

Tierspuren als Möglichkeit zur Schätzung der Populationsgröße von wildlebenden Landsäugetieren

Bachelorarbeit

Vorgelegt von: Paul Stöcker ¹

Göttingen im Herbst 2007

Erstprüfer: **Dr. Ferdinand Rühle** (Institut für Forstzoologie und Waldschutz
einschließlich Wildbiologie und Jagdkunde)

Zweitprüfer: **Prof. Dr. Jürgen Nagel** (Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt)

Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität

Göttingen

1	Einleitung	3
1.1	Charakteristika von Tierspuren.....	3
1.2	Spurensucher und Fährtenleser.....	4
1.3	Tierspuruntersuchung als indirektes Verfahren der Bestandsschätzung.....	5
2	Material und methodische Überlegungen	7
3	Ergebnisse der Literaturlauswertung	8
3.1	„Winter-Track-Count“ – ein Beispiel für Bestandsschätzung mit Tierspuren.....	8
3.1.1	Allgemeine Aspekte von Untersuchungen im Schnee.....	8
3.1.2	Hochrechnung nach der Priklonski-Methode.....	9
3.2	Das Fang-Wiederfang-Verfahren.....	10
3.2.1	Bestandsschätzung mit dem Fang-Wiederfang-Verfahren.....	10
3.2.2	Indirekte Fang-Wiederfang-Verfahren.....	11
3.3	Auf der Suche nach dem „Daumenabdruck“ – neue Techniken der Spuranalyse.....	11
3.3.1	Die Datenaufnahme – Kriterien und Aufnahmetechnik.....	12
3.3.2	Zur biometrischen Vermessung von Trittsiegeln.....	13
3.3.3	Analyse und Klassifizierung der Trittsiegelmaße.....	15
4	Diskussion	16
4.1	Diskussion des Winter-Track-Count.....	16
4.2	Diskussion des Fang-Wiederfang-Verfahrens.....	18
4.3	Diskussion der multivarianten Analyse von Trittsiegeln.....	19
5	Schlussfolgerungen	21
	Abstract	23
7	Literaturverzeichnis	24

1 Einleitung

Ein Motiv für die vorliegende Bachelorarbeit „Tierspuren als Möglichkeit zur Schätzung der Populationsgröße von wildlebenden Landsäugetieren“ bilden persönliche Erfahrungen während einer Reise ins estländische „Endla Naturschutzgebiet“ und während einer einjährigen Fortbildung zum Thema „Naturerfahrung und Fährtenlesen“. Sie regten die Frage nach der möglichen Bedeutung von Tierspuren für Feldforschungen im Gebiet der Wildbiologie an. Obwohl die Arbeit mit Spuren und Fährtenlesern – wie sich bei der Suche nach entsprechender Literatur herausstellte - im Gesamtzusammenhang der Disziplin nur eine randständige Rolle zu spielen scheint, gibt es doch eine ganze Reihe Untersuchungen, die sich ihrer bedienen. Dabei handelt es sich vor allem um Feldversuche zur Bestandsschätzung. Vor diesem Hintergrund erklären sich Thema und Schwerpunktsetzung dieser Arbeit.

Um in das Thema einzuleiten, wird im Folgenden dargestellt, durch welche Charakteristika Tierspuren sich auszeichnen, welche Qualitäten Spürsucher und Fährtenleser in Feldversuche mit Tierspuren einbringen können und schließlich, wo Tierspuruntersuchungen im Kontext anderer Methoden der Bestandsschätzung einzuordnen sind.

1.1 Charakteristika von Tierspuren

Bei den landlebenden Säugetieren haben verschiedene evolutionsgeschichtliche Entwicklungen zu einer unterschiedlichen Ausbildung der Fußknochen geführt. Diese Unterschiede bilden sich in den Fußabdrücken, den „Trittsiegeln“, ab und zwar so, dass sie in der Regel bestimmten Tierarten zuzuordnen sind. Die Ausformung der Trittsiegel kann also als artspezifisch gelten (Liebenberg, 1990:121). Produzieren Tiere bei ihren Fortbewegungen eine Abfolge von Trittsiegeln, so hinterlassen sie in ein für ihre Art typisches Muster: die Spur.²

Da Trittsiegel sich räumlich im Untergrund ausprägen, weisen Abdrücke, die im Verlauf einer Tierspur sichtbar sind, nicht immer das gleiche Erscheinungsbild auf. Es verändert sich hauptsächlich in Abhängigkeit von der wechselnden Bodenbeschaffenheit, der Gangart, in der sich das Tier bei der Produktion der Spur bewegt (Grigione, 1999:30) und ist auch von Eigenschaften und Befindlichkeiten beeinflusst, die ein einzelnes Tierindividuum im Allgemeinen oder in besonderen Situationen auszeichnen, wie etwa seine körperliche Verfassung und bestimmte Eigenarten in seinem Verhalten (Brown, 1999:33ff).³

Ist die Spur einmal entstanden, nehmen neben diesen Faktoren noch andere auf sie Einfluss: So können beispielsweise kreuzende Tiere, Menschen oder Fahrzeuge Spuren unterbrechen und zerstören. Besonders aber ist ihr Erscheinungsbild abhängig von ihrem Alterungsprozess, der an eine Reihe abiotischer Umweltfaktoren gekoppelt ist: Der Abdruck der Trittsiegel, der, wie bereits erwähnt, schon nach den Substrateigenschaften variiert, ist verschiedenen Temperaturen, Windgeschwindigkeiten, Strahlungs- und Niederschlagsmengen

² Eine Spur wird in der Regel von anderen Anwesenheitszeichen begleitet: von umgeknickten Halmen oder Ästen, Losung, Fraßspuren usw. Diese Gesamtheit der Zeichen, die ein Tier bei seinen Bewegungen im Raum hinterlässt, kann man zur Unterscheidung von der eigentlichen Spur als „Fährte“ bezeichnen.

³ Bei bestimmten Tierarten lassen sich auch individualisierbare Aspekte in den Trittsiegeln entdecken, aber dies soll erst später behandelt werden.

ausgesetzt. Durch die Vielzahl solcher ineinander greifender Faktoren kommt es zu Situationen, in denen Spuren schon nach wenigen Stunden bis zur Unlesbarkeit beschädigt oder gänzlich ausgelöscht sind. Im anderen Extrem kann es aber auch zur Konservierung einer Spur über Monate hinweg kommen. Deshalb gilt die Bestimmung des Alters von Tierspuren als besonders schwierig (Liebenberg, 1990:31, 76f).

Eine Besonderheit von Tierspuren, die im Zusammenhang mit Bestandsschätzungen erwähnt werden muss, ist die so genannte „Produktionsrate“. Die Menge an Tierspuren ist nicht nur abhängig von der Anzahl Tiere, die sie produzieren, sondern auch davon, wieviel diese Tiere sich bewegen, in welcher Rate sie Spuren produzieren (Büttner, 1983:81ff; Plumtre, 2000:357; Tottewitz et al., 1996:113). Es besteht also zwischen der Anzahl vorhandener Tiere und der Menge vorhandener Spuren selten ein unmittelbarer Zusammenhang.

Führt man sich diese vielen Variablen in den Eigenschaften der Tierspuren vor Augen, ergeben sich daraus für ihre Verwendung zur Bestandserfassung eine Reihe von Fragen: Auf welchem Substrat lassen sich Spuren gut erkennen? Ist eine genaue Altersbestimmung von Bedeutung? Wie lassen sich Doppelzählungen vermeiden? Gibt es Möglichkeiten, Spuren bestimmten Tierindividuen zuzuordnen? Stellt die unterschiedliche Rate, mit der Spuren entstehen, ein Problem dar?

1.2 Spurensucher und Fährtenleser

Bisher existiert kein von den menschlichen Sinnen unabhängiges Instrument für die visuelle Wahrnehmung von Tierspuren, deshalb sind zur Aufnahme und Auswertung von Tierspuren die Fähigkeiten von Spurensuchern und Fährtenlesern unverzichtbar.

Die Fähigkeit zum Spuren- und Fährtenlesen wurde nicht im Kontext der heute fast weltweit üblichen industriellen Formen der gesellschaftlichen Existenzsicherung entwickelt, sondern entstammt früheren menschlichen Entwicklungsstufen. Die Fähigkeit Spuren zu entdecken, zu identifizieren und zu verfolgen, war ein integrales Element der Jagdweisen, wie sie sich in frühen Stadien der Menschheitsgeschichte in Gesellschaften herausgebildet haben, deren Subsistenz unmittelbar von der Natur abhing. Demzufolge entspringt diese Kunst einerseits der dort vorherrschenden Notwendigkeit, die Versorgung mit Nahrung und Kleidung durch Sammeln und Jagen zu sichern. Andererseits wurde sie befördert durch die magisch-spirituelle Verbundenheit mit der Natur und besonders der Tierwelt, wie sie für solche Gesellschaften angenommen wird (Gaulke, 1998:5).⁴ Durch die im Weltmaßstab auftretenden Ungleichzeitigkeiten in der kulturellen Entwicklung gab es noch bis weit ins 20. Jahrhundert hinein Enklaven, beispielsweise in Alaska und in bestimmten Teilen Afrikas, in denen die Menschen sich durch Jagen und Sammeln unmittelbar aus der Flora und Fauna ihrer Umgebung ernährten.⁵ Auf diese Weise ist die Kunst des Spurensuchens trotz der sich mit der Weiterentwicklung der Lebens- und Arbeitswelten schon seit Jahrhunderten vertiefenden Entfremdung der Menschen von der Natur nicht völlig verloren gegangen, auch wenn sie heute nur noch von wenigen Menschen beherrscht und gepflegt wird.

⁴ Manche der am Thema „Tierspuren“ besonders engagierten Autoren sind der Auffassung, dass das Spurenlesen als fundamental in der Evolution zum *Homo sapiens* anzusehen sei. Dies scheint nicht völlig abwegig, da die Jagd und der Fleischkonsum für die Entwicklung des menschlichen Gehirns von ausschlaggebender Bedeutung waren (Behringer, 2007:41).

⁵ Eindrücklich wird das beispielsweise im Lebensbericht des 1916 geborenen Sidney Huntington beschrieben, der in Alaska, im Gebiet des Koyukuk aufwuchs (Huntington, 1993).

Heute stehen Spuren- und Fährtenlesen aber nur noch selten im Zusammenhang mit der unmittelbaren Lebenserhaltung, stattdessen werden Menschen, die diese „Kunst“ beherrschen, immer wieder zu wildbiologischen Untersuchungen herangezogen (Stander, 1997:329).

Von Spuren- und Fährtenlesern wird erwartet, dass sie die Spuren der Zielspezies wahrnehmen, identifizieren, verfolgen und sie unter Berücksichtigung der im vorherigen Abschnitt dargestellten Charakteristika interpretieren können. Wegen der relativen Flüchtigkeit von Trittsiegeln muss sich ihre Aufmerksamkeit auch auf andere Zeichen richten, die eine zeitlich zurückliegende Anwesenheit oder Aktivität eines Tiers verraten. Es geht bei der Arbeit der „Tracker“ also um die sensible Wahrnehmung und Zusammenschau der Gesamtheit von Anwesenheitszeichen, nicht nur um das (Tier-)Spurenlesen in einem engen Sinn, sondern um Fährtenlesen. Dies ist besonders dann von Bedeutung, wenn Spuren, sei es wegen des unterschiedlichen Substrats, sei es wegen klimatischer oder anderer Einwirkungen unterbrochen sind und wieder gefunden werden müssen.

Spurenlesen erfordert ein großes Wissen über die Zusammenhänge der Natur und ein auf Erfahrung beruhendes Verständnis für die Lebensweise und das Verhalten von Tieren, aber auch Vorstellungen davon, wie ihre artspezifischen und/oder individuellen Besonderheiten sich in ihren Spuren abbilden. Gleichzeitig erfordert Spurenlesen auch Wissen um das Gelände, das die Tiere durchstreifen, und eine ausgebildete Fähigkeit zur Wahrnehmung, besonders des Bodens, auf dem sie sich jeweils bewegen, damit auch die Reaktionen eines spezifischen Substrats auf Druck und Beschleunigung durch unterschiedliche Tieraktivitäten in die Interpretation einbezogen werden können.⁶

Zum erfolgreichen Spuren- und Fährtenlesen ist also weit mehr erforderlich als geschulte und geschärfte Sinne, vielmehr bedarf der Spuren- und Fährtenleser „innerer Bilder“, Vorstellungen, in denen sich Wissen, Erfahrung und Intuition verbinden, einerseits um für die Spurensuche eine Orientierungsgrundlage zu haben, andererseits um die Spuren und Zeichen von Tieren entsprechend der jeweiligen Untersuchungsfrage zu deuten.⁷

Es liegt daher auf der Hand, dass Genauigkeit und Verlässlichkeit von Daten, die bei Spuruntersuchungen gewonnen werden, mit der Qualifikation der beteiligten Spuren- und Fährtenleser stehen und fallen. Für ihren Einsatz bei Bestandsschätzungen verbirgt sich hier ein Problem: Wie kann verhindert werden, dass dieser unkalkulierbar erscheinende subjektive Faktor zu Verzerrungen in den Schätzungsergebnissen führt?

1.3 Tierspuruntersuchung als indirektes Verfahren der Bestandsschätzung

Tiere stellen sich nicht in Reih und Glied auf, um sich zählen zu lassen. Deshalb kann die Größe von wildlebenden Tierbeständen nur geschätzt werden. Dazu sind sehr unterschiedliche Verfahren entwickelt worden. Tierspuruntersuchungen sind der Gruppe der indirekten Verfahren zuzurechnen.

Sie verzichten im Unterschied zu den direkten Verfahren auf Manipulationen am Tier, wie beispielsweise Markierung oder Besenderung (Schwarz und Seber, 1999:428).⁸ Stattdessen

⁶ Tom Brown Jr. (1978) beschreibt über 1500 solcher „pressure releases“, mit deren Hilfe detaillierte Hypothesen über Verfassung und Verhalten von Tieren gewonnen werden konnten.

⁷ Für eine ausführliche Beschreibung dieser im Gehirn abgespeicherten Muster siehe Hüther (2005).

benutzen sie Informationen aus Sichtbeobachtung oder aus Anwesenheitszeichen, wie etwa Losung, Haare, Brut- und Aufzuchtstätten, Rufe und eben auch Tierspuren (Sadlier et al., 2004:75; Wilson und Dalahay, 2001:151ff).⁹

Im Unterschied zu Verfahren, die auf dem direkten Zugriff auf die Tiere oder auf ihrer Sichtbeobachtung basieren, sind Verfahren, die auf der Aufnahme und Interpretation von Anwesenheitszeichen beruhen, weniger eindeutig. Beim direkten Zugriff gibt es nur zwei Klassen, in die das untersuchte Merkmal – hier das ganze Tier - eingeordnet werden kann, nämlich anwesend – das Tier wird wahrgenommen und zweifelsfrei gezählt – und abwesend – kein Tier ist zu sehen, demzufolge kann auch keins gezählt werden.¹⁰ Stützt sich eine Bestandsschätzung auf Anwesenheitszeichen, muss immer vom aufgefundenen Zeichen auf die Anwesenheit des Tieres zurückgeschlossen werden, das die Losung, die Spur usf. zurückgelassen hat. Dabei sind Fehler möglich; dies gilt besonders bei Tierspuren, wie aus ihren oben dargestellten Charakteristika hervorgeht. Deswegen werden Bestandsschätzungen auf der Basis von Anwesenheitszeichen – und insbesondere von Tierspuren - von einigen Autoren kritisch hinterfragt (Jewell et al., 2001:1f).

Vor diesem Hintergrund ergeben sich zwei Fragen: Wie können Fehler bei der praktischen Datenaufnahme vermieden werden? Und wie kann die Wahrscheinlichkeit, mit der solche Aufnahmefehler auftreten, in der rechnerischen Auswertung berücksichtigt werden, um Verzerrungen im Ergebnis zu minimieren?

Weitere Fragen ergeben sich aus der Tatsache, dass Bestandsschätzungen – gleich ob direkt oder indirekt - heute generell auf der Basis von Stichproben erhoben werden (Borchers et al., 2003:3ff).¹¹ Dabei wird die Anzahl der Tiere, die auf einem Teilgebiet ermittelt werden kann, auf das gesamte Untersuchungsgebiet hochgerechnet. Auch Bestandserhebungen, die mit Tierspuren arbeiten, stützen sich auf Stichproben; ein anderes Vorgehen wäre auch schwer vorstellbar.

Stichprobenverfahren haben den Vorteil, dass die Erhebung einfach zu wiederholen ist. Dadurch wird eine Anhäufung von Messergebnissen möglich und erst damit können in Bestandsschätzungen mathematisch-statistische Komponenten eingehen (Köhler et al., 2002:12ff). Damit sich dieser Vorteil in einem validen Untersuchungsergebnis niederschlagen kann, müssen zwei Probleme gelöst werden: Welche Form muss der Ausschnitt aus dem Untersuchungsgebiet, aus dem die Stichprobe erhoben wird, haben, um die Charakteristika von Tierspuren angemessen zu berücksichtigen? Welches Verfahren kann eingeschlagen werden, um von der Stichprobe auf den Gesamtbestand hochzurechnen?

⁸ Diese Verfahren erlauben nicht nur die Zählung, sondern auch zusätzliche Beobachtungen, z.B. die Feststellung von Wanderbewegungen und Lebensraumgrößen, bei Markierung wird häufig die Wiederzählung zu einem späteren Zeitpunkt angestrebt. In die Kategorie der direkten Ansätze fallen auch Zählverfahren, die auf Jagdstatistiken oder Wildunfallzahlen aufbauen (Sadlier et al., 2004:78).

⁹ Anders als die direkten Verfahren arbeiten solche Untersuchungen zur Erfassung der ausgewählten Merkmale mit Infrarotkameras, Fotofallen, DNA-Analysen, Aufnahmegeräten oder verlassen sich auf das Lesen von Tierspuren, sie sind also „non-intrusive“.

¹⁰ Eine Ausnahme unter den indirekten Verfahren stellen Sichtbeobachtung und Fotofallen dar, die allerdings beide nicht mit Anwesenheitszeichen arbeiten.

¹¹ Durch die Entwicklung von statistischen Schätzmethoden im 19. Jahrhundert, wurde das Verfahren der Vollzählung allmählich verdrängt. So wird sie bei Burnham et al. nur noch der Vollständigkeit halber als eine Methode erwähnt, bei der Untersuchungsgebiet und Erhebungsfläche identisch sind. Das Ergebnis ergibt sich aus der Summe der beobachteten Tiere und wird als absolute Häufigkeit des tatsächlichen Vorkommens behandelt (Burnham et al., 1980:10).

2 Material und methodische Überlegungen

Die vorliegende Arbeit geht von den zwei folgenden Voraussetzungen aus:

Erstens davon, dass das Wissen um die Größe von wildlebenden Tierpopulationen für deren angepasstes Management von grundlegender Bedeutung ist (Marques et al., 2001; Stander, 1998:378; Link, 2003:1123), denn die Effektivität von Feldstudien, „wie beispielsweise solcher, die Populationsdynamik, die Räuber-Beute Beziehung oder die Auswirkung von Infektionskrankheiten beinhalten, gründet auf der Möglichkeit zur vertrauenswürdigen Schätzung der Abundanz von Tierbeständen“ (Wilson und Dalahay, 2001:151; vgl. auch Murray et al., 1999:241; Linnell et al., 2001:347).¹² Zweitens hält sie die Verwendung von Tierspuren bei Bestandsschätzungen gegenüber anderen Verfahren für eine kostengünstige und auch unter logistischen Gesichtspunkten¹³ vorteilhafte Maßnahme, bei der zudem die möglichen negativen Aspekte von Manipulationen am Tier entfallen, wie sie bei direkten Methoden meist notwendig sind (Riordan, 1998:253; Stander, 1998:378).

Trotz der skeptischen Haltung einiger Autoren gegenüber der Verwendung von Tierspuren für Bestandsschätzungen (z.B. Jewell, 2001:1f; Stephens et al., 2006:339, 346) und trotz der zahlreichen methodischen Aspekte, die dabei – wie in der Einleitung entwickelt – beachtet werden müssen, verfolgt die vorliegende Untersuchung die Hypothese, dass durch die geschickte Kombination von Verfahren, die in Untersuchungsberichten ausfindig gemacht werden können, Umrisse eines verbesserten Untersuchungsdesigns für Bestandsschätzungen mit Tierspuren sichtbar werden können.

Um dafür Anhaltspunkte zu finden, werden in dieser Arbeit allgemeine Literatur und vor allem eine Reihe einschlägiger Untersuchungsberichte ausgewertet. Dabei sollen einerseits die praktischen und methodischen Probleme, die bei den vorgestellten Verfahren zur Bestandsschätzungen auftreten, genauer herausgearbeitet und andererseits - zur Einlösung der Hypothese - mögliche Lösungsansätze gekennzeichnet werden.

Als Ergebnis der Literaturlauswertung werden Untersuchungen aus drei verschiedenen Praxiszusammenhängen vorgestellt: zunächst ein Verfahren des „Winter-Track-Count“, das als klassisches Modell der Bestandsschätzung auf Basis von Tierspuren gilt (3.1). Das ohne Tierspuren arbeitende Fang-Wiederfang-Verfahren (3.2) wird ausgewählt, weil es auf einem methodisch interessanten Verfahren zur Erhebung von Referenzdaten aufbaut. Schließlich informiert ein dritter Abschnitt (3.3) über Forschungsergebnisse zur individuellen Erkennbarkeit von Tieren durch die Vermessung ihrer Trittsiegel. Damit eröffnen sich möglicherweise für die Arbeit mit Tierspuren neue Möglichkeiten bei der Erhebung von Erst- und Referenzdaten als Material für Bestandsschätzungen.

Kapitel 4 diskutiert die Leistungen und Defizite der vorgeführten Untersuchungen, damit in der Zusammenfassung (Kapitel 5) Ideen für ein alternatives oder verbessertes Vorgehen bei Bestandsschätzungen mittels Tierspuren zusammengestellt werden können.

¹² “Field studies, such as those involving population dynamics, predator-prey relationships and the effects of disease, all rely on the ability to make reliable estimates of animal abundance.“

¹³ Zu berücksichtigen wäre beispielsweise die Höhe der Kosten für Equipment, Laboruntersuchungen und Transport für eine große Gruppe von Mitarbeitern bei großflächigen Untersuchungen.

3 Ergebnisse der Literaturlauswertung

3.1 „Winter-Track-Count“ – ein Beispiel für Bestandsschätzung mit Tierspuren

In diesem Kapitel wird das methodische Vorgehen bei Bestandsuntersuchungen unter winterlichen Bedingungen herausgearbeitet werden. Dafür werden einige allgemeinen Einschätzungen älteren und jüngeren Datums (Briedmann, 1982; Büttner, 1983: 90ff; Hayward et al., 2002; Stephens et al., 2006) und ein konkretes Beispiel (Jedrzejewska und Jedrzejewski, 1998) herangezogen. Die vorgestellten Untersuchungen liefern nicht unbedingt ein Vorbild, sie erlauben es aber, bestimmte Probleme der Bestandsschätzung auf der Basis von Tierspuren anschaulich zu erläutern.¹⁴

3.1.1 Allgemeine Aspekte von Untersuchungen im Schnee

Um das Problem wechselnder Substrate zu umgehen, finden Untersuchungen, die mit Tierspuren arbeiten, häufig im Winter und in Regionen statt, in denen über längere Zeit eine geschlossene Schneedecke bestehen bleibt. Denn im Schnee bilden sich die Trittsiegel deutlich ab. Folglich sei das Übersehen einer Spur auch bei wenig erfahrenen Beobachtern nahezu auszuschließen und daher sei „die Wildbestandsermittlung auf der Grundlage einer Schneedecke (...) in allen Gebieten, in denen mit ausreichend Schneefall zu rechnen ist, als Hauptmethode anzusehen“ (Briedmann, 1982:88).

Auf Grund der idealen Bedingungen wird angenommen, dass die Tierspuren mit einer gleich bleibenden Wahrscheinlichkeit von 100%, also vollständig entdeckt werden. Um sie zu zählen, wird gewöhnlich über das Untersuchungsgebiet eine Reihe von Transekten gelegt, deren Länge und Lage den Zielen und Bedingungen der Untersuchung angepasst sind. Als Zählmerkmal gelten die Spuren, die eines der Transekte kreuzen.

Um zu gewährleisten, dass keine alten, sondern nur aktuelle Spuren aufgenommen werden, erfolgt das Abschreiten der Transekte zweimal im Abstand von 24 Stunden (Briedmann, 1982:93). Bei der ersten Begehung werden alle entdeckten Spuren markiert. Am nächsten Tag werden nur die unmarkierten - also die frischen - Spuren berücksichtigt.

Kreuzen Spuren ein Transekt in einem Abstand, der geringer ist als 500 m, werden sie ausreichend weit abgefahren, um festzustellen, ob es sich um ein erst hin und dann wieder zurückkreuzendes Tier handelt (Jedrzejewska und Jedrzejewski, 1998:105). Eine Doppelzählung soll so verhindert und damit die Wahrscheinlichkeit erhöht werden, dass die registrierten Spuren von unterschiedlichen Individuen produziert wurden.

Da solche Untersuchungen nicht auf Vollzählung, sondern auf Stichproben basieren, werden Verfahren zur Hochrechnung der ermittelten Zählergebnisse benötigt, von denen ein besonders durchdacht erscheinendes im nächsten Abschnitt dargestellt wird.

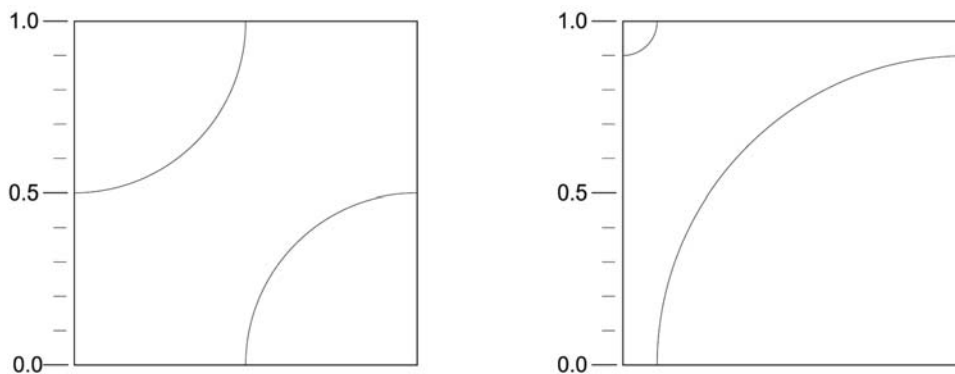
¹⁴ Eine umfassende und kritische Darstellung der Entwicklung des Winter-Track-Count insgesamt ist hier nicht beabsichtigt, denn das würde den Rahmen der Arbeit sprengen und wäre bezogen auf die Fragestellung der Arbeit auch nicht gerechtfertigt.

3.1.2 Hochrechnung nach der Priklonski-Methode

Bei einer Untersuchung zum Räuber- Beuteverhältnis im polnischen Białowieża Nationalpark interessierten sich B. Jedrzejewska und W. Jedrzejewski (1998) für die Größe des Luchsbestandes (*Lynx lynx*). Das Verfahren, nach dem sie die Spuren aufnahmen, ähnelt im Grundsatz dem oben beispielhaft beschriebenen. Für die Hochrechnung ihrer Zählergebnisse benutzten sie eine von Priklonski 1965 veröffentlichte Methode.¹⁵ Diese zeichnet sich durch zwei Besonderheiten aus:

1. wird eine Konstante eingeführt, mit der vom Zählergebnis auf den Transekten ausgehend die Gesamtlänge aller Spuren im Untersuchungsgebiet berechnet werden kann;
2. wird zur Ermittlung der Bestandsgröße die Länge der Strecke benutzt, die durchschnittlich von Tieren der Zielspezies an einem Tag zurückgelegt wird.

Im ersten Schritt wird ermittelt, wie viele Spuren sich im Durchschnitt auf einem Kilometer der Transekte befinden ($n \cdot \text{km}^{-1}$). Auf Basis dieses Wertes wird dann die Länge ermittelt, die die Spuren auf einem km^2 haben. Dazu wird mit der Konstanten $\frac{1}{2} \pi = 1,57$ multipliziert: $n \cdot \text{km}^{-1} \cdot 1,57$. Wie kommt diese Konstante zustande? Priklonski ging davon aus, dass Tiere, die ein Quadrat durchqueren, in der Regel zwei benachbarte Seiten schneiden und dabei eine Spur legen, die annäherungsweise einen größeren oder kleineren Kreisabschnitt umschreiben. (s. Abb.) Daraus ergeben sich im Durchschnitt Viertelkreise mit der Kreisbogenlänge von $\frac{1}{4} 2\pi$. Bei einem Radius von 1, der festgelegten Seitenlänge des Quadrats, ergibt sich der als Konstante benutzte Wert 1,57.



Multipliziert man jetzt die für einen km^2 ermittelte Spurenlänge mit der Anzahl der km^2 des Untersuchungsgebietes, erhält man annähernd die Gesamtlänge aller das Durchsuchungsgebiet durchlaufenden Tierspuren, wie sie am Tag der Erhebung entstanden sind. An dieser Stelle kommt nun die Tagesstrecke ins Spiel, die von Tieren der jeweilige Spezies im Durchschnitt pro Tag zurückgelegt wird. Wird die Gesamtlänge durch diesem Wert dividiert, erhält man die annähernde Anzahl an Tieren im Untersuchungsgebiet.

¹⁵ Ein vom Prinzip her identisches Verfahren ist in der Literatur auch als Formozov-Formel bekannt (Büttner, 1983:82).

3.2 Das Fang-Wiederfang-Verfahren

Um für Bestandsschätzungen auf der Basis von Tierspuren, Ergebnisse mit verbesserter Aussagekraft zu erzielen, wären Möglichkeiten einer unabhängigen Überprüfung der Ergebnisse nützlich und notwendig (Stephens et al., 2006:346). Denn erst durch zuverlässige Referenzdaten entsteht die Chance, die eigene Verfahrensweise zu beurteilen und gegebenenfalls zu evaluieren. Am zuverlässigsten für dieses Abgleichen mit der Wirklichkeit wären vorab schon auf anderem Wege gewonnene sichere Daten über die tatsächliche Größe der untersuchten Population. Allerdings gibt es bei wildbiologischen Feldversuchen zur Bestandsschätzung eine solche Gelegenheit nur außerordentlich selten. Es ist aber ein Ausweg vorstellbar: Sind nämlich keine Informationen über die wahre Populationsgröße vorhanden, können sie relativ einfach durch das Markieren einer Teilmenge der Population und deren Hochrechnung nach einem ausgewiesenen Verfahren gewonnen werden (Skalski, 1991:705). Auf ein Verfahren, das sich dieser Möglichkeit bedient, den direkten Fang-Wiederfang-Ansatz, wird in diesem Kapitel eingegangen, da sich dessen logisches Grundgerüst auch für indirekte Ansätze der Bestandsschätzung nutzen lässt (Miller et al., 2005:1991).

3.2.1 Bestandsschätzung mit dem Fang-Wiederfang-Verfahren

Die Idee der Fang-Wiederfang-Methode stammt aus dem Bereich der Bestandsschätzung mittels direkter Verfahren.¹⁶ Sie wird hier am Beispiel des „Lincoln-Petersen-Estimator“¹⁷ vorgestellt. Hinter dieser Bezeichnung verbirgt sich ein Schätzverfahren, das im Laufe der Zeit eine Vielzahl von Erweiterungen erfahren hat (Schwarz und Seber, 1999:435ff). Es wird aber in seiner ältesten und einfachsten Form immer noch in der Literatur aufgeführt, weil sich damit das Fang-Wiederfang-Verfahren insgesamt gut erläutern lässt.

Bestandsschätzungen mit dem „Lincoln-Petersen-Estimator“ gehen von folgenden Prämissen aus: Angenommen wird die Abgeschlossenheit der zu untersuchenden Population.¹⁸ Für alle Tiere besteht in jedem erneuten Fangvorgang die gleich Wahrscheinlichkeit, in den Stichproben aufzutauchen, und dass der Fang eines Tieres keinerlei Auswirkung auf die Wahrscheinlichkeit hat, mit der andere Tiere gefangen werden (Borchers et al., 2003:109).

Aus dem Bestand, dessen Größe ermittelt werden soll, werden beim Fang-Wiederfang-Verfahren Tiere gefangen und zwar in mindestens zwei zeitlich getrennten Fangvorgängen. Vor dem ersten Durchlauf sind im Bestand keine markierten Tiere vorhanden (M_1). Im ersten Durchlauf werden dann Tiere mit Ködern in Lebendfallen gefangen (u_1) und dauerhaft markiert. Dadurch wird gewährleistet, dass die Tiere im Falle ihrer erneuten Gefangennahme in einem zweiten Fangdurchgang erkannt werden können. Das ist notwendig, weil die markierten Tiere vor diesem zweiten Untersuchungsdurchlauf alle wieder frei gelassen werden und ins Untersuchungsgebiet zurückkehren. Sie bilden jetzt innerhalb der insgesamt unbekanntes Tierpopulation eine Subpopulation (M_2) von bekannter Größe. Im zweiten Untersuchungsdurchlauf treten dann unter den gefangenen Tieren sowohl eine Anzahl von markierten (m_1) als auch eine Anzahl von unmarkierten Tieren (u_2) auf. Ein Teil der markierten Subpopulation wurde also „wieder gefangen“. Die Anzahl dieser erneut

¹⁶ Vgl. Kapitel 1.2.2

¹⁷ Je nach Autor wird dieses Schätzverfahren unterschiedlich benannt. „Lincoln index“ oder „Petersen-Estimator“. Hier wird die Methode nach Link „Lincoln-Petersen-Estimator“ genannt (Link 2003).

¹⁸ Abgeschlossenheit bedeutet, dass im Zeitraum der Untersuchung keine Ab- und Zuwanderungen stattfinden sowie dass keine Tiere sterben oder neu geboren werden (Link, 2003:1123).

gefangenen Tiere (m_2) wird zur Anzahl der im ersten Durchgang markierten Tiere (M_2) ins Verhältnis gesetzt. Der relative Anteil der wieder gefangenen markierten Tiere (m_2) ist jetzt bekannt. Aufgrund der formulierten Prämisse, kann von der Anzahl des Wiederfangs aus Durchgang zwei ($u_2 + m_2$) auf die Größe der Population insgesamt geschlossen werden (Borchers et al., 2003: 107).

$$\hat{N} = \frac{(m_2 + u_2)}{\left(\frac{m_2}{M_2}\right)}$$

3.2.2 Indirekte Fang-Wiederfang-Verfahren

Tiere können in verschiedener Weise registriert und markiert werden: in direkter Weise, wie oben beschrieben, durch einen physischer Fangvorgang oder durch ein weniger eingreifendes direktes Verfahren, wie es etwa die Sichtbeobachtung darstellt. Welches der verschiedenen Verfahren gewählt wird, hängt von der Eigenart der Merkmale ab, die aufgenommen werden sollen. Ein tatsächliches Fangen des Tieres ist dann überflüssig, wenn eine natürliche, im besten Fall individuelle Eigenschaft des Tieres als Merkmal fungieren kann. Ein gutes Beispiel dafür sind die individuell gemusterten Fluken von Walen oder die ebenfalls individuell ausgeprägten Streifenmuster von Tigern (Karanth, 1995:334).

Parallel zu diesen traditionellen Vorgehensweisen haben sich auf Grund neuer technischer Innovationen auch Verfahren entwickelt, die die Registrierung individueller Eigenschaften auf anderem Wege ermöglichen. Infolgedessen gibt es inzwischen auch indirekte Fang-Wiederfang-Methoden oder besser „Registrier-Wiederregistrier-Verfahren“. So berichten verschiedene Autoren beispielsweise von Versuchen, einzelne Tierindividuen mittels DNA-Mikrosatelliten-Analyse von Haar- und/oder Kotproben zu identifizieren. Solche Untersuchungen nehmen offenbar in jüngster Zeit zu (Miller et al., 2005:1991). Sie ermöglichen die Feststellung der individuellen Merkmale der Nukleinsäuresequenzen an bestimmten DNA-Abschnitten. Dieser „genetische Fingerabdruck“ kann zur Registrierung von einzelnen Tieren verwandt werden. Damit ist es theoretisch möglich, in den Stichproben für eine Fang-Wiederfang-Untersuchung Anwesenheitszeichen zu nutzen, um das wiederholte Auftreten eines bestimmten Individuums zweifelsfrei zu erkennen. Solche Untersuchungen, die hier im Einzelnen nicht dargestellt werden können, werden unter der Bezeichnung „genetic-mark-recapture“ praktiziert (Pearse et al., 2001:2711).

3.3 Auf der Suche nach dem „Daumenabdruck“ – neue Techniken der Spuranalyse

Im letzten Abschnitt ist deutlich geworden, dass sich Bestandsschätzungen dann der tatsächlichen Populationsgröße im hohen Maße annähern, wenn individualisierte Subpopulationen gebildet werden können. Durch die Registrierung und Auswertung von biometrischen Daten besteht die Möglichkeit, Tierpopulationen durch bestimmte differenzierende Körpermerkmale zu kategorisieren (Köhler et al., 2002:17). Dieser Abschnitt enthält Untersuchungen, die das Problem der individuellen Erkennbarkeit durch die Aufnahme und Auswertung von biometrischen Daten lösen.

Eine entsprechende Arbeitstechnik wurde von den beiden kalifornischen Wissenschaftlern K. Shawn Smallwood und E. Lee Fitzhugh (1993) entwickelt. Für eine verbesserte Bestandserfassung von Puma-Populationen (*Felis concolor*) untersuchten sie, ob Trittsiegelmaße geeignet sind, um Puma-Individuen zu erkennen. Sie wollten sich dabei nicht auf Spurenleser verlassen, stattdessen suchten sie nach einer objektiven Methode der Spurerfassung.¹⁹ Denn in ihren Augen war „das Aussehen der Pumaspuen so ähnlich, dass auch trainierte Experten sie nicht klassifizieren können.“²⁰

3.3.1 Die Datenaufnahme – Kriterien und Aufnahmetechnik

Für eine biometrische Bearbeitung müssen umfangreiche Sets von Trittsiegeln aus jeweils derselben Spur vorliegen. Dabei sollen diese in der Deutlichkeit ihrer Ausprägung möglichst übereinstimmen. Deshalb müssen bei der Aufnahme solche Faktoren weitestgehend ausgeschlossen werden, die die klare Ausformung der Trittsiegel negativ beeinflussen, gleich ob sie von den Bewegungen der Tiere oder von Substrat und Gelände herrühren. Denn nur so kann gewährleistet werden, dass die für die Datenbanken gesammelten Trittsiegel vergleichbare Kriterien erfüllen.

So wirken sich die unterschiedlichen Gangarten sowie ein plötzliches Beschleunigen oder Abbremsen des Laufes (Smallwood und Fitzhugh, 1993:56) als unterschiedliche Ausformung der Trittsiegel aus. Deshalb werden nur Spuren aufgenommen, bei deren Entstehung sich das Tier in einem harmonischen Schritt bewegt. Im harmonischen Schritt steigen die Hinterfüße in die Trittsiegel der Vorderfüße. Diese werden dadurch für eine biometrische Analyse unbrauchbar. Deshalb werden von einer Tierspur nur die Trittsiegel der hinteren Füße aufgenommen. Bei Pumaspuen reicht die Aufnahme eines Hinterfußabdrucks, denn bei ihrer Spiegelung um 180 ° ist kein signifikanter Unterschied in der Ausformung zwischen den Trittsiegeln der linken und rechten Füße festgestellt worden (Grigione et al., 1999:28). Wenn ein vergleichbarer Befund für die untersuchte Tierart nicht vorliegt, werden immer Trittsiegel von beiden Hinterfüßen erfasst, um akkurate Datensätzen zu sichern.²¹

Auch Substrat und Gelände haben Einfluss auf das Erscheinungsbild der Trittsiegel. Deshalb müssen die Spuren von solchem Boden aufgenommen werden, in dem die Abgrenzungen der Trittsiegel deutlich sichtbar sind und über eine längere Dauer stabil bleiben.²² Außerdem sollen in einem Untersuchungsset möglichst nur solche Trittsiegel verwendet werden, die auf ähnlichem Substrat entstanden sind, Trittsiegel des gleichen Tieres von sehr unterschiedlichen Böden sind nicht für vergleichende Messungen verwendbar.

Aus ähnlichen Gründen sollen Spuren, die auf starkem Gefälle gefunden werden nach Möglichkeit bis in ebenes Gelände verfolgt und erst dort aufgenommen werden (Smallwood und Fitzhugh, 1993:56).²³

¹⁹ Dabei wurden sie durch eine Erfahrung aus Indien bestärkt: “These results correspond with the inability of wildlife managers in India, who each had ≥ 6 years of tiger census experience, to identify any of four tigers represented by 33 track tracings.”

²⁰ „Tracks from many mountain lions look so similar that even trained experts usually cannot discriminate them.“

²¹ Das ist gut möglich, weil eine Differenzierung zwischen den beiden Hinterfüßen auch wenig erfahrenen Spurenlesern gelingt.

²² Bevorzugt werden Abdrücke aus Untergründen mit kleiner Korngrößenfraktion, wie tonige und schluffige Böden; Schnee, der eigentlich als perfekter Untergrund erscheint, ist dagegen nicht unproblematisch (vgl. Grigione et al., 1999:30).

In welcher Form werden Trittsiegel, die diese Anforderungen erfüllen festgehalten? Bei den ausgewerteten Untersuchungen wurden zwei verschiedene Aufnahmeverfahren angewendet. In der als klassisch anzusehenden Methode werden mit Klarsichtfolie bespannte Glasrahmen über ein Trittsiegel gelegt, ohne dabei die Form des Abdruckes zu zerstören. Anschließend werden die Außenlinien des Trittsiegels mit einem wasserfesten Stift auf der Klarsichtfolie nachgezeichnet. Der Blickwinkel des Zeichners muss dabei lotrecht zum Glasrahmen sein (Panwar, 1979 nach Smallwood und Fitzhuge, 1993:52).

Spätere Untersuchungen verwenden analoge oder digitale Fotografien von den einzelnen Trittsiegeln. Dabei wird der gleich bleibende Maßstab, der wie beim zeichnerischen Erfassen auch beim Fotografieren erhalten bleiben muss, durch ein Maßband, das neben das Trittsiegel gelegt wird, erreicht und die Kamera für die Aufnahme in eine vertikale und in der Höhe festgelegte Position gebracht. Im Interesse vergleichbarer Bildeigenschaften wird für gleichmäßige Lichtverhältnisse gesorgt: Die Aufnahmen werden immer zur gleichen Tageszeit gemacht, das natürliche Licht wird abgeschirmt (Jewell et al., 2001:3) und stattdessen wird Blitzlicht verwendet, das in einem konstant flachen Winkel zum Trittsiegel positioniert wird (Riordan, 1998:254). Digitalisierte Bilder können außerdem noch nachträglich in Kontrast, Brillianz und Farbe im Computer bearbeitet werden, so dass ihre Deutlichkeit zunimmt.²⁴

Im Resultat ist durch diese Aufnahmetechniken ein räumlicher, also dreidimensionaler Tatbestand, wie ihn das Trittsiegel darstellt, in eine zweidimensionale Projektion verwandelt, in ein Abbild also, auf dem relativ einfach Messungen vorgenommen werden können.

3.3.2 Zur biometrischen Vermessung von Trittsiegeln

Um die Trittsiegel aus den verschiedenen, jeweils von einer kriteriengerechten Tierspur stammenden Sets vergleichen zu können, werden auf dem zweidimensionalen Abbild Maße gesucht, die sich signifikant unterscheiden. Dazu werden von jedem digitalisierten Trittsiegel bis zu 93 verschiedene Maße erhoben (Sharma, 2005:11).²⁵ Die Auswahl von Messvariablen, denen potentiell Aussagekraft zugesprochen wird, erfolgt auf Grundlage folgender Hypothese: Es wird angenommen, dass die Trittsiegel aus den verschiedenen Sets hinsichtlich bestimmter Abmessungen signifikant differieren, beispielsweise, dass der Abstand zwischen der ersten und letzten Zehe bei jedem Tier eine andere Länge hat. Anschließend werden solche hypothetisch generierten Variablen an jedem einzelnen Trittsiegel eines Sets vermessen, so dass sie schließlich in monovariabler Verteilung vorliegen. Es wird davon ausgegangen, dass die biometrischen Daten aus einer Spur normal verteilt sind (Köhler et al. 2002:44; Smallwood und Fitzhuge, 1993:52). Dementsprechend kann für jeden Messwert jeder einzelnen Tierspur ein Mittelwert gebildet werden.

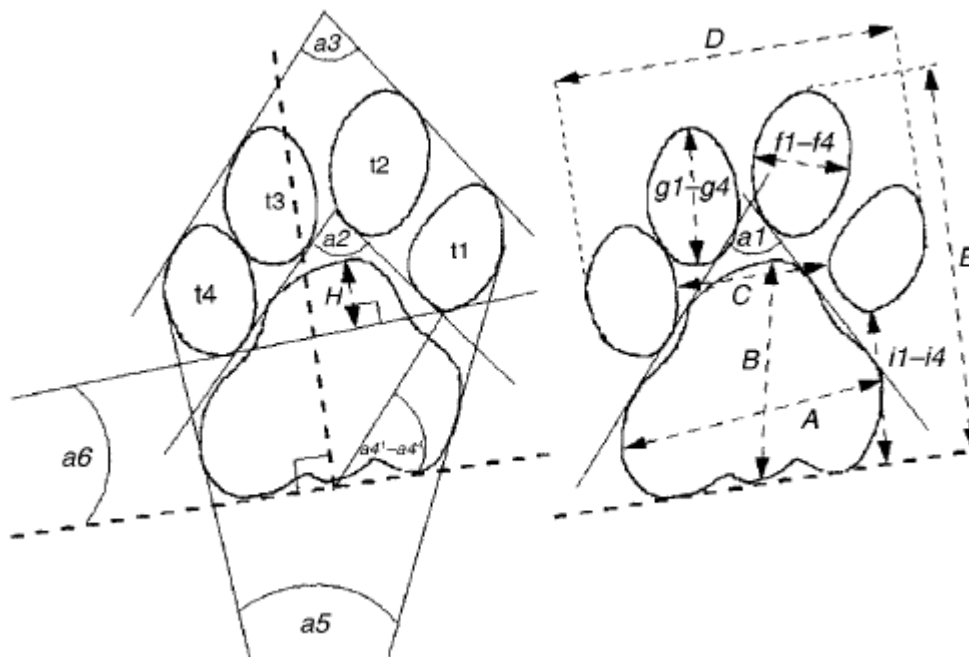
Wie gerade angesprochen, wird davon ausgegangen, dass zwischen den Trittsiegelsets deutliche Unterschiede bei den verschiedenen Messvariablen bestehen. Das bedeutet, dass

²³ Bei Gefälle werden die Trittsiegel gestaucht und wichtig Abmessungen erscheinen deshalb verändert, was ihre Brauchbarkeit stark einschränkt (vgl. Smallwood und Fitzhuge, 1993:56; Riordan, 1998:260).

²⁴ Dies geschieht mit einer gängigen Fotobearbeitungssoftware, wie Adobe Photoshop oder Aldus Freehand (Grigione et al., 1999: 27).

²⁵ Dieser Vorgang wird bei diesen beiden Autoren mit Hilfe der GIS- Software ArcInfo durchgeführt.

jedes Trittsiegelset durch eine spezifische, im Endeffekt individuelle Kombination dieser Messwerte klassifiziert werden kann. Nicht jede der 93 generierten Messvariablen ist dabei gleichermaßen für eine Klassifikation von Bedeutung. Als charakteristisch werden nur solche Messvariablen bezeichnet, die innerhalb des einzelnen Trittsiegelsets eine kleine Variationsspanne, aber außerhalb, d.h. zwischen den verschiedenen Trittsiegelsets eine große Variationsspanne aufweisen (vgl. Abb. nach Riordan, 1998:255).



Um später eine möglichst zuverlässige Klassenbildung - ein Tier bildet dabei eine Klasse - zu gewährleisten, ist es nötig die Streuung eines jeden Messwertes innerhalb eines Trittsiegelsets zu minimieren. Auf die mehr oder minder starke Streuung einer Messvariablen aus demselben Trittsiegelsets nehmen verschiedene Faktoren Einfluss. Das können Fehler bei den Messungen sein, aber auch andere Unzulänglichkeiten bei der Datenaufnahme, sei es im Feld - Bodenverhältnisse, Geländeneigung und Gangart des Tieres - oder im Labor. Daraus ergeben sich Variationen der Trittsiegel, durch die dann die Messvariablen ein und derselben Spur zusätzlich streuen.²⁶

Weil ideale Bedingungen für die Spurenaufnahme im Feldversuch schwer zu realisieren sind, aber akkurate Trittsiegel eine große Bedeutung für die Auswahl der aussagekräftigsten Messvariablen haben, wurden bei der Entwicklung des Verfahrens Trittsiegel von gefangenen Tieren unter idealen Versuchsbedingungen generiert (Riordan, 1998:254).

So war es möglich, den Einfluss zufälliger Effekte unter konstanten Versuchsbedingungen im Labor zu minimieren.²⁷ Der Prozentsatz der auf Basis der Trittsiegelvermessungen korrekt

²⁶ Wie die zufälligen Effekte dieser Faktoren bei der Datenaufnahme minimiert werden, ist unter 3.3.1 erklärt, andere die Trittsiegel betreffende Einflussfaktoren, etwa wechselnde Wetterbedingungen, sind in der Einleitung (1.1) erläutert. Sie sind für das Problem der Streuung ebenfalls zu berücksichtigen.

klassifizierten Individuen blieb auch bei variierender Bodentiefen fast gleichmäßig hoch, 93% im ungünstigsten und bis zu 97,4% im günstigsten Fall (Lewison et al., 2001:314).

3.3.3 Analyse und Klassifizierung der Trittsiegelmaße

An dieser Stelle sind alle Vorbereitungen für den Versuch, die erhobenen Messergebnisse zu klassifizieren, getroffen: ausreichend umfangreiche Trittsiegelsets sind erhoben und auf ihnen zahlreiche Messvariablen erstellt. Um die aussagekräftigsten Variablen herauszufiltern, benutzen die zitierten Autoren verschiedene Varianten der Diskriminanzanalyse.

Die Diskriminanzanalyse gehört zu den Struktur prüfenden Verfahren der multivariaten Analysemethoden in der Statistik. Ihr Ziel liegt in der Überprüfung von Zusammenhängen zwischen Variablen. In diesem Fall ermöglicht sie es, mehrere Trittsiegelsets hinsichtlich ihrer unterschiedlichen Messvariablen zu vergleichen. Durch die Diskriminanzanalyse sollen also signifikante Unterschiede zwischen den Trittsiegelsets verschiedener Tiere gefunden werden. So kann bestimmt werden, welche der vielen Messvariablen nicht für die Klassifizierung geeignet sind bzw. mit welchen Messvariablen sie am erfolgreichsten sein wird (Nothnagel, 1999). Dies sind, um es noch einmal zu verdeutlichen, diejenigen Messwerte, die eine geringe Streuung im Trittsiegelset aufweisen und deren Mittelwerte zwischen den Sets eine große Streuung zeigen. Mit diesen Messvariablen, die als die aussagekräftigsten aus der Diskriminanzanalyse hervorgehen, kann dann im Feldversuch gearbeitet werden. An den dort aufgenommenen Trittsiegelsets werden nur noch diese „Aussage-Variablen“ gemessen.

Weil bei Diskriminanzanalysen die Bedingung besteht, dass die Anzahl möglicher Klassen im Vorhinein feststeht, ist dieses Gruppierungsverfahren im Feldversuch nicht anwendbar. Denn dort liegen keine Informationen über die Anzahl der Individuen vor und damit besteht das Problem, dass „überwachte Klassifikationsmethoden wie die Diskriminanzanalyse oder nicht-hierarchische Clusteranalysen von wenig Nutzen sind, weil Angaben über die Anzahl der möglichen Klassen, z.B. individuelle Identitäten schon vorher nötig sind“ (Riordan, 1998: 253).²⁸ Zur Anwendung kommen aber hierarchische Clusteranalysen mit agglomerativen Algorithmen.

Unter dem Begriff der Clusteranalyse werden verschiedene Verfahren zur Gruppenbildung zusammengefasst. Bei allen Problemstellungen, die mit ihrer Hilfe gelöst werden, geht es darum, aus einer heterogenen Gesamtheit von Elementen homogene Teilmengen zu identifizieren (Backhaus, 2006:490). Die Fragestellung lautet: In welche Gruppe ist ein „neues“ Element, dessen Gruppenzugehörigkeit nicht bekannt ist, aufgrund seiner Merkmalsausprägung einzuordnen?

Bei der Analyse der Felddaten kommt zwei Arbeitsschritten besondere Bedeutung zu: Zum einen muss auch bei der Clusteranalyse wieder ein Maß für die Ähnlichkeit bzw. die Distanz der Daten gefunden werden. Zum anderen muss ein Fusionierungsalgorithmus gefunden werden, der die Daten bestmöglich gruppiert und nur Gruppen zusammenfügt, die ein

²⁷ Labortests mit Trittsiegeln in unterschiedlich tiefem Boden mit 13 verschiedenen Berglöwen (*Felis concolor*) haben ergeben, „that (...) soil depth effects are significant for some individual track measurement variables, their overall effect on the combination of track measurements appear to be negligible.“ (Lewison, et al., 2001:317)

²⁸ „supervised classification methods such as DFA or non-hierarchical cluster analysis are of little use, since class assignments (i.e. individual identities) are required before analysis.“

bestimmtes Distanzmaß zwischen den – wie oben beschrieben – herausgefilterten „Aussage-Variablen“ unterschreiten. Riordan erzielte mit dem Algorithmus des Klassifizierungssystem „Auto Class“ gute Ergebnisse: 94% der Trittsiegelmaße konnten im kontrollierten, die Feldbedingungen simulierenden Versuch den entsprechenden Individuen zugeordnet werden (Riordan, 1998:258).

4 Diskussion

Unter welchen Bedingungen können Bestandsschätzungen, die ihre Informationen aus Tierspuren gewinnen, präzise Ergebnisse liefern? Wie kann die Arbeit mit Tierspuren verbessert werden, sowohl bei ihrer Aufnahme im Feld als auch in der statistischen Bearbeitung der Befunde aus dem Feldversuch? In diesem Teil der Arbeit soll nun abschließend diskutiert werden, welche Perspektiven und Einschränkungen sich dazu aus den benutzten Materialien ableiten lassen. Dazu sollen die Ergebnisse aus Kapitel drei einzeln beurteilt werden, dabei werden die in der Einleitung zusammengestellten Fragen zu Hilfe genommen.

4.1 Diskussion des Winter-Track-Count

Wildbiologische Untersuchungen sind in Abhängigkeit von ihrer Fragestellung auf mehr oder weniger präzise Schätzungen der Populationsgröße angewiesen. Deshalb ist auch in vielen Fällen ein grober Index dieser Größe vollkommen ausreichend (Stephens et al., 2006:339). Diese Anforderung würde das vorgestellte klassische Verfahren des Winter-Track-Count (3.1) ohne weiteres befriedigen. Denn die Befunde werden unter idealen Substratbedingungen erhoben. Die Erfassung der Spuren wird nicht in der Fläche, sondern auf Transektstrecken durchgeführt²⁹, auf Linien, die durch das Untersuchungsgebiet gelegt werden und zwar so, dass sie abgefahren oder abgelaufen werden können. Anders als häufig gefordert, werden die Transekte, bei den für diese Arbeit herangezogenen Untersuchungen nicht nach dem Zufallsprinzip generiert, was aber notwendig wäre, um eine Studie methodisch einwandfrei zu gestalten (Anderson, 2001:1294). Dieser Anspruch wird offenbar nur selten beachtet. Das ist auch bei Jedrzejewska und Jedrzejewski (1998) der Fall. Wohl aus Gründen der Durchführbarkeit, verwenden sie Straßen oder Wege, die das Untersuchungsgebiet durchziehen, als Transekte.³⁰

Gezählt werden dann die Spuren, die die Transekte kreuzen. Dabei entsteht das Problem der Altersbestimmung von Spuren nicht, weil alte Spuren durch Markierung ausgeschlossen werden. Offen bleibt, ob tatsächlich immer alle frischen Spuren entdeckt werden, denn nur dann würde die Prämisse einer 100%igen Entdeckungswahrscheinlichkeit zutreffen. Das Problem der Doppelzählung von Spuren wird durch Abfährung von dicht zusammen

²⁹ Im Zusammenhang dieser Arbeit scheint eine ausführliche Darstellung der Arbeit mit Transekten nicht unbedingt notwendig. Vgl dazu: Mader, 2001:17ff.

³⁰ Die bei anderen Transektbeobachtungen auch mögliche Zählung aus der Luft, scheidet bei Spuruntersuchungen aus, weil diese aus größerem Abstand nicht in ausreichender Deutlichkeit wahrgenommen werden können.

liegenden Spuren eingegrenzt, allerdings ist damit die mehrfache Zählung von Spuren eines Individuums nicht vollständig ausgeschlossen. Das fällt bei Tieren, die, wie die untersuchten Luchse, große Territorien besetzen, vermutlich kaum ins Gewicht.³¹ Für Tiere, die in größerer Anzahl auf kleinem Raum leben, müssten hier andere methodische Vorkehrungen getroffen werden. Bezogen auf die praktische Erhebung der Spuren im klassischen Winter-Track-Count scheint den herausgestellten kritischen Punkten allerdings keine allzu große Bedeutung für die Qualität der ermittelten Befunde zuzukommen.

Zu einem anderen Urteil kann man hinsichtlich des Modells kommen, nach dem die rechnerische Auswertung der erhobenen Befunde stattfindet. Auf den ersten Blick erscheint die Art, wie Jędrzejewska und Jędrzejewski (1998) nach dem Vorbild Priklonskis die Bestandesgröße ermitteln, einfach, einleuchtend und elegant. Bei genauerem Hinsehen fallen jedoch einige Schwachpunkte ins Auge.

Insbesondere ist die Benutzung eines festen Wertes für die durchschnittlich zurückgelegte Tagesstrecke³² in der Hochrechnung der praktischen Befunde kritisch zu betrachten, denn sie ist offensichtlich nur ein stark stilisiertes Abbild der Natur, ein Wert, der von allzu vielen konkreten Gegebenheiten abstrahiert. So sind etwa die Aktivitätsradien des eurasischen Luchs (*lynx lynx*), dem die Untersuchung von Jędrzejewska und Jędrzejewski galt, in Abhängigkeit von den Jahreszeiten signifikant unterschiedlich (Danell et al., 2006:546). Besonders Luchsweibchen durchstreifen im Sommerhalbjahr einen weiteren Aktionsraum als im Winterhalbjahr und weisen dementsprechend in den jeweiligen Jahreszeiten auch unterschiedliche Tagesstrecken auf.³³ Die vermeintliche Konstante ist also in der Realität eine „Variable“, die von verschiedenen Parametern beeinflusst wird. Daraus folgt, dass eine veränderte Häufigkeit von Spuren pro Transekt-km nicht notwendig ein Indikator für eine Veränderung der Population ist. Sie könnte auch auf eine veränderte Länge der Tagesstrecken der Tiere zurückzuführen sein. Nähme beispielsweise die täglich Wegstrecke auch nur einzelner Tiere zwischen zwei aufeinander folgenden Untersuchungen zu, würden bei der zweiten Untersuchung plötzlich mehr Spuren von den Feldforschern gezählt und in der Konsequenz fälschlicherweise mehr Tiere für das Untersuchungsgebiet geschätzt werden. Diese Gefahr besteht nachgewiesenermaßen auch bei Spuruntersuchungen, die sich - wie die beschriebenen - auf das Winterhalbjahr beschränken. Denn auch dabei hängen die jeweiligen Tagesstrecken von veränderlichen Parametern, wie Schneehöhe, Tagestemperatur, Habitatstyp oder Nahrungsangebot im Verhältnis zur Populationsgröße ab. Wegen der hohen Komplexität der Wechselwirkungen zwischen dem Tier und seiner Umwelt ist der strukturelle Zusammenhang solcher Parameter nicht befriedigend zu klären (Büttner, 1983: 90ff). Dementsprechend können diese auch nicht in angemessener Weise mathematisiert werden.

Leider erläutern Jędrzejewska und Jędrzejewski in ihrem Bericht nicht, ob Priklonskis Modell zur Umrechnung der gezählten Spuren in Spurlängen durch Multiplikation mit dem konstanten Faktor 1,57 auf empirischer Grundlage entstanden ist oder ob es sich lediglich um eine mathematische Annäherung handelt. Diese Frage konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht verfolgt werden, deshalb kann dieser Punkt hier nicht bewertet werden. Hier mag sich ein zusätzlicher Mangel verbergen.

³¹ Die durchschnittliche Reviergröße der Luchskuder wird bei Jędrzejewska und Jędrzejewski, (1996:129) mit durchschnittlich 194 km², das der Weibchen mit ca. 100 km² angegeben.

³² In der UdSSR wurden für viele verschiedene Tierarten solche durchschnittlichen Tagesstrecken mit besenderten Tieren ermittelt, so dass die Feldforscher bei der Anwendung der Priklonskimethode auf vorhandene „Bibliotheken“ zurückgreifen konnten (Stephens, 2006:340, 348).

³³ Tagesstrecken von Wölfen variieren beispielsweise zwischen 0.8 und 40 km (Tytar et al., 2002:23).

Insgesamt sind die Bestandsberechnungen nach der Prikloński-Methode mittlerweile umstritten. Stephens et al. benennen als wesentliche Ursache die „Unsicherheiten (...) der Kontinuität von Tierbewegungen unter verschiedenen Bedingungen“ (Stephens et al., 2006:346), die in den Modellen unzureichend abgebildet sind. Dieser Umstand kann zu Bestandsschätzungen mit erheblichen Verzerrungen führen, für die bei der Berechnung mit Hilfe der Methode von Prikloński vor allem die variierenden Tagesstrecken der Tiere verantwortlich sind.

Es ist aber auch noch ein anderer Kritikpunkt anzumerken: Bestandsschätzungen, die statt mit dem Zählmerkmal Tier mit dem Zählmerkmal Anwesenheitszeichen - z.B. Spur, aber auch mit anderen - arbeiten, beruhen im Allgemeinen auf der Voraussetzung, dass ein immer gleich bleibender Bruchteil der Zeichen entdeckt wird, den die untersuchte Population insgesamt produziert. Aus einer verdoppelten Zahl der entdeckten Zeichen wird direkt auf eine Verdopplung der Population geschlossen. Diese konstante Proportionalität ist aber, wie schon einleitend (1.1) begründet, bei Spurenzählungen nicht gegeben. Daher bildet die Ausgangsvoraussetzung der vorgestellten Tierspuruntersuchungen im Schnee, zwischen der Anzahl von Spuren und der Anzahl vorhandener Tiere bestehe ein konstantes Verhältnis, ein Defizit.

Abschließend kann daher der von Hayward et al. am klassischen Winter-Track-Count formulierten Kritik zugestimmt werden, dass für solche Untersuchungen bisher keine Möglichkeit entwickelt wurde, die ihnen „innewohnenden logischen und theoretischen Mängel zu beheben und für sie eine logisch umsetzbare und statistisch strenge Alternative zu entwickeln“ (Hayward et al., 2002:1150).³⁴ Die Aussagekraft solcher Untersuchungen könnte nur „von außen“ erhöht werden, wenn noch weitere von einander unabhängige gewonnene Ergebnisse hinzugezogen würden. In Frage kämen beispielsweise die zu den direkten Verfahren zählenden Vorgehensweisen Zähltreiben und Streckenrückrechnungen.

4.2 Diskussion des Fang-Wiederfang-Verfahrens

Nach der Kritik am Winter-Track-Count stellte sich die Frage, ob es andere, von der methodischen Anlage und der Auswertung her überzeugendere Möglichkeiten für indirekte Verfahren der Bestandsschätzung gibt. Dafür wurde ein Umweg über ein direktes Verfahren zur Schätzung von Tierpopulationen eingeschlagen, das Fang-Wiederfang-Verfahren.

Gegen dieses Vorgehen können zunächst praktische Einwendungen gemacht werden, denn speziell bei Großsäugern ist das Fangen in Lebendfallen mit viel Aufwand sowie mit großem Stress für die Tiere verbunden. Es hat ökonomische Nachteile und ist auch im Hinblick auf eine artgerechten Behandlung der Tiere nicht überzeugend.

Die Kritik betrifft aber auch die Prämisse, dass sowohl beim Fang als auch beim Wiederfang für alle Tiere der Zielpopulation die gleiche Fangwahrscheinlichkeit bestehe. Diese Annahme einer homogenen Fangwahrscheinlichkeit kann nicht aufrecht gehalten werden (Borchers et al., 2003:114). Denn die Fangwahrscheinlichkeit variiert unter anderem in Abhängigkeit vom

³⁴ Aktuelle Studien auf der Basis von Winter-Track-Count, z.B. Golden et al., 2007, bieten schon auf den ersten Blick moderner und effizienter wirkende Lösungen, die aber für diese Arbeit nicht berücksichtigt werden konnten.

Alter, vom Geschlecht und von der Vorerfahrung³⁵ der Tiere (Ebert et al., 2006:63). Im Ergebnis führt diese Heterogenität der Fangwahrscheinlichkeit zu einer negativen Verzerrung, also zu einer Unterschätzung der Bestandsgröße (Borchers et al., 2003:108). Um dem vorzubeugen, wird bei vielen neueren Untersuchungen bereits im Vorfeld dieser Abweichung durch ein geschicktes Untersuchungsdesign und durch entsprechende Anpassung des Lincoln-Peterson-Estimators begegnet (Schwarz et al., 1999:1014), da es so gut wie unmöglich ist, Heterogenität erst im Nachhinein zuverlässig zu modellieren (Link, 2003:1129).³⁶ Die mathematische Grundlage, der Lincoln-Peterson-Estimators, kann unter den in dieser Arbeit angenommenen idealen Versuchsbedingungen allerdings als valide angesehen werden.

In Anlehnung an das direkte Fang-Wiederfang-Verfahren haben sich mittlerweile auch nicht-invasive Fang-Wiederfang-Methoden entwickelt. Sie arbeiten mit Anwesenheitszeichen, wie Haaren oder Kot, die sie im Untersuchungsgebiet vorfinden und mit Hilfe von DNA-Mikrosatellitenanalyse individuellen Tieren zuordnen. Weil dabei der reale Fangvorgang entfällt, ist – anders als beim direkten Verfahren kritisch angemerkt - eine deutlich geringere Heterogenität in den Stichproben zu erwarten (Ebert, 2006: 64); dementsprechend ergibt sich die Chance für eine zuverlässigere statistische Auswertung.

Der Grund, warum das Fang-Wiederfang-Verfahren im Rahmen dieser Arbeit erwähnt wurde, ist aber ein anderer. Die Auseinandersetzung mit ihm machte deutlich, wie nützlich die individuelle Erkennung von Tieren für die zuverlässige Berechnung von Populationsgrößen ist. Da er bereits mit anderen Anwesenheitszeichen erfolgreich praktiziert wird, galt es Arbeiten zu finden, die versuchen Tierspuren zu individualisieren.

4.3 Diskussion der multivarianten Analyse von Trittsiegeln

Mit den Untersuchungen in Abschnitt 3.3 wurde eine Möglichkeit zur Identifizierung von Tierindividuen beschrieben. Sie basiert auf einer Analyse von Trittsiegelmaßen, bei der sich laut der Untersuchungsberichte herausgestellt hat, dass sich die Hinterfüße von bestimmten einzelnen Tieren einer Art signifikant unterscheiden und dass sich ihre Individualität durch eine relativ geringe Zahl von Messlinien auf den Trittsiegelbildern feststellen lässt. Mit Ausnahme von Riordan (1998:260) äußern sich die Forscher, die diese Untersuchungen durchgeführt haben, nicht explizit dazu, wie ihre Arbeitsergebnisse in wildbiologischen Feldversuchen eingesetzt werden könnten. Er hält es für möglich, dass die Ergebnisse seiner Trittsiegelstudien in Kombination mit anderen Erfassungsverfahren für ein verbessertes Monitoring von wildlebenden Tieren und Tierbeständen von Nutzen sein kann. Jedenfalls

scheint das Messverfahren den Vorteil zu haben, dass es im Feldversuch mit geringem technischem Aufwand, schnell und mit wenigen Personen durchgeführt werden kann.³⁷

³⁵ In die Vorerfahrung fließen insbesondere frühere Fangerlebnisse der Tiere ein, aber auch ihre individuellen Persönlichkeitsmerkmale, so dass man sie nach „trap happy“ und „trap shy“ unterscheiden kann.

³⁶ Die hier vorgestellte Form des Lincoln-Petersen-Estimators hat daher im Laufe der Jahre eine große Zahl an Veränderungen und Korrekturen erfahren. Letztlich muss die Form des Schätzers auf die speziellen Bedingungen jeder Untersuchung angepasst werden.

³⁷ Jewell (2001:13) hat errechnet, dass die Kosten, die durch Trittsiegelvermessung im Feldversuch entstehen, lediglich den 20. Teil einer einjährigen radiotelemetrischen Untersuchung ausmachen.

Allerdings ist bisher eine Verallgemeinerbarkeit dieser Methode der Individualisierung von Tieren durch Vermessung ihrer Spuren nicht gegeben. Betrachtet man beispielsweise die Tierarten, die in den zitierten Arbeiten untersucht wurden, liegt auf der Hand, dass das oben entworfene Vorgehen, sich bisher nur für Bestandsschätzungen von bestimmten Tierarten eignen würde. Aus deren Gemeinsamkeiten und Verschiedenheiten lässt sich erschließen, bei welchen Arten mit einer erfolgreichen Individualisierung von Trittsiegeln gerechnet werden kann.

Die untersuchten Spuren stammen alle, bis auf eine Ausnahme, von großen Raubkatzen. Neben dem Puma (*Felis concolor*) sind Tiger (*Panthera tigris*), Schneeleoparden (*Panthera unica*) und afrikanische Leoparden (*Panthera pardus*) Gegenstand der besprochenen Untersuchungen. Nur eine Arbeit befasst sich mit einem Tier, das nicht der Familie der Felidae angehört, mit dem unpaarhufigen Spitzmaul-Nashorn (*Diceros bicornis*). Bei jeder dieser Arten konnte ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Spurmaßen und Individuum festgestellt werden. Auffällig ist, dass alle diese Tiere große Trittsiegel produzieren. Diejenigen eines Spitzmaul-Nashorns haben in etwa eine Länge von 25 cm. Beim Puma beträgt die Trittsiegellänge des Hinterfußes ca. 7 cm. Während bei großen Trittsiegeln ein Individuum mit hoher Wahrscheinlichkeit festzumachen ist, nimmt bei Arten mit kleineren Trittsiegelmaßen die Bedeutung von zufälligen Fehlern für die Streuung (vgl. 3.3) vermutlich so weit zu, dass individuelle Maße letztendlich „überdeckt“ werden.

Ein anderes Problem stellt die Auswertung mit Hilfe der Clusteranalyse dar. Hier gilt nämlich, dass mit der Zunahme der Anzahl von auszuwertenden Spurensätzen die Cluster immer näher aneinander rücken, weil der Variationsraum der Messwerte begrenzt ist. Es können also mit dieser Methode anscheinend nicht beliebig viele Individuen gleichzeitig beobachtet werden. In den besprochenen Untersuchungen lag die Zahl der identifizierten Tiere zwischen neun (Smallwood und Fitzhugh, 1993:51) und 19 Individuen (Shama, 2005:267).

Schließlich müssen für eine Klassifizierung von *einem* Tier möglichst viele Trittsiegel aufgenommen werden. Sets, in denen Trittsiegel von *verschiedenen* Individuen auftauchen, sind wertlos. Diese Anforderung kann bei Tierarten, die in sozialen Verbänden leben und bei denen sich Spuren notwendig überlagern, die Durchführbarkeit von Studien nach dem beschriebenen Muster behindern. Besonders hier steht und fällt der Erfolg des Ansatzes mit einer weit entwickelten Fähigkeit, Spuren zu verfolgen und zu differenzieren. An einer Untersuchung mit solchen Zielspezies müssten also Fährtenleser teilnehmen. Gegen den Einsatz von Fährtenlesern bei Bestandsschätzungen, bei denen eine hohe Annäherung an die realen Bestandszahlen erwünscht ist, besteht allerdings bisher der Einwand, dass die Wahrscheinlichkeit, mit der ihre Beobachtungen zutreffen, nicht kalkuliert werden kann.

Trotz dieser Einschränkungen und obwohl die Zuverlässigkeit der Methode insgesamt in dieser Arbeit nicht abschließend beurteilt werden kann, erscheint sie für deren Fragestellung vielversprechend und anregend.³⁸ Denn mit ihr hätte man – zumindest für bestimmte Tierarten - ein Werkzeug, mit dem die Spuren, die in mehreren unabhängigen Registrierungsvorgängen erfasst werden, nach bekannt und unbekannt getrennt werden könnten. Damit wäre die Ermittlung der Größe von Tierpopulationen mit einem entsprechend angepassten Lincoln-Petersen-Estimator tendenziell realisierbar. Zumindest theoretisch ist ein solches Verfahren aufgrund der bisherigen Argumentation denkbar.

³⁸ Eine aktuelle Untersuchung äußert sich eher positiv zu ihrer Zuverlässigkeit (Herzog et al., 2007:955).

5 Schlussfolgerungen

Jede Untersuchung zur Größe von Tierbeständen muss methodisch auf eine Reihe von Bedingungen reagieren, vor allem auf die jeweilige Lebensweise und den Lebensraum der Zielspezies. Deshalb kann es keine universell anwendbare Methode für die Schätzung von Tierpopulationen geben. Trotzdem sollen aus dem dargestellten Material und seiner Diskussion einige allgemeine Schlussfolgerungen gezogen werden.

1. Die Abbildung der Bestandsgröße kann sich der Wirklichkeit nur so weit annähern, wie es das jeweils verwendete Modell zulässt. Wenn die zentrale Voraussetzung, wie im Falle von Prikloński die durchschnittliche Tagesstrecke der Tiere, nicht mit der Realität übereinstimmt, sind verzerrte Ergebnisse vorprogrammiert. Im Interesse einer validen Schätzung müssen also die Voraussetzungen, die in Berechnungsmodelle für Bestandserhebungen eingehen, einer strengen Kontrolle unterworfen werden. Dies gilt auch für bewährte Modelle, da das Wissen über Leben und Bewegungen von Tieren ständig wächst.

Gegenüber solchen relativ einfachen rechnerischen Modellen sind Schätzverfahren mit wahrscheinlichkeitstheoretischer Grundlage zeitgemäßer, weil sie sich an komplexe und sich verändernde Untersuchungsbedingungen anpassen lassen.

2. Aus dem Material und der Diskussion ergeben sich Argumente, die für den Einsatz indirekter Methoden zur Bestandsschätzung sprechen. Sie sind in der Regel kostengünstig und meist einfach zu realisieren. Besonders eignen sie sich für Tierarten, die sich der direkten Beobachtung entziehen, wie es bei nachtaktiven, scheuen und seltenen Tierarten der Fall ist. Ein Diskussionsergebnis war, dass bei der direkten Fang-Wiederfang-Methode die Prämisse der gleichbleibenden Fangwahrscheinlichkeit nicht als gültig aufrechterhalten werden kann. Dagegen bot die Arbeit mit indirekten Methoden die Chance, dass die untersuchten Anwesenheitszeichen mit gleichbleibender Wahrscheinlichkeit, also mit verminderter Heterogenität, in die Stichprobe eingehen.

Es gibt aber auch noch ein weitergehendes Argument für den Einsatz indirekter Methoden, das über ihre gerade genannten Vorteile hinausreicht: „Ganz gleich, welche Monitoring-Verfahren verwendet werden, ist es unsere wissenschaftliche und ethische Verantwortung sicherzustellen, dass die Eingriffe in das Leben der untersuchten Tierart gering gehalten werden (Jewell et al., 2001:14).³⁹

3. Eine Idee bei Beginn der Arbeit war es, die Stärken verschiedener Ansätze zu kombinieren. Folgt man diesem Vorhaben, lässt sich zusammenfassend ein interessantes Verfahren zur Bestandsschätzung beschreiben. Es müssten entlang von Transektstrecken, die nach dem Zufallsprinzip generiert wurden, alte Spuren markiert - wie beim Winter-Track-Count - und aus der Untersuchung ausgeschlossen werden. Die frischen Spuren sollten individuellen Tieren zugeordnet werden. Auf dieser Basis wäre dann ein indirektes Fang-

³⁹ „Whatever monitoring techniques are used, it is our scientific and ethical responsibility to ensure that intrusion into the lives of the animals we study is minimized.”

Wiederfang-Verfahren zur Bestandsschätzung – ähnlich wie durch die DNA-Mikrosatelliten-Analyse – vorstellbar.

Eine solche Untersuchung kann gegenwärtig selbstverständlich noch nicht funktionieren, weil mit den bisher entwickelten Verfahren innerhalb einer Untersuchung maximal 19 individuelle Tiere erkannt werden konnten. Deshalb sollte geprüft werden, ob durch angepasste Klassifizierungs-Algorithmen eine Individualisierung von größeren Tierpopulationen möglich werden kann.

Für eine breitere Anwendung des Verfahrens fehlt auch noch der Nachweis, dass die Trittsiegel anderer Tierarten individuell sind. Entsprechende Untersuchungen sollten für weitere Tierarten, z.B. für andere große landlebende Säugetiere, die nicht aus der Familie der Felidae stammen, fortgesetzt werden.

4 Es war ein besonderes Anliegen dieser Arbeit festzustellen, wie Fährtenleser für Bestandsschätzungen hilfreich sein können. Deshalb wurde immer wieder darauf hingewiesen, wo sie Schwächen der Spurerfassung, wie sie bei den besprochenen Erfassungsmethoden bestehen, ausgleichen könnten. Aus der Zusammenführung von wissenschaftlichen Verfahren mit der „Kunst des Fährtenlesens“ könnte sich eine Perspektive zur Optimierung von Bestandsschätzungen entwickeln. An den ausgewerteten Untersuchungen waren im wesentlichen Wissenschaftler beteiligt, die im Spurenlesen wenig Erfahrung hatten oder die, wie etwa Smallwood und Fitzhugh, einer Zusammenarbeit mit Trackern skeptisch gegenüber standen.

Wie könnte diese Skepsis ausgeräumt werden? Eine Möglichkeit besteht in der Durchführung von Tests zur „tracker evaluation“, wie sie teilweise schon gemacht werden. Daraus könnten einheitliche und abgestufte Anforderungsprofile entstehen, in denen festgelegt ist, welchen Prozentsatz an Spuren eines definierten Schwierigkeitsgrades ein Fährtenleser erfolgreich entdecken bzw. verfolgen können muss, um eine zertifizierte Einstufung zu erhalten. Letztendlich wäre dies ein Weg zur Professionalisierung von Spurenlesern und eine Anpassung ihrer Arbeit an die wissenschaftlichen Bedürfnisse der Gegenwart. Die theoretischen Unsicherheiten, mit denen die Aussagen der Tracker bisher behaftet sind, würden dann in einem bestimmten Maße quantifizierbar. Der Gebrauch des Konjunktivs zeigt schon an, dass bis dahin noch viele Untersuchungen nötig sind. Trotzdem scheint im Einsatz von ausgewiesenen Fährtenlesern - neben der in der Diskussion mehrfach angesprochenen Möglichkeit zur Verbesserung bestehender Analysemethoden - ein wesentliches Entwicklungspotential für verbesserte Bestandsschätzungen, die mit Spuren arbeiten, zu liegen. Dass diese Hoffnung nicht vollständig aus der Luft gegriffen ist, mag folgender Befund belegen:

Bei der Identifizierung einzelner Carnivoren, aus Populationen zwischen zwei und 11 bekannten Individuen, lagen Fährtenleser der Ju/'Hoan San Buschleute aus Namibia bei der Zuweisung von Spuren zu einzelnen Tierindividuen mit 94%iger Wahrscheinlichkeit richtig (Stander, 1997:329).

Abstract

For many purposes it is often important to estimate animal population densities. In the meanwhile numbers of non invasive techniques are increasing, which deal with the difficulties arising from such a challenge. In wildlife field studies tracking and interpretation of spoor (footprints) are frequently used, and are enough to work out indice values of animal density. Scientists have often ruled out tracking as a reliable monitoring tool because of inherent sources of bias caused by uncertain assumptions. In this bachelor thesis an attempt is made to present possible solutions for the estimation of population density which works with counts of animal spoor. Some recent publications deal with the question whether there is a possibility to identify individual carnivores from their footprints. Based on this research results the chance for an alternative way to estimate carnivore density becomes feasible, if the individual quality of carnivore footprints is combined with the methodical idea from "capture- mark- recapture" surveys. The outlines of such a theoretically sound combination are discussed along with the proposal, which conditions should be fulfilled before actual field studies can be conducted.

7 Literaturverzeichnis

- Anderson, D.R.**, (2001) The need to get the basics right in wildlife field studies, *Wildlife Society Bulletin*, 29, 1294-1297
- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W., Weiber, R.**, (2006) *Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung*, Berlin (u.a.):Springer
- Behringer, W.**, (2007) *Kulturgeschichte des Klimas: Von der Eiszeit bis zur globalen Erwärmung*, Verlag C. H. Beck oHG, München
- Borchers, D.L., Buckland, S.T., Zucchini, W.**, (2002) *Estimating Animal Abundance*, London: Springer
- Briedmann, L.**, (1983) *Der Wildbestand, die große Unbekannte: Methoden der Wildbestandsermittlung*, Stuttgart : Enke
- Brown, T.**, (1999) *The Science and Art of Tracking*, New York : Berkley
- Brown, T.**, (1982) *The Tracker Magazine*, Vol. 1, No. 3
- Büttner, K.**, (1983) Winterliche Fährtenzählung bei Rehwild in Abhängigkeit von Witterung, Waldstruktur und Jagddruck, *Z. Jagdwiss.*, 29, 82-95
- Danell, A. C., Andrén, H., Segerström, p., Franzén, R.**, (2006) Space use by Eurasien Lynx in relation to reindeer migration, *Canadian Journal of Zoology*, 84, 546-555
- Ebert, C., Berger, K., Huckschlag, D., Nikolov, I., Schikora, T., Schulz, H., Hohmann, U.**, (2006) Kann man Wildschweine zählen? Eine Untersuchung über nicht invasive Gewinnung von Gewebeprobe zur Verwendung bei der Bestandsschätzung von Wildschweinen, *Die grüne Reihe* ISSN 1860 – 4064
- Gaulke, D., W.**, (1998) *The Revival of Traditional Animal Tracking: A Sensory and Spiritual Homecoming*, Prescott College
- Golden, H. N., Henry, J. D., Becker, E. F., Goldstein, M. I., Morton, J. M., Frost, D., Poe, Sr. Und A. J.**, (2007) Estimating wolverin *Gulo gulo* population size using quadrat sampling of tracks in snow, *Wildlife Biology*, 13(Suppl. 2), 52-61
- Grigione, M., Burman, P., Bleich, V. C., Pierce. B. M.**, (1999) Identifying individual mountain lions (*Felis concolor*) by their tracks: refinement of an innovative technique, *Biological Conservation*, 88, 25-32
- Hayward, G. D., Miquelle, D. G., Smirnov, E. N., Nations, C.**, (2002) Monitoring Amur tiger populations: characteristics of track surveys in snow, *Wildlife Society Bulletin*, 30(4), 1150-1159
- Hüther, G.**, (2005) *Die Macht der inneren Bilder*, Vanderhoeck & Ruprecht in Göttingen
- Jedrzejewska, B., Jedrzejewski, W.**, (1998) *Predation in vertebrate communities: the Białowieża primeval forest as a case study*, Berlin (u.a.): Springer, 1998
- Jedrzejewska, B., Jedrzejewski, W.**, (1996) Population dynamics (1869-1994), demography, and home ranges of the lynx in Białowieża primeval forest (Poland and Belarus), *Ecography*, 19, 122-138
- Jewell, Z. C., Alibhai, S. K., & Law, P. R.**, (2001) Censusing and monitoring black rhino (*Diceros bicornis*) using an objektiv spoor (footprint) identification technique, *Journal of Zoology*, 254, 1-16
- Karanth, K. U.**, (1995) Estimation tiger (*Panthera tigris*) populations from camera-trap data using capture-recapture models, *Biological Conservations*, 71,333-338
- Köhler, W., Schachtel, G., Volske, P.**, (2002) *Biostatistik*, Springer- Verlag Berlin Heidelberg 2002
- Lewison, R., Fitzhugh, E. L., Steve, P.G.**, (2000) Validation of a rigorous track classification technique: identifying individual mountain lions, *Biological Conservation*, 99, 313-321
- Liebenberg L.**, *The Art of Tracking: The Origin of Science*, South Africa : MSP Print, 1990

- Link W. A.**, (2003) Nonidentifiability of Population Size from Capture- Recapture Data with Heterogeneous Detection Probabilities, *Biometrics*, 59, 1123-1130
- Linnell, J. D. C., Swenson, J. E., Anderson, R.**, (2001) Predators and people: conservation of large carnivores is possible at high human densities if management policy is favourable, *Animal Conservation*, 4, 345-349
- Mader, F.**, (2001) Wildtierdichteschätzung mit Hilfe des „line-transect“-Verfahrens, Master Arbeit, Göttingen, 2001
- Miller C., R., Joyce P., Waits L. P.**, (2005) A new method for estimating the size of small populations from genetic mark-recapture data, *Molecular Ecology*, 14, 1991-2005
- Marques, F. F. F., Buckland, S. T., Goffin, D., Dixon, C. E., Borchers, D. L., Mayle, B. A., Peace, A. J.**, (2001) Estimating deer abundance from line transect surveys of dung: sika deer in southern Scotland, *Journal of Applied Ecology*, 38, 349-363
- Murray, D. L., Kapke, C. A., Evermann, J. F., Fuller, T. K.**, (1999) Infectious disease and the conservation of free-ranging large carnivores, 2, 241-254
- Nothnagel, M.**, (1999) Klassifikationsverfahren der Diskriminanzanalyse: Eine vergleichende und integrierende Übersicht, Dipl. Arbeit, Berlin 1999
- Pearse, D. E., Eckerman, C. M., Janzen, F. J., Avis, C.**, (2001) A genetic analogue of “mark-recapture” methods for estimating population size: an approach based on molecular parentage assessments, *Molecular Ecology*, 10, 2711-2718
- Plumtre, A. J.**, (2000) Monitoring mammal populations with line transect techniques in African forests, *Journal of Applied Ecology*, 37, 356-368
- Riordan, P.**, (1998) Unsupervised recognition of individual Tigers and snow leopards from their footprints, *Animal Conservation*, 1, 253-262
- Sadler, L. M., J., Webbon, C. C., Baker, P. J., Harris, S.**, (2004) Methods of monitoring red foxes *Vulpes vulpes* and badgers *Meles meles*: are field signs the answer? *Mammal Review*, 34, 75-98
- Schwarz, C. J., Andrews, M., Link, M. R.**, (1999) The Stratified Petersen Estimator with a Known Number of Unread Tags, *Biometrics*, 55, 1014-1021
- Schwarz, C.J., Seber, A.F.**, (1999) Estimating Animal Abundance: Review III. *Statistical Science*, 4, 427-456
- Sharma, S., Jhala, Y. J., Sawarkar, V. B.**, (2005) Identification of individual tigers (*panthera tigris*) from their pugmarks, *J. Zool., Lond.*, 267, 9-18
- Huntigton, S.**, (1993) Shadows at the Koyukuk, Alaska Northwest Books
- Skalski, J. R.**, (1991) Using sign counts to quantify animal abundance. *Journal of Wildlife Management*, 55, 705-715
- Smallwood, K. S., Fitzhugh, E. L.**, (1992) A Rigorous Technique for identifying Individual Mountain Lions (*Felis concolor*) by their Tracks, *Biological Conservation*, 65, 51-59
- Stander, P. E.**, (1998) Spoor counts as indices of large carnivore populations: the relationship between spoor frequency, sampling effort and true density, *Journal of Applied Ecology*, 35, 378-385
- Stander, P. E.**, (1997) Tracking and the interpretation of spoor: a scientifically sound method in ecology, *Journal of Zoology*, 242, 329-341
- Stephens, P. A., Zaumyslova, O. Y., Miquelle, D. G., Myslenkov, A. L., Hayward, G. D.**, (2006) Estimation population density from indirect sign: track counts and the Formozov-Malyshev-Pereleshin formula, *Animal Conservation*, 9, 339-348
- Tottewitz, Von F., Stubbe, C., Ahrens, K., Dobiáš, K., Goretzki, J., Paustian, K. H.**, (1996) Die Losungszählung als Methode der Bestandsschätzung von wiederkäuenden Schalenwildarten, *Z. Jagdwiss.* 42, 111-122
- Tytar, V., Diadicheva, E., Boulden, H., Burnett, C.**, (2002) Expedition report: Monitoring wolf, jerboar, viper and bird populations and studying bird migration on the Kinburn

peninsula, Black Sea, Ukraine, Biosphere Expeditions, Sprat's Water, The Broads National Park, Suffolk NR33 8BP, UK

Wharton, C. A., (2006) Are We Gathering Reliable Data? The Need For Measuring Observer Skill in Wildlife Monitoring, A&M University, Texas

Wilson, G. J., Delahay, R. J., (2001) A review of methods to estimate the abundance of terrestrial carnivores using field signs an observation, *Wildlife Research*, 28, 151-164

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

.....
Datum, Unterschrift