaler Strassen konstant (Abb. 7b).



### Abb. 7: Dauer der Strassenüberquerungen

Von 178 Messungen der Dauer von Strassenüberquerungen sind 167 (alle auf Strassen kleiner als 10 Meter und mit einer Dauer  $\leq 30$  Sekunden) dargestellt.

a) Kurvilineare Regression über alle Daten ( $y = 2.76 \times x^{0.79}$ ,  $r = 0.52$ ).

b) Theoretischer Verlauf der Kurve bei konstanter Geschwindigkeit ( $y = 2.76 \times x^1$ ).

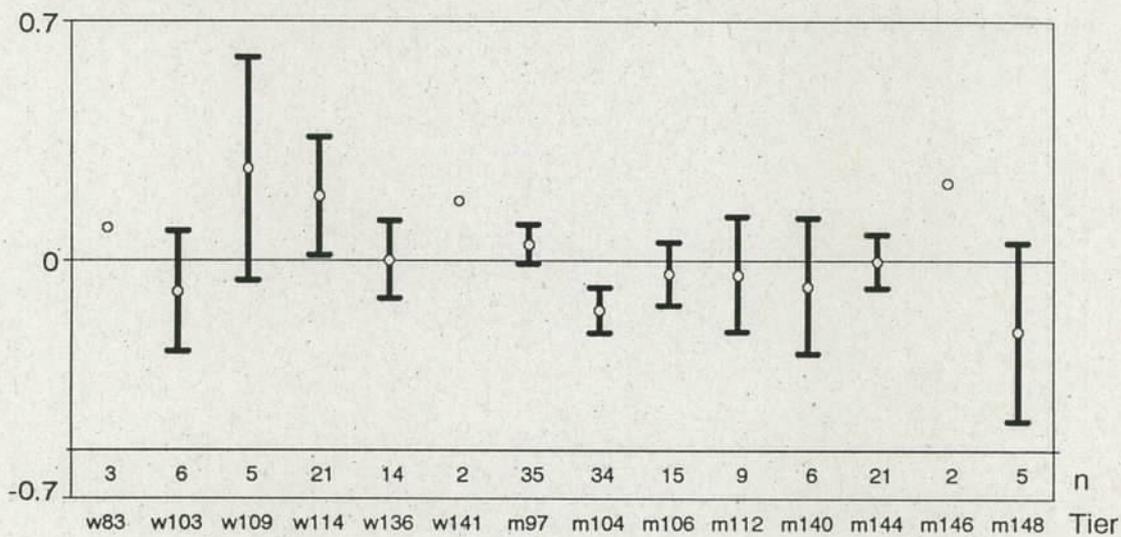
c) Überquerte Strassenstrecke:  $\bullet$ =Typ 1,  $\circ$ =Typ 2,  $\square$ =Typ 3 (vgl. Methoden S. 11).

Der gefundene Regressionskoeffizient  $b$  aller Daten von 0.79 ist signifikant verschieden von 1 ( $p < 0.05$ , SACHS 1981). Dies bedeutet, dass die Igel auf breiten Strassen schneller laufen als auf schmalen. Der Test setzt allerdings Unabhängigkeit voraus, was bei den gepoolten Daten durch die Datenkohorten einzelner Individuen nicht gewährleistet ist. Wird der Einfluss der verschiedenen Tiere mit der Jackknife-Methode (SOKAL & ROHLF 1981) überprüft, so ist wegen der kleinen Datenmenge der Unterschied nicht mehr statistisch gesichert. Dies weist auf Abweichungen einzelner

Tiere von diesem Modell hin. Indem die Abweichungen der einzelnen Beobachtungswerte (Residuen) von der theoretischen Funktionslinie berechnet werden, können systematische Unterschiede einzelner Tiere analysiert werden. In Abb. 8 sind die Mittelwerte der standardisierten Residuen für jedes Individuum bei mehr als 4 Strassenüberquerungen zusammen mit dem 95% Vertrauensintervall dargestellt.

Die Unsicherheiten, bedingt durch die kleinen Datenmengen, zeigen sich in der Breite der Konfidenzintervalle. Werden nur Tiere berücksichtigt, deren  $n \geq 5$  ist, so zeigen 3 von 4 Weibchen einen positiven Residuen-Mittelwert, während 6 von 7 Männchen einen Residuen-Mittelwert kleiner als 0 aufweisen. Da der Anteil schmaler und breiter Strassen bei den Geschlechtern keinen Unterschied aufweist, zeigt sich die Tendenz, dass Weibchen eher langsamer als Männchen Strassen überqueren.

Residuen / Standardabweichung



### Abb 8: Geschwindigkeiten der Individuen

Für alle Individuen sind die Mittelwerte der standardisierten Residuen gegenüber der kurvilinearen Regression über alle Werte (Abb. 7a) dargestellt.

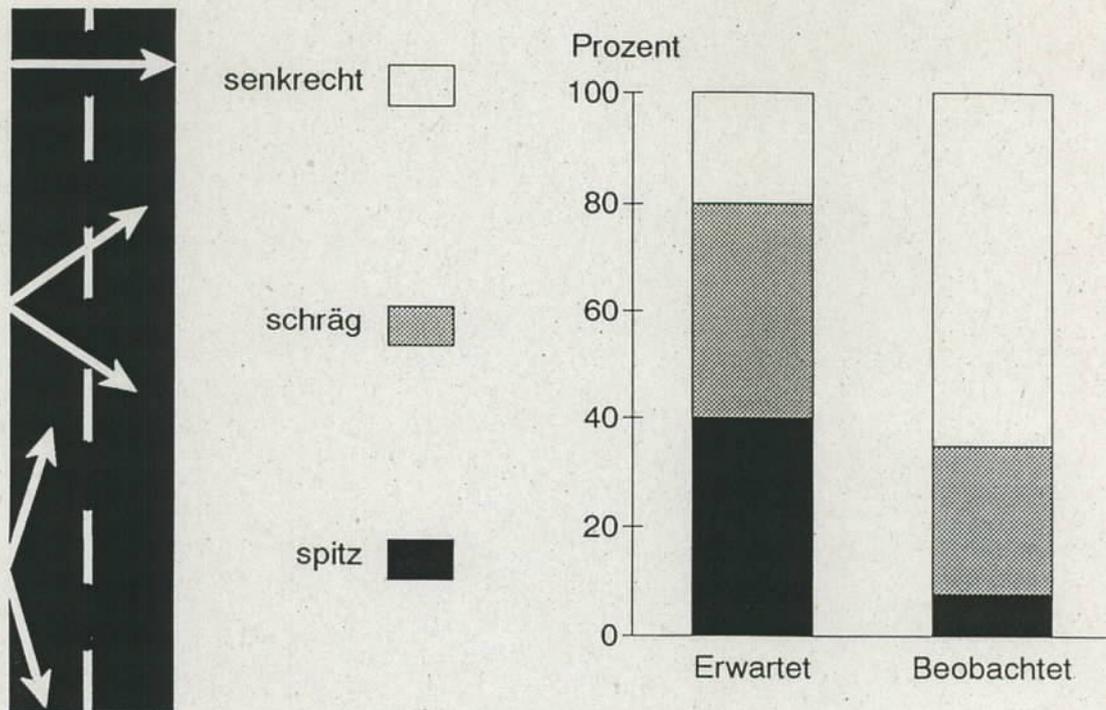
Bei einer Datenmenge von  $\geq 5$  Strassenüberquerungen (n) ist zusätzliche das 95% Vertrauensintervall unterlegt.

## Winkel der Strassenüberquerungen

Der Winkel zur Strassenachse legt bei Strassenüberquerungen ebenfalls fest, wie lange sich ein Tier bei gleicher Laufgeschwindigkeit im Risikobereich der Strasse aufhält. Kreuzt es die Strasse senkrecht, so legt es die kürzest mögliche Distanz auf der Strasse zurück. Falls Igel ihre Wege gehen, ohne auf den Verlauf von Strassen zu achten, müssten sie diese in zufälligem Winkel überqueren.

Bei Fokusaufnahmen aller 14 untersuchten Igel konnte ich insgesamt 189 beobachtete Strassenüberquerungen einer von drei Überquerungstypen (spitz, schräg, senkrecht) zuordnen. 7 Überquerungen mit Richtungswechseln sind dabei nicht berücksichtigt. Bei zufälliger Verteilung müssten 20% aller Querungen senkrecht verlaufen und je 40% spitz, bzw. schräg (Säule "Erwartet" in Abb. 9).

65% der beobachteten Strassenüberquerungen verlaufen jedoch senkrecht und nur 7.7% in spitzem Winkel. Die beobachteten Werte zeigen bei allen Einzeltieren diese Tendenz, sind jedoch in einigen Fällen wegen der geringen Datenmengen statistisch gegenüber den Erwartungswerten nicht signifikant unterschiedlich. Die Kombination der Irrtumswahrscheinlichkeiten der Tests einzelner Individuen (Test nach Fischer (SOKAL & ROHLF 1981)) weist für die Gesamtheit der Tiere einen signifikanten Unterschied ( $p < 0.001$ ) zwischen beobachteten Überquerungswinkeln und den Erwartungswerten aus.



### Abb. 9: Winkel der Strassenüberquerungen

Erwartungswerte der Häufigkeiten von drei Klassen von Überquerungswinkeln nach dem Zufallsmodell sind den beobachteten Daten (n=189) gegenübergestellt.

Die Unterschiede sind mit den hier dargestellten, gepoolten Daten aller 14 Igel signifikant (Binomial-Test,  $p < 0.001$ ).

### Einfluss der Fahrzeugfrequenz und der Strassenbreite

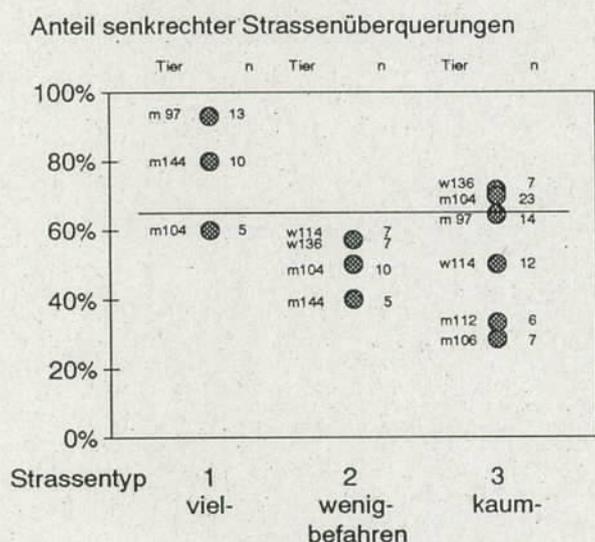
In den bisherigen Auswertungen wurden alle Strassen gleichwertig gewichtet. Für den Igel variiert aber das Risiko, auf einer Strasse angefahren zu werden in Abhängigkeit von der Fahrzeugfrequenz. Indem ich Strassen mit unterschiedlicher Fahrzeugfrequenz und unterschiedlicher Breite vergleiche (für die Abgrenzungen der Klassen vgl. Methoden S.11), gehe ich der Frage nach, ob Igel verschieden grosse Risiken auf Strassen unterscheiden.

Von insgesamt 297 aufgezeichneten Strassenstrecken, die von den untersuchten 14 Igel überquert wurden, gehören 66 (22%) zum Typ 1 und 78 (26%) zum Typ 2, also zu den regelmässig bis gelegentlich von Fahrzeugen frequentierten Strassen. Die restlichen Strassen (52%) sind kaum von Fahrzeugen befahren (Typ 3). Wird der Anteil breiter und

schmäler Strassen betrachtet, so gehören 34% der überquerten Strassen zur Breitenklasse von 6 Metern und mehr.

Diese Anteile verschieden häufig befahrener bzw. breiter Strassen unterscheiden sich weder zwischen Weibchen und Männchen, noch im saisonalen Verlauf der Untersuchungszeit oder innerhalb des Nachtlaufes.

Wenn vielbefahrene Strassenstrecken schneller als die wenig- oder kaumbefahrenen überquert würden, müssten die schwarzen Punkte in Abbildung 7c eher unterhalb der Regressionskurve (Abb. 7 a) liegen. Abbildung 7 lässt jedoch keinen Zusammenhang der Fahrzeugfrequenz mit der Überquerungsgeschwindigkeit erkennen.



**Abb. 10: Anteil senkrecht überquerner Strassen**

Für jedes Individuum mit mehr als 4 Strassenüberquerungen eines Strassentyps ( $n > 4$ ) ist der Anteil Strassenüberquerungen, die bei einem Strassentyp senkrecht erfolgen, dargestellt. Die nach Zufall erwartete Häufigkeit ist 20%. Mit horizontaler Linie ist der über alle Strassen berechnete Anteil senkrecht überquerner Strassen bezeichnet (65%).

Der Anteil senkrecht überquerner Strassenstrecken unterscheidet sich nicht signifikant bei viel-, wenig- und kaum befahrenen Strassen, wie auch keine einheitliche Tendenz kleiner Unterschiede sichtbar wird. Hingegen unterscheiden sich die Winkel der Überquerungen bei unterschiedlicher Strassenbreite. Mit den Daten aller Tiere ( $n = 189$  von 14 Igeln) werden breite Strassen häufiger senkrecht zur Strassenachse überquert (Anteil senkrecht : nicht senkrecht = 47:17) als schmale Strassen (71:54;  $\chi^2$ -Test,  $p < 0.05$ ). Wiederum wurde hier eine

Voraussetzung für die Anwendung des Testes, die Verwendung unabhängiger Daten, verletzt. Bei der Überprüfung mit der Jackknife-Methode (SOKAL & ROHLF 1981) ist der Unterschied nicht mehr statistisch gesichert. Allerdings zeigen von 11 Individuen mit genügend Beobachtungen zur Prüfung der Unterschiede 9 Igel (82%) die Tendenz, breite Strassen häufiger als schmale senkrecht zu überqueren.

## D. Diskussion

### Strassen im Lebensraum des Igels

Alle von mir untersuchten Igel überquerten fast jede Nacht eine Vielzahl von Strassen. Ist dieser Befund übertragbar auf die Gesamtheit der Igel? In meinem Untersuchungsgebiet stehen neben dem Siedlungsraum mit dichtem Strassennetz auch Wald- und landwirtschaftlich genutzte Flächen zur Verfügung, die wenig durch Strassen zerschnitten sind. Damit ist nicht vorgegeben, dass die Wanderungen der Igel im stark durch Strassen zerschnittenen Siedlungsraum stattfinden mussten. Das Ergebnis steht aber im Zusammenhang mit der im Untersuchungsgebiet gefundenen Habitatpräferenz (ZINGG, in Vorb.), denn kurzrasige Wiesen und Weiden, Gärten und Hecken werden über dem Angebot genutzt und intensiv landwirtschaftliche Gebiete gemieden. ESSER (1984) stellte in einem botanischen Garten, einem städtischen Park und einer ländlichen Ortschaft ebenfalls eine bevorzugte Wahl der Habitattypen Rasen, Wiesen und Hecken fest. Da diese Biotopenelemente im heutigen ausgeräumten Landwirtschaftsgebiet oft fehlen und umgekehrt im Siedlungsraum gehäuft auftreten, folgt eine Konzentration der Aufenthalte von Igel in im Siedlungsgebiet.

Manchmal wird der Igel in Tierschutzkreisen als "Kulturflüchter" bezeichnet (RWI 1988). Es wird argumentiert, dass die Auswirkungen des landschaftlichen Wandels für die Igel den Verlust präferierter, offener Busch- und Graslandschaften bedeuten. Mit der Intensivierung der Landwirtschaft und den gleichzeitig sich ausdehnenden Siedlungsgebieten, bleibe dem Igel nichts anderes mehr übrig, als in diese neu entstandenen Lebensräume zu flüchten. Tatsächlich wird in gründurchsetzten Siedlungsgebieten, wo noch genügend grosse Flächen mit den bevorzugten Habitattypen Rasen, Wiesen, Weiden und Hecken vorhanden sind, eine grössere Populationsdichte von Igel als in anderen Lebensräumen geschätzt (ESSER 1984, MORRIS 1986, DIETZEN & OBERMAIER 1986). REICHHOLF UND ESSER (1981) analysierten den umgebenden Lebensraum bei Fundorten überfahrener Igel auf einer deutschen Bundesstrasse. Dabei stellten sie in kleinen Siedlungen

(Durchmesser < 1 km) und in Stadtrandbereichen eine 9-fach grössere Zahl überfahrener Igel gegenüber der Streckenführung im offenen Feld oder Wald fest. Stadt-Kerngebiete wiesen 13-fach kleinere Werte als Stadt-Randgebiete auf.

Da Untersuchungen in traditionell bewirtschaftetem Kulturland fehlen, ist unklar, ob der Igel dort in derart grosser Dichte wie heute im Siedlungsraum vorkommt oder ursprünglich vorgekommen ist.

Fallenfänge in einer naturnahen Heckenlandschaft (DIETZEN & OBERMAIER 1986) deuten jedenfalls auf erheblich kleinere Dichten hin. Da der Igel die Nähe zu Siedlungen aktiv sucht und vermutlich von der Struktur- und Nahrungsvielfalt profitiert (ESSER 1984), muss er in wildbiologischer Terminologie als Kulturfolger bezeichnet werden.

Aus diesen Untersuchungen und den Angaben zur Verbreitung des Igels in der Schweiz (HAUSSER & BOURQUIN 1988) kann abgeleitet werden, dass heute ein Grossteil des Igelbestandes im durchgrünten Siedlungsraum seinen Lebensraum findet.

Da die beiden Gemeinden meines Untersuchungsgebietes für das schweizerische Mittelland kein ausserordentlich feinmaschiges Strassennetz aufweisen und der Grad der Ausräumung des offenen Kulturlandes vergleichbar mit anderen Gegenden ist, schliesse ich, dass mit einer grossen Anzahl Strassenüberquerungen von Igeln auch in anderen Ortschaften gerechnet werden muss .

REICHHOLF (1984) und ESSER (1984) beschreiben ein jahreszeitlich abhängiges Wanderverhalten. Dabei haben sie übereinstimmend im Hochsommer eine Häufung der Aktivität im Siedlungsraum festgestellt. Übertragen auf die von mir gefundene Zahl überquerter Strassen würde dies bedeuten, dass im Frühling und Herbst durch eine vermehrte Wanderaktivität ausserhalb des Siedlungsraumes eine eher kleinere Zahl Strassen überquert werden.

Deutlich wird die allgemeine Situation, dass Strassen im heutigen Lebensraum des Igels einen festen Bestandteil ausmachen und deren Überquerung in jeder Nacht mehrfach erfolgen.

Meine Resultate zeigen, dass die Zahl überquerter Strassen abhängig vom zurückgelegten Weg eines Igels ist.

Ich schliesse aus der fast doppelt so grossen Zahl Strassenüberquerungen bei Männchen, dass diese entsprechend fast

doppelt so grosse Strecken wie Weibchen zurücklegen. Dies stimmt mit Beobachtungen von ZINGG (in Vorb.) überein. Die von REEVE (1982) auf einem Golfplatz telemetrisch bestimmten durchschnittlichen Wanderdistanzen pro Nacht bei Männchen von 1690 Metern gegenüber denjenigen von Weibchen von 1006 Metern stimmen ebenfalls mit meiner Vorhersage recht gut überein.

### **Strassenüberquerungen in der ganzen Nacht**

Der Igel gilt als nachtaktiv. Der Aktivitätsstatus *dämmerungsaktiv* (BERTHOUD 1988) resultiert vermutlich aus einem Uebersetzungsfehler. Die Resultate dieser Untersuchung bestätigen eine Aktivitätszeit in der ganzen Nacht, indem sie zeigen, dass Start und Ende der Aktivität freilebender Igel im Sommer recht gut mit dem Zeitpunkt der abendlichen und morgendlichen bürgerlichen Dämmerung zusammenfallen.

Strassenüberquerungen habe ich während der ganzen Aktivitätszeit beobachtet. Dies zeigt, dass keine generellen nächtlichen Aktivitätsphasen auftreten und dass die Laufaktivität über die ganze Nacht verteilt ist.

Diese Verteilung interpretiere ich als eine zeitliche Überlagerung einer Vielzahl individueller und nächtlicher Aktivitätsmuster. Dem widersprechend und vielzitiert beschreiben HERTER (1938), WALHOVD (1978) und BERTHOUD (1982), allerdings aufgrund von Gehegebeobachtungen, drei nächtliche Phasen der Aktivität, die von Ruhepausen im Nest unterbrochen sind. Diese Beobachtungen sind vermutlich durch die konzentrierte Futterabgabe bedingt. KRISTIANSSON (1984), PODUSCHKA (1969) und BOITANI & REGGIANI (1984) beschreiben im Freiland, übereinstimmend mit meinen Beobachtungen, individuelle Aktivitätswechsel zwischen Futtersuche, Wandern und Brunftverhalten, die gelegentlich von Ruhepausen im Freiland unterbrochen werden.

Die tendenziell häufiger beobachteten Strassenüberquerungen zu Beginn und Ende der Nacht, könnten damit erklärt werden, dass oft nach Nestverlassen ein geeignetes Nahrungsgebiet aufgesucht werden muss oder von einem solchen zurückgekehrt wird. Die von mir in den morgendlichen Stunden beobachteten Ortsveränderungen könnten ebenfalls dazu beitragen.

## Barrierenwirkung von Strassen ?

Strassen können als Barrieren wirken, die Lebensräume in kleine Habitatsinseln trennen. Für verschiedenste Tierarten ist inzwischen eine solche Isolationswirkung von Strassen nachgewiesen worden: für Laufkäfer, Spinnen (MADER 1979, MADER et al. 1988), Lurche (HEUSSER 1967, zit. in ELLENBERG et al. 1982), Kleinsäuger (OXLEY et al. 1974, MADER 1979), Hasen (PFISTER et al. 1979), Fuchs (zit. in ELLENBERG et al. 1982), Reh (SCHÖNEMANN 1973 zit. in ELLENBERG et al. 1982) und Rentier (KLEIN 1971). Dabei werden die folgenden unterschiedlichsten Faktoren diskutiert, die teilweise kumulativ bei einzelnen Gruppen für eine Isolation verantwortlich sein können:

(1) Strassenrandzoneneffekte, (2) Konkurrenz gegenüber r-Strategen und Steppen-Typen des Strassenrandes, (3) Räuber-Beute-Beziehungen, (4) Errichtung von Territoriegrenzen entlang von linearen Strukturen, (5) Hohe Fahrzeugfrequenz, (6) Mikroklima, (7) Aktives Meiden aufgrund von Lernverhalten.

Welche dieser Faktoren können bei den Igeln wirken?

Faktoren (1) bis (3) sind eher bei kleinen, wenig mobilen Tieren, meist Wirbellosen und Kleinsäugetern wirksam. Da Igel nicht territorial sind (REEVE 1982, ESSER 1984), kann der Faktor (4) nicht erwartet werden. Die Isolationswirkung einer Strasse steigt bei manchen Arten mit zunehmender Verkehrsfrequenz (5). MADER (1979) konnte für Laufkäfer aufzeigen, dass statistisch gesehen die Wahrscheinlichkeit, eine Strasse unverletzt zu überqueren bei mehr als 300 Fahrzeugen/h praktisch null ist. Obwohl für Igel die Laufgeschwindigkeit deutlich höher ist, kann eine Strasse, die auch in der Nacht ein grösseres Verkehrsaufkommen zeigt, zur unüberwindlichen Barriere werden.

Die beiden letztgenannten Einflüsse ((6) und (7)) könnten ebenfalls einen Einfluss bei Igeln zeigen. Ich diskutiere sie nachfolgend unter Einbezug meiner Resultate:

Mikroklimatische Einflüsse (6) betreffen Parameter, die zur Strasse hin und auf ihr einen Gradienten aufweisen (MADER 1981). Das durch die Strassenbeleuchtung auf die Strasse einwirkende Licht zeigt einen Gradienten hin zum unbeleuchteten Umfeld. Die Resultate zeigen aber, dass dieser Aspekt für die Igel allgemein kein nachweislich hemmender Faktor ist, Strassen zu überqueren, wenn auch einzelne Tiere beleuchtete Überquerungsstellen meiden könnten.

Wird die Gefahr einer Strasse erkannt und deshalb eine Überquerung vermieden (7), so bewirkt dies ebenfalls eine Isolation. Das Risiko auf einer Strasse, gemessen als Unfallrate, ist abhängig von der Verkehrsfrequenz (MADER 1981). Deshalb stellt sich die Frage, ob Igel die Gefahr einer Strassenüberquerung abschätzen können. Um eine solche Risikoeinschätzung von einzelnen Strassen aufgrund der Verkehrsfrequenz machen zu können, wäre meist individuelle, strassenspezifische Erfahrung nötig. Hauptsächlich bei älteren Tieren wäre dies aufgrund der guten Ortskenntnisse in ihrem regelmässig bestrichenen Aktionsraum (ZINGG, mündl.) und der oft mehrjährigen Ortstreue (MORRIS 1983, ESSER 1984) gut vorstellbar.

Ich konnte jedoch weder beim Überquerungswinkel noch bei der Überquerungsgeschwindigkeit oder dem Auftreten einer Strassenüberquerung innerhalb der Nacht eine Abhängigkeit von der Fahrzeugfrequenz feststellen. Mit dem abendlich und morgendlich tendenziell grösseren Anteil an Überquerungen auch vielbefahrener Strassen geraten sie sogar in die durch Pendler stärker frequentierte Zeit.

Allerdings deuten meine Ergebnisse darauf hin, dass die Breite der Strasse einen Einfluss auf das Überquerungsverhalten hat.

So überqueren die meisten untersuchten Igel breite Strassen häufiger senkrecht und mit grösserer Geschwindigkeit als schmale Strassen, was die beobachteten Igel nach eigenen Beobachtungen auf Wiesenstreifen nicht zu machen scheinen. Beides sind Verhalten, die bewirken, dass die relative Aufenthaltszeit in der Gefahrenzone umso kürzer wird, je breiter die Strasse ist. Da vielbefahrene Strassen mit grossem Unfallrisiko meist auch breite Strassen sind, - aber nicht immer umgekehrt-, scheint das Verhalten in den meisten Fällen eine Verkleinerung des Risikos zu bedeuten. Dass breite, kaum befahrene Strassen gegenüber schmalen, kaum befahrenen ebenfalls schneller und häufiger gerade überquert werden, könnte ein Hinweis auf den Mechanismus sein, mit dem ein Igel das Risiko einer Strasse einschätzt.

Eine Einstufung von Strassen nach Breite ist in jedem Einzelfall ohne Kenntnisse der betreffenden Strasse durch eine Abschätzung des offenen, deckungsfreien Streifens möglich. Beim Igel wäre dazu ein optisches Einschätzen der Distanz zu einem dunklen Horizont mit deckungsbietender Struktur vorstellbar. Für Wirbellose ist verschiedentlich eine solche Orientierung beschrieben (THIELE 1977, MADER 1988).

Vorstellbar wäre auch, dass sich Igel kein geografisches Bild von Störungshäufigkeiten machen können, so dass sie generell breite Strassen,

die sie auf ihren ausführlichen Wanderungen (ZINGG, in Vorb.) gut kennenlernen, als risikoreich einschätzen.

Dass der deckungsfreie Streifen nicht alleine ausschlaggebend sein kann, zeigen regelmässige Beobachtungen von Igel, die stundenlang inmitten grosser Rasenflächen ungedeckt Futter suchen können (BERTHOUD 1982, MORRIS 1983, ZINGG, in Vorb.).

Möglich wäre ein zusätzlicher Einfluss der Oberfläche. MADER (1981) vergleicht die Oberfläche und das Mikroklima der asphaltierten Strasse mit derjenigen eines Fels- oder Steppenhabitates. Der Igel könnte die Meidung solcher Oberflächen genetisch festgelegt oder durch Erfahrung erworben haben. Gut vorstellbar wäre, dass die Igel mit ihrem ausgeprägten Raumsinn die breiten Strassen in ihrem Aktionsgebiet kennen.

Indem das Verhältnis der von Jungtieren zurückgelegten Strecken gegenüber adulten Tieren mit dem Anteil junger überfahrener Igel verglichen wird, könnte die Erfahrungs-Hypothese geprüft werden. Lernen Igel im Laufe ihrer Ontogenese, dass die Strassenoberfläche oder generell breite Strassen mit Gefahren verbunden sind, und reagieren sie darauf mit einem Verhalten, das das Risiko vermindert, so sollte der Anteil überfahrener Jungtiere grösser sein, als ihr Anteil gelaufener Wege im Vergleich zu adulten Igel ausmacht.

Zusammenfassend betrachtet machen die Resultate der Häufigkeit und Zeiten von Strassenüberquerungen deutlich, dass Igel die Strassen ihres Lebensraumes in ihr Raumsystem integrieren. Die untersuchten Aspekte des Verhaltens bei einer Überquerung interpretiere ich als eine aktive Risikoverminderung. Durch die Strassenbeleuchtung und Fahrzeugfrequenz ist keine Barrierenwirkung mit daraus folgendem Isolationseffekt nachweisbar.

Diese Ergebnisse sind mit Vorstellungen über den Igel als opportunistisch in der Nahrungswahl (YALDEN 1976) und anpassungsfähig in den Lebensraumansprüchen (ESSER 1984, DIETZEN & OBERMAIER 1986, ZINGG, in Vorb.) vereinbar und tragen in gewissem Masse bei, seinen Erfolg im Siedlungsraum zu erklären.

## Zusammenfassung

Seit den fünfziger Jahren werden direkte und später auch indirekte Auswirkungen des Strassenverkehrs diskutiert. Dabei hat die Insel-Theorie eine zentrale Bedeutung für das Verständnis des Barriereneffektes mit nachfolgender Isolationswirkung erlangt.

Die vorliegende Freilandstudie, in der mit Telemetrie 14 Igel und Igelinnen bei ihren Strassenüberquerungen in zwei Agglomerationsgemeinden beobachtet wurden, fragt nach den Auswirkungen von Strassen auf das Raumsystem des Igels.

Die Resultate zeigen, dass Strassenüberquerungen während der ganzen Zeit der Nestabwesenheit der Igel, also während der vollständigen Nachtzeit vorkommen. Dabei konnten zwischen 2 und 24 Strassenüberquerungen pro Nacht festgestellt werden, wobei die Männchen wegen ihren längeren Wanderstrecken mit durchschnittlich 11.6 überquerten Strassen pro Nacht fast doppelt so häufig wie Weibchen Strassen kreuzen.

Die Strassenbeleuchtung hat im allgemeinen keine Auswirkungen auf die Wahl der Strassenüberquerungsorte.

Während breite Strassen relativ schneller als schmale überquert werden, zeigt sich keine Abhängigkeit der Laufgeschwindigkeit von der Fahrzeugfrequenz. Ebenso werden breite Strassen häufiger als schmale Strassen auf kürzestem Weg senkrecht überschritten, wobei kein Einfluss der Fahrzeugfrequenz festzustellen ist.

Die untersuchten Aspekte des Verhaltens bei Strassenüberquerungen werden als aktive Risikoverminderung interpretiert. Die Resultate der Häufigkeit und Regelmässigkeit von Strassenüberquerungen sowie die Risikoverminderung machen deutlich, dass Igel die Strassen ihres Lebensraumes in ihr Raumsystem integrieren. Strassenbeleuchtung und Fahrzeugfrequenz scheinen keine Barrierenwirkung mit nachfolgendem Isolationseffekten zu haben.

Diese Ergebnisse stimmen mit den Vorstellungen über den Igel als opportunistisch in der Nahrungswahl und anpassungsfähig in den Lebensraumansprüchen überein.

## E. LITERATUR

- ALTMANN, J. 1974: Observational Study of Behaviour: Sampling Methods. *Behaviour* 49: 227-265.
- BERTHOUD, G. 1982: Contribution à la biologie du hérisson (*Erinaceus europaeus* L.) et application à sa Protection. Dissertation. Université de Neuchâtel.
- BERTHOUD, G. 1988: *Erinaceus europaeus* L. 1958. Westigel. In: Hausser, J. & Bourquin, J.-D.: Die Verbreitung von zwölf Säugetierarten in der Schweiz. Schweizerische Gesellschaft für Wildforschung. Lausanne.
- BERTHOUD, G. & Müller, S. 1983: Protection du herisson le long des routes. Rapport final. Département Fédéral de l'Intérieur. Office Fédéral des Forêts. 22 S.
- BOITANI, L. & REGGIANI, G. 1984: Movements and activity patterns of Hedgehogs (*Erinaceus europaeus*) in Mediterranean coastal habits. *Z. f. Säugtk.* 49:193-206.
- DIETZEN, W. & OBERMAIER, E. 1986: Igelerschutz - aber richtig. Bestandessituation und Wertung der Überwinterung von Igel (*Erinaceus europaeus* L.) in menschliche Obhut.
- ELLENBERG, H., Müller, K. & Stottele, T. 1982: Ökologie und Strasse. Auswirkungen von Autobahnen und Strassen auf Ökosysteme deutscher Landschaften. Deutsche Strassenliga, Bonn.
- ESSER, J. 1984: Untersuchung zur Frage der Bestandesgefährdung des Igel (*Erinaceus europaeus*) in Bayern. Ber. ANL. 62 S.
- HANSEN, L. 1969: Trafikdoden i den danske dyreverden. *Dansk Orn. Foren. Tidsskr.* 63: 81-92.
- HAUSSER, J. & BOURQUIN, J.-D. 1988: Die Verbreitung von zwölf Säugetierarten in der Schweiz. Schweizerische Gesellschaft für Wildforschung. Lausanne.
- HEINRICH, D. 1978: Untersuchungen zur Verkehrsofferrate bei Säugetieren und Vögeln. *Heimat* 85 (8): 193-208.
- HERTER, K. 1938: Die Biologie der europäischen Igel. *Zentrbl. f. Kleintierk. und Pelztierkunde* 14(6): 1-22.
- HORKING, Charles. 1970: Igel. Psychologie, Ernährung, Haltung. Informationsdienst Tierschutz. 3. Aufl. 26 S.
- HUBER, J. 1982: Die verlorene Unschuld der Ökologie. Fischer Verlag, Frankfurt. 231 S.
- KLEIN, D. R. 1971: Reaction of reindeer to obstructions and disturbances. *Science, N.Y.* 173: 393-398.
- KRISTIANSSON, H. 1984: Spatial organisation and mating system in a hedgehog population. In: Kristiansson, H. : Ecology of a Hedgehog *Erinaceus europaeus* population in southern Sweden. Departement of Animal Ecology. Univ. of Lund. Schweden.
- MACARTHUR, R.H. & WILSON, E.O. 1967: The Theorie of Island Biogeography. Princeton Univ. Press. Princeton. 203 S.
- MADER, H.J. 1979: Die Isolationswirkung von Verkehrsstrassen auf Tierpopulationen, untersucht am Beispiel von Arthropoden und Kleinsäugetern der Waldbiozönose. *Schr.R. für Landschaftspflege und Naturschutz* 19: 1-132.

- MADER, H.J. 1981: Der Konflikt Strasse - Tierwelt aus ökologischer Sicht. *Schr.R. für Landschaftspflege und Naturschutz* 22:1-99.
- MADER, H.J., SCHELL, CH & KORNACKER, P. 1988: Feldwege - Lebensraum und Barriere. *Natur und Landschaft* 63 (6): 251-256.
- MORRIS, P. 1983: *Hedgehogs*. Weybridge: Witted Books.
- MORRIS, P. 1986: Nightly movements of hedgehogs (*Erinaceus europaeus*) in forest edge habitat. *Mammalia* 3, 395-398.
- OXLEY, D.J., FENTON, M.B. & CARMODY, G.R. 1974: The effects of roads on small mammals. *J. app. Ecol.* 11: 51-59.
- PFISTER, H.P. & RIMATHÉ, R. 1979: Die Schweizerische Hasenforschung. *Feld, Wald, Wasser. Schweiz. Jagd-Z.* 7(2): 1-54.
- PODUSCHKA, W. 1969: Ergänzungen zum Wissen über *Erinaceus e. romanicus* und kritische Überlegungen zur bisherigen Lieteratur über europäische Igel. *Z. Tierpsychol.* 26: 761-804.
- REEVE, N.J. 1982: The Home Range of the Hedgehog as Revealed by Radio Tracking Study. *Symp. zool.Soc. Lond.* 49: 207-230.
- REICHHOLF, J. 1984: Dynamik der Biotopwahl von Igel *Erinaceus europaeus* im Jahreslauf. *Säugetierkundl. Mitt.* 31: 265-266.
- REICHHOLF, J. & J. ESSER. 1981: Daten zur Mortalität des Igels (*Erinacaeus europaeus*), verursacht durch den Strassenverkehr. *Z. Säugetierkunde* 46: 216-222.
- RWI 1988: Plädoyer für den Igel. Rhein-Westfälische-Igelfreunde. Verein für Tier- Arten- und Biotopschutz e. V. Im Siebenborn 12. D-5272 Wipperfürth 1. 55 S.
- SACHS, L. 1978: *Angewandte Statistik. Statistische Methoden und ihre Anwendung*. Springer Verlag Berlin.
- SHAFFER, M.L. 1981: Minimum Population Sizes for Species Conservation. *Bio Science* 31(2): 131-134.
- SIEGEL, S. 1987: *Nichtparametrische statistische Methoden*. Fachbuchh. für Psychologie. Frankfurt a. M. 320 S.
- SOKAL, R.R. & ROHLF, F.J. 1984: *Biometry*. Freeman and Co. San Francisco. 776 S.
- SPSS 1984: *SPSS/PC+ Reference Manual*. SPSS Inc.
- THIELE, H. U. 1977: *Carabid Beetles in Their Environments. A Study on Habitat Selection by Adaptations in Physiology and Behaviour*. Springer Verlag Berlin. 369 S.
- WALHOVD, 1978: The overwintering pattern of Danish hedgehogs in outdoor confinement, during three successive winters. *Nat. Jutlandica.* 20: 273-284.
- Weber, D. 1989: Beobachtungen zu Aktivität und Raumnutzung beim Iltis (*Mustela putorius L.*). *Revue suisse Zool.* 96: 841-862.
- WEINZIERL, H. 1957: Verkehrsoffer Igel. *Kosmos* 53(12):620.
- YALDEN, D.W. 1976: The food of the hedgehog in England. *Acta Theriol.* 21: 401-424.

## F. ADRESSEN

BONTADINA Fabio, Hohlstrasse 86a, 8004 Zürich.

BURCHHARD, Ingenieur-Büro, Tirolerweg 2, D-7801 Ebringen. Tel. 07664-8188.

WAGENER, Karl, Firma für Hf und Nf-Technik - Telemetrie, Herwarthstrasse 22, D-5000 Köln 1.

ZINGG, Robert, Chilestrasse 11, 8906 Bonstetten.