

MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DES GLOBALEN POSITIONIERUNGSSYSTEMS

EIN METHODENVERGLEICH DER GPS- UND VHF-TELEMETRIE IM
GEBIRGSWALD



EINE STUDIE IM AUFTRAG DER EidG. FORSTDIREKTION
BERN, FEBRUAR 2001

WildARK & KORA
Vereine für wildtierbiologische Forschung in Bern

Mark Struch (WildARK), Christof Angst (KORA), Roman Eyholzer (WildARK)

INHALTSVERZEICHNIS

Dank	Seite 3
<hr/>	
1. Einleitung und Ausgangslage	Seite 4
<hr/>	
2. Zielsetzung	Seite 5
<hr/>	
3. Material und Technik	Seite 6
<hr/>	
4. Methoden und Datenaufnahme im Feld	Seite 7
<hr/>	
4.1. Gämsgebiet	Seite 7
4.2. Luchsgebiet	Seite 7
<hr/>	
5. Resultate	Seite 9
<hr/>	
5.1. Auswertung der Einzel Lokalisationen	Seite 9
5.1.1. Datenrückfluss und Qualität	Seite 9
5.1.2. Planimetrische Abweichung	Seite 10
5.1.3. Einfluss der Abdeckung durch Baumkronen	Seite 12
5.1.4. Einfluss der Bestockung im Wald	Seite 14
5.1.5. Die Höhe der Messpunkte	Seite 14
5.1.6. Einfluss der Exposition	Seite 14
5.2. Auswertung der stationären Sender	Seite 15
5.2.1. Die stationäre Abweichdistanz	Seite 15
5.2.2. Peilzeit für GPS-Position	Seite 15
5.3. GPS-Technologie im Vergleich zur konventionellen Telemetrie	Seite 16
5.3.1. Qualitätsvergleich	Seite 16
<hr/>	
6. Diskussion	Seite 17
<hr/>	
7. Literaturverzeichnis	Seite 20
<hr/>	

DANK

Kein Projekt und ist es noch so klein kann im Alleingang bewältigt werden. Wir danken den folgenden Personen für ihre Mitarbeit.

Wir danken der Eidgenössischen Forstdirektion, Bereich Wildtiere, Hansjörg Blankenhorn für die finanzielle Unterstützung dieser Studie.

Wir danken der Firma Televilt International aus Schweden für die kostenlose Ausleihe des GPS-Prototyps, sowie Tom Alanko für die technische Beratung zu der GPS-Empfangseinheit.

Wir danken dem Büro Geo 7 aus Bern für die Durchführung der Georeferenzierung unserer Daten.

Wir danken Ruedi Haller vom Schweizerischen Nationalpark für das Erstellen von Satelliten-Ausleuchtungskarten.

Wir danken Adrian Aebischer aus Freiburg für die freundliche Ausleihe von Material.

Wir danken Katrin Bieri, Martin Baumann und Christoph Jäggi für die Korrekturlesungen und die wertvollen Diskussionen im Zusammenhang mit der Arbeit.

Wir danken Hans Gander für die Mitarbeit im Feld.

MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DES GLOBALEN POSITIONIERUNGSSYSTEMS – EIN METHODENVERGLEICH DER GPS- UND VHF-TELEMETRIE IM GEBIRGSWALD

1. EINLEITUNG UND AUSGANGSLAGE

Radiotracking wird seit über 30 Jahren eingesetzt um Wildtiere zu erforschen. Die Methoden, welche verwendet werden um eine Position eines Tieres zu ermitteln sind Triangulation (Heezen & Tester 1967), das Homing-In vom Flugzeug oder vom Boden aus (Hoskinson 1976), und Übermittlung von Sendersignalen an Satelliten (Harris et al. 1990). Die Genauigkeit dieser Telemetrie-Methoden ist sehr unterschiedlich und ist unter anderem abhängig von der Topographie. Am genauesten ist in der Regel das Homing-In, bei welchem der Aufenthaltsort des Tieres durch serielle Peilungen direkt aufgesucht wird. Allerdings ergibt sich dabei häufig auch ein gewisser Fehler bei der Interpretation der Karte, insbesondere bei Flugpeilungen. Die Triangulation hingegen versucht den Aufenthaltsort aus gewisser Distanz anhand von Kreuzpeilungen zu bestimmen. Triangulation ist deshalb einer Serie von Fehlern unterstellt, da die Lokalisation auf einer Serie von Azimuten beruht (Mech 1983, Lee et al. 1985, Garrot et al. 1986). Fehler von 100 – 200 m sind typisch für beide Methoden. Lokalisationen mit dem Argos Satelliten-System finden sich in der Regel innerhalb eines Kreises von 1 bis 3 km um den Sender (Harris et al. 1990, Keating et al. 1991, Keating 1994).

Die neueste Entwicklung in der Telemetrie-Technik ist der Einbau einer GPS-Einheit (Globales Positionierungssystem) in Halsbandsender (Rodgers & Anderson 1994, Rempel et al. 1995). Die GPS-Einheit berechnet ihre Position mittels Informationen, welche sie aus einer Anzahl von 24 orbitalen Satelliten empfangen kann. Jeder dieser Satelliten strahlt kontinuierlich Signale zur Erde, welche Informationen über seine Lage und Zeit vermitteln. Um eine Position berechnen zu können, muss ein GPS-Empfänger gleichzeitig Signale von mindestens 3 Satelliten empfangen. Obschon eine potentielle Genauigkeit von deutlich < 1 m möglich ist, wird im wildbiologischen Einsatz von GPS-Einheiten in 50 % der Fälle nur eine Genauigkeit von 40 m erreicht und 100 m in 95 % der Fälle (Hurn 1989). Bis im Mai 2000 verfälschte das *U.S. Department of Defense* absichtlich die Satellitensignale, so dass eine herabgesetzte Genauigkeit resultierte. Der daraus resultierende Lokalisationsfehler konnte nachträglich mittels *Differenzial-Korrektur* eliminiert werden, was die Genauigkeit der Peilungen in 95 % der Fälle bis auf 12 m erhöhte. Wenn viele *Differenzial-Korrekturen* derselben Peilung gemittelt wurden, konnte die Genauigkeit in 50 % der Fälle weniger als 2 m betragen, 5 m in 95 % der Fälle (Trimble Navigation, Ltd. 1992). Seit Mai 2000 hat das *U.S. Department of Defense* die Verfälschung der Signale gestoppt, was die Genauigkeit der Peilungen generell erhöht.

Im zivilen Einsatz ist die GPS-Einheit unter menschlicher Kontrolle und die Antenne kann so positioniert werden, dass der beste Empfang für eine GPS-Position resultiert. Wenn die GPS-Einheit jedoch an einem Wildtier angebracht ist, fällt diese optimale Positionierung der Empfangseinheit dahin. Die GPS-Empfänger funktionieren nur dann präzise, wenn sich keine materiellen Hindernisse, wie z.B. Blätter oder Holz etc, zwischen den Satelliten und dem Sender befinden. Da sich ein Tier während eines Tages durch verschiedene Habitattypen bewegen kann, kann die Genauigkeit der GPS-Einheit stark variieren. Dichte Vegetation, Geländestrukturen oder der Körper des Tieres können die Signale unterdrücken, so dass die minimale Anzahl von 3 Satelliten für eine erfolgreiche Berechnung einer Position nicht zur Verfügung stehen. So ist zu erwarten, dass der Erfolg und die Genauigkeit einer Position abhängig sind von der Aktivität des Tieres, der Topographie und dem Habitat.

Wenn neue Technologien in der Radiotelemetrie auf dem Markt erscheinen ist es wichtig, deren Genauigkeit zu bestimmen und das System auf systematische Fehler zu testen. Nur

mit der Kenntnis über die Funktionsweise und mögliche Fehler des Systems können GPS-Positionen von Senderhalsbändern, welche an Wildtieren befestigt sind, richtig interpretiert werden.

Obschon die GPS-Technik seit über 10 Jahren im zivilen Einsatz ist, wurden nur wenige Studien an Wildtieren in einem mit der Schweiz vergleichbaren Gelände durchgeführt. Die meisten Studien wurden in borealen Waldgebieten mit sehr flacher Topographie und relativ lückenhafter Nadelwaldvegetation durchgeführt (Rempel & Rodgers 1996, Moen et al. 1997). In diesem Bericht wollen wir deshalb das Potential der GPS-Technologie für die Wildtierforschung unter verschiedenen Habitatbedingungen in den Schweizer Alpen evaluieren.

2. ZIELSETZUNG

Aufgrund der Tatsache, dass die GPS-Technologie bislang nur in flachen Habitaten eingesetzt wurde (Rempel & Rodgers 1996, Moen et al. 1997) und der Tatsache, dass das *U.S. Department of Defense* die Störsignale seit Mai 2000 abgestellt hat wollten wir ein GPS-System in den Schweizer Voralpen testen und folgende Fragen klären:

- Allgemeiner Datenrückfluss
- Datenrückfluss in Abhängigkeit vom Habitat (Vegetation und Topographie)
- Genauigkeit des Systems
- Genauigkeit des Systems in Abhängigkeit vom Habitat (Vegetation und Topographie).
- Kostenaufwand im Vergleich zu herkömmlichen Radiotelemetriemethoden
- Diskussion der Anwendung von GPS-Einheiten in den Schweizer Alpen

3. MATERIAL UND TECHNIK

Beim eingesetzten GPS-Empfänger handelt es sich um einen 12 Kanal Empfänger der Firma Televilt aus Schweden. Der 650 Gramm schwere GPS-Empfänger kann bis zu 4500 Positionen (mit zusätzlicher Batterie bis zu 15'000 Positionen) in Echtzeit berechnen und speichern. Im Windows basierten Programm SIMPSET stehen Tages-, Wochen- und Jahrestabellen für die Programmierung bereit. Es lassen sich maximal 240 Positionen pro Tag (alle 6 Minuten 1 Position) für die Positionsaufnahme definieren. Der GPS-Empfänger wird vor dem Einsatz programmiert. Einmal programmiert lässt sich die Programmierung nicht mehr verändern. Die gespeicherten Positionen werden dann im Felde mittels VHF-Telemetrie auf den RX-900 Empfänger heruntergeladen oder nach Ablauf der Testperiode mittels Datenkabel direkt vom GPS-Empfänger auf den PC übertragen. Die gesamten Daten bleiben auch nach der VHF-Übertragung auf dem GPS-Empfänger gespeichert. Weitere technische Spezifikationen zur GPS-Empfänger-Familie finden sich unter <http://www.positioning.televilt.se/>.

In unserer Analyse haben wir den GPS-Empfänger am Körper getragen oder über Nacht an einem Ast aufgehängt und die Daten dabei täglich mittels Datenkabel vom GPS-Empfänger auf den PC übertragen. Obwohl die Programmierung des GPS-Empfänger mittels der Software SIMPSET einer einfachen Methodik folgt, war der Aufwand zum Programmieren des GPS-Empfänger viel grösser als erwartet. So war es erst nach mehrmaligen Versuchen möglich, den Sender überhaupt mittels PC-Kabel zu programmieren. Da es sich zudem um einen Testsender handelte, war die Stromzufuhr nicht verschweisst und fiel mehrfach aus. Auch die Lebensdauer der mitgelieferten Batterie konnte den Erwartungen vorerst nicht entsprechen. Erst eine Ersatzbatterie lieferte dann die nötige Energie.

4. METHODEN UND DATENAUFNAHME IM FELD

Die Erhebung der Felddaten erfolgte in gebirgigen Untersuchungsgebieten im Berner Oberland. Es ging mit der Wahl der Testorte darum, bekannte Habitate von Luchs und Waldgämsen abzudecken.

4.1. GÄMSGEBIET

An 3 Tagen während der vegetationslosen Zeit (November 2000) führten wir unsere Datenaufnahme im Untersuchungsgebiet der Waldgämsenstudie (Baumann und Struch 2000) durch. Das Gebiet liegt am Alpennordrand, südlich des Thunersees (600 M.ü.M.) und umfasst die Region der Gemeinden Leissigen, Krattigen, Aeschi (Suldtal) unterhalb vom Morgenberghorn (2'250 M.ü.M.). Die durchschnittliche Bewaldung beträgt ca. 36 %. Die aktuelle Waldgrenze liegt auf rund 1'600 M.ü.M. Die Nichtwaldgebiete unterhalb der Waldgrenze sind meistens eingestreut liegende, landwirtschaftlich genutzte Alpweiden. Die tiefstliegenden Gämseinstände befinden sich auf ca. 750 M.ü.M. Die darüberliegenden Gebiete, einschliesslich der Alpinregion, werden von Gämsen durchgehend besiedelt.

Zum Einen repräsentieren unsere GPS-Testorte bekannte Punkte, welche für die Peilfelerevaluation des herkömmlichen, im Waldgämsenprojekt angewandten, Radio-Trackings ausgewählt wurden. Zum Anderen erfolgte die Datenaufnahme an frei bestimmten Punkten innerhalb der bekannten Gämsegeiss-Streifgebiete. Die Koordinaten von 63 Feldpunkten wurden mittels Kartenarbeit genau bestimmt. Zusätzlich wurde jeder dieser Punkte mit folgenden Umgebungsparameter charakterisiert:

Biotop: Die Messorte wurden unterschieden in Wald-, Waldrand- und Offenlandpunkte.

Holzvorrat: Mittels Bitterlich-Plättchen wurde der Holzvorrat im Umkreis jedes Punktes bestimmt und in Kubikmeter pro Hektare umgerechnet (Schweizerischer Forstkalender 1999).

Abdeckung: Der Einfluss der Abdeckung durch Baumkronen wurde anhand von manuellen Digitalfotografien mit einem Weitwinkel Objektiv (Canon AF 24mm) in Richtung Zenit über jedem Messpunkt erhoben. Die Fotos wurden mittels der Windows basierten Scion-Software (<http://www.scioncorp.com/>) elektronisch ausgewertet, wobei die Abdeckung an jedem Punkt in Prozent resultierte.

Exposition, Höhe und Neigung: Die Angaben zu diesen geografischen Parametern wurden für jeden Punkt dem GIS (DHM 25) entnommen.

Während der Datenaufnahme im Feld wurde die GPS-Einheit über eine Zeitspanne von 4 Min eingeschaltet, damit das System gegebenenfalls eine Position für den Feldpunkt errechnen konnte. Dieses Zeitintervall muss programmiert werden und kann im Feldeinsatz nicht mehr verändert werden. Die von der GPS-Einheit übermittelte Positionsangabe wurde, nach der Umrechnung zu Koordinaten in Meter, mit den effektiven Standort-Koordinaten der Punkte verglichen. Der angewendete Pythagoras-Satz lieferte die planimetrischen Abweichungen der GPS-Positionierungen.

4.2. LUCHSGEBIET

Wir führten unsere Datenaufnahme in vier verschiedenen Regionen im Simmental (BE) im aktuellen Luchsgebiet im Berner Oberland durch:

- im Buuschental bei Reichenbach, ein Ost-West orientiertes Tal mit steilen Hängen. Die Messorte lagen zwischen 1000-1300 M.ü.M.
- an der Lenk, in einem Nord-Süd exponierten Tal, an einem flachen Hang. Die Messorte lagen zwischen 1200-1500 M.ü.M.
- in der Chlus bei Boltigen, ein Talkessel, der sich gegen Süden öffnet, im Norden türmen sich hohe Felswände. Die Messorte lagen zwischen 1000-1200 M.ü.M.
- am Niederhorn bei Boltigen, ein nordexponierter flacher Hang. Die Messorte lagen zwischen 1100-1400 M.ü.M.

Während des Tages besuchten wir effektive Luchsstandorte, welche im *Projekt Luchs* mit der herkömmlichen Radiotelemetrie ermittelt wurden (Positionen von Sichtbeobachtungen, Rissstandorte und Peilungen mit einer Genauigkeit von ± 50 m. In der Nähe solcher Standorte suchten wir ebenfalls „typische“ Luchsaufenthaltsorte auf. Wir wählten vor allem Extremstandorte aus an Felswänden, in Gräben oder in dichtem Wald. Wir wollten vor allem solche „schwierigen“ Standorte auf den Datenrückfluss testen, da bekannt ist, dass die GPS-Systeme in offenem Habitat gut funktionieren (Rempel & Rodgers 1996, Moen et al. 1997). Wir hielten die GPS-Einheit entweder 50 cm über dem Boden oder hängten sie über Nacht an einen Ast. Dabei zeigte die Antenne immer gegen oben. Wir führten ebenfalls mehrere Transekte von Wald via Waldrand ins Offenland durch um am selben Ort und mit vergleichbarer Satellitenverfügbarkeit verschiedene Habitattypen miteinander zu vergleichen.

Wir programmierten den GPS-Empfänger am Tag so, dass er alle 6 min eine Position aufnahm. Um die Position bestimmen zu können liessen wir jeweils ein „Fenster“ von 4 min offen, in dem der Empfänger eine Position errechnen konnte. Konnte innerhalb dieser 4. Minuten keine Position bestimmt werden, schaltete der Empfänger für die restlichen zwei Minuten des Sechsminutenintervall ab. Wenn innerhalb dieser 4 min eine 2D-Position erzielt wurde, versuchte das System die Position noch während weiteren 20 sec auf eine 3D-Position zu verbessern. Wurde dies nicht innerhalb der vorgegebenen 20 sec erreicht schaltete sich das System von selber ab bis zum nächsten Sechsminutenintervall. Konnte keine Position bestimmt werden, schaltete der Empfänger für zwei Minuten bis zum nächsten Sechsminutenintervall ab. Während zweier Nächte haben wir den GPS-Empfänger stationär an zwei Wurfplatz von Luchsinnen plaziert. Die Charakterisierung der Messpunkte erfolgte gleich wie im Gämgsgebiet.

5. RESULTATE

Die Grunddaten lassen sich in zwei Gruppen aufteilen.

- 1) Einzelpunkte: In 182 Fällen wurde eine GPS-Position pro Punkt gemessen (Gruppe E „Einzel-Lokalisationen“).
- 2) Punkteserien: Es wurden insgesamt 86 serielle GPS-Positionen bestimmt (Gruppe S „Serielle Lokalisationen“).

5.1. AUSWERTUNGEN DER EINZEL LOKALISATIONEN (GRUPPE E)

5.1.1. Der Datenrückfluss und die Qualität

Von den 182 gemessenen Punkten konnte in 152 Fällen eine Position bestimmt werden, was einem Datenrückfluss von 83,5 % entspricht. Bei 16,5 % der GPS-Messversuche blieb die Positionierung aus. Wir untersuchten diese 30 Fälle detaillierter und stellten fest, dass deren 27 durch Gründe im Orbit erklärbar sind. Bei 90 % der Nichtlokalisationen waren also einerseits die Anzahl der verfügbaren Satelliten zu gering andererseits unsere Helfer in der Umlaufbahn der Erde zu ungünstig positioniert, um eine Peilung vorzunehmen. Bei den verbleibenden 10 % oder 3 Fällen des Versagens von GPS, können wir nicht begründen warum keine Position bestimmt werden konnte.

Es ist zu bemerken, dass die Stichprobengrösse N=182 sämtliche Datenpunkte enthält, die in den Untersuchungsgebieten von der GPS-Einheit bestimmt wurden. Also auch diejenigen, die bei der Verschiebung von einem Messpunkt zum Anderen als Folge der Programmierung automatisch bestimmt wurden. An solchen Punkten (N=55) fehlt folglich die Erhebung der Umgebungsparameter.

Die Betrachtung der Daten in Bezug zum Habitat liefert weitere Anhaltspunkte. 127 Messorte umfassen 58 Waldpunkte, 5 Punkte in Windwürfen, 22 Punkte im Bereich des Waldrandes und 42 Offenlandpunkte. Der Datenrückfluss wie auch die Qualität der erfolgten Positionsbestimmungen im Wald und am Waldrand ist gegenüber dem Offenland und Windwurfflächen niedriger (Tab.1).

Tab. 1: Die Tabelle zeigt den Datenrückfluss und die Lokalisationsgenauigkeit von GPS-Daten in den vier unterschiedlichen Biotopstrukturen Wald, Windwürfen, Waldrand, und Weiden.

GPS-Position	Im Wald N=58	Im Windwurf N=5	Am Waldrand N=22	Im Offenland N=42
Ja (N=97)	36 (62,1 %)	5 (100,0 %)	16 (72,7 %)	40 (95,2 %)
Nein (N=30)	22 (37,9 %)	0 (0,0 %)	6 (27,3 %)	2 (4,8 %)
Positionsqualität	N=36	N=5	N=16	N=40
2D-Lokalisation (N=57)	24 (66,7 %)	1 (20,0 %)	12 (75,0 %)	20 (50,0 %)
3D-Lokalisation (N=40)	12 (33,3 %)	4 (80,0 %)	4 (25,0 %)	20 (50,0 %)

5.1.2. Die Planimetrische Abweichung

Die Distanz zwischen der gemessenen Position und dem effektiven Standort (Position auf Karte) des Senders liefert ein Vergleichsmass für GPS-Lokalisationen unter Berücksichtigung verschiedener Einflussgrössen. Die Verteilung der Abweichungen gibt Aufschluss über die Bandbreite des Bestimmungsfehlers von GPS-Positionierungen (Abb.1).

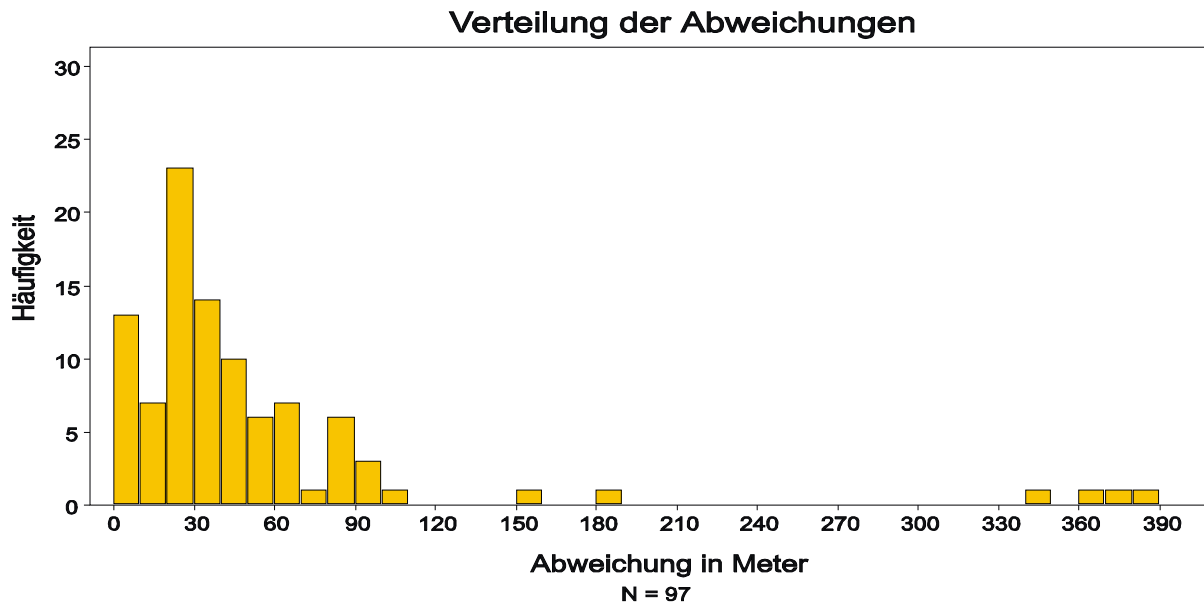


Abb.1: Histogramm der errechneten Abweichungen einer GPS-Lokalisation vom Effektiven Standort der GPS-Einheit (N=97).

Tab. 2: Quantile der planimetrischen Abweichdistanzen und der korrespondierenden Fehlerflächen im Lebensraum Gebirgswald (N=97).

Quantil [%]	Abweichdistanz [m] GPS	Kreisfläche [ha] GPS
10 % Quantil	8,8 m	0,02 ha
20 % Quantil	18,2 m	0,10 ha
30 % Quantil	22,0 m	0,15 ha
40 % Quantil	27,2 m	0,23 ha
50 % Quantil	34,0 m	0,36 ha
60 % Quantil	40,8 m	0,52 ha
70 % Quantil	52,2 m	0,86 ha
80 % Quantil	66,4 m	1,38 ha
90 % Quantil	91,4 m	2,62 ha
95 % Quantil	203,3 m	12,98 ha

Tabelle 2 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Abweichdistanzen und die daraus berechneten Fehlerflächen als einfaches Mass für die Genauigkeit einer Peilung. Unsere gemessenen GPS-Positionen lassen keine systematische Häufung bestimmter Abweichungsrichtungen vom effektiven Standort erkennen. Aufgrund dieser zirkumpolaren Verteilung der Lokalisationen kann eine kreisförmige Fehlerfläche berechnet werden.

Die kleinste Distanz mass 3 m, die Grösste 385 m. Das Untere Quartil wurde auf 21 m, der Zentralwert auf 34 m und das Obere Quartil auf 59,5 m berechnet.

Unterschiedlich gestalten sich jedoch die Abweichdistanzen unter Berücksichtigung der Qualität der Peilung. 2D-Positionen weisen eine grössere Abweichung auf, als Positionen der höheren Qualitätsstufe 3D (Mann-Whitney Rangsummen Test; N=97; $p < 0,001$). Erinnern

wir uns an den Datenrückfluss in Tabelle 1 zurück, so stellen wir erwartungsgemäss fest, dass Windwurfflächen sowie das Offenland generell mehr 3D als 2D-Positionen produziert und dass dieser Sachverhalt im Wald und am Waldrand gerade umgekehrt ist. Dementsprechend lassen sich auch Unterschiede in den Abweichdistanzen zwischen einzelnen Biotopteilen feststellen wie dies Abbildung 2 veranschaulicht (Kruskal Wallis Test; One-Way Non-parametric Anova; $N=97$; $p=0,0068$).

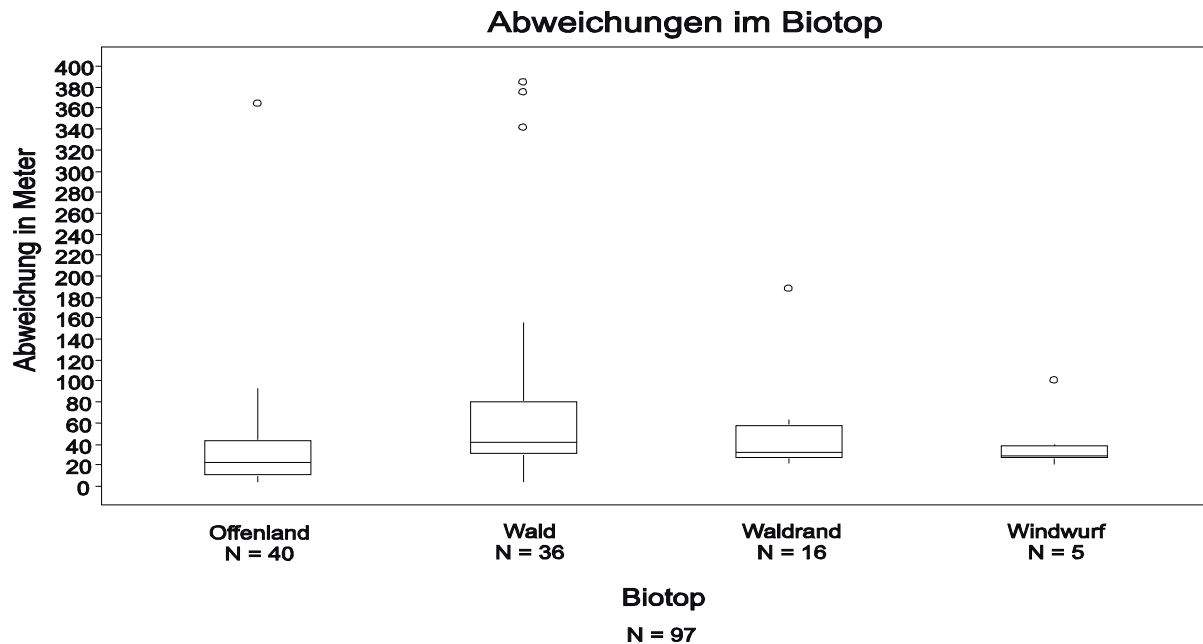


Abb.2: Abweichdistanzen in Abhängigkeit von vier Biotopeigenschaften im Gebirgswald. Als Habitatstrukturen wurde das Offenland ($N=40$), der Wald ($N=36$) der Waldrand ($N=16$) und der Windwurf ($N=5$) ausgewählt.

Der Vergleich unserer Abweichdistanzen in Bezug zu den DOP-Werten ergab keinen Zusammenhang (Rangsummen Test Mann-Whitney; $N=97$; $p=0,2269$). DOP heisst „Dilution of precision“. Solche Werte werden nebst den Positionsbestimmungen vom GPS übermittelt und liefern Informationen über den Satelliten-Bedingten Einfluss auf die Genauigkeit der Lokalisationen (Rempel et al. 1995, Moen et al. 1997). Ein hoher DOP-Wert liefert eine ungenauere Lokalisation als ein niedriges DOP. Wir unterteilten unsere Daten in zwei Kategorien von DOP-Werten und verglichen die Abweichdistanzen (Abb.3).

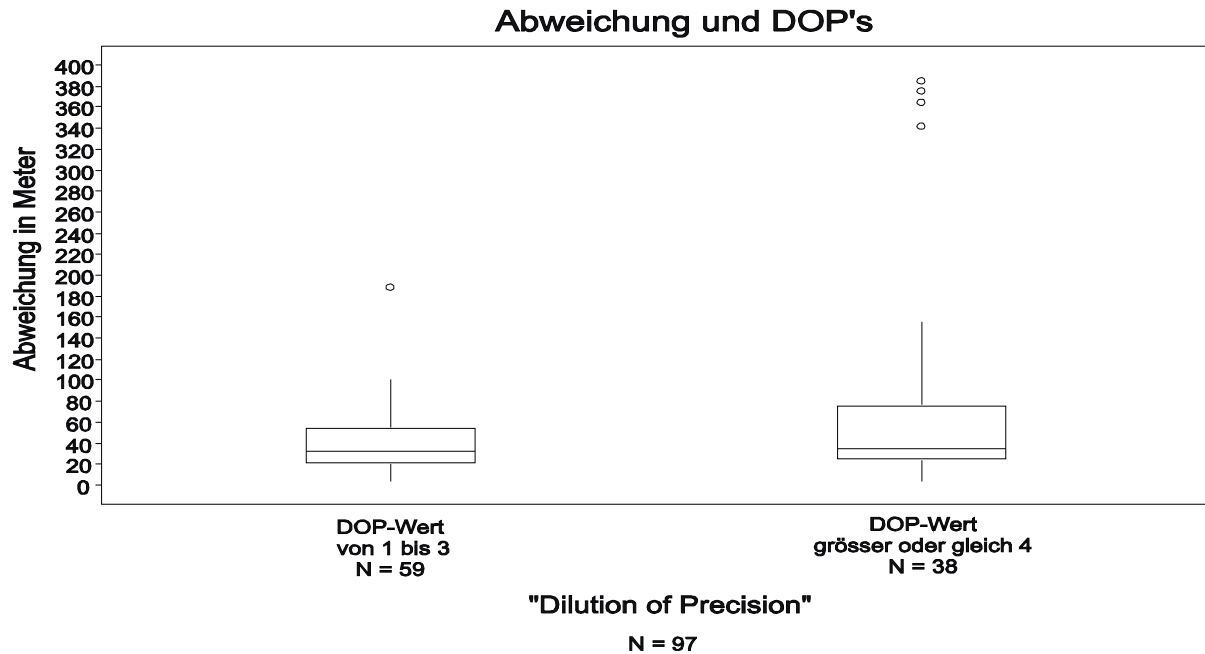


Abb.3: Abweichdistanzen in Abhängigkeit der DOP-Werte. Dargestellt sind die beiden Klassen der DOP-Werte von 1 bis 3 und diejenigen grösser oder gleich 4. Die beiden Gruppen unterscheiden sich nicht.

5.1.3. Einfluss der Abdeckung durch Baumkronen

In Abbildung 4 wird die Abdeckung durch Baumkronen in Zusammenhang mit denjenigen Punkten im Wald und am Waldrand (N=80) betrachtet, bei welchen das GPS keine Position bestimmen konnte. An Orten mit erfolgreichen GPS-Positionen wurden niedrigere Abdeckungen durch Baumkronen gemessen als dort wo keine Positionen ermittelt werden konnte (Rangsummen Test Mann-Whitney; N=80; $p=0,0067$). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Abdeckung an Messpunkten einen Einfluss auf den Erfolg nicht aber auf die Genauigkeit von GPS-Lokalisationen haben kann (Abb.4). Kein Zusammenhang besteht zwischen Abweichdistanzen und verschiedenen Abdeck-Klassen in der Abbildung 5 (Kruskal Wallis Test; One-Way Nonparametric Anova; N=52; $p=0,4170$).

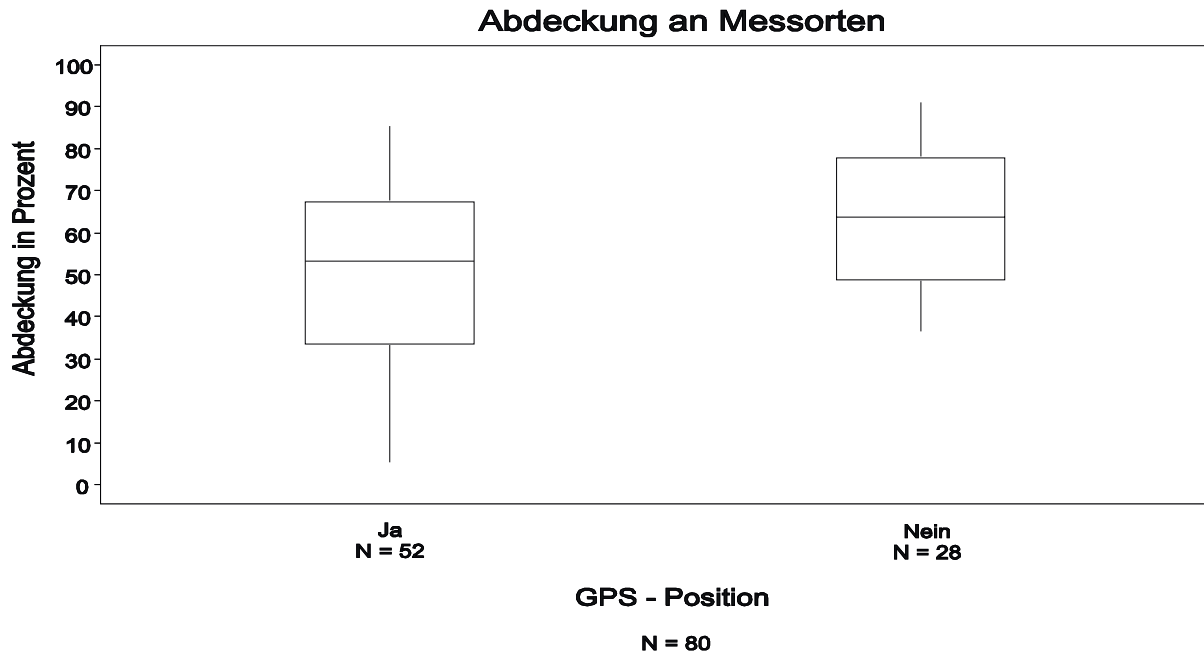


Abb.4: Darstellung der Abdeckung an GPS-Messorten mit und ohne Positionierung. Berücksichtigt sind Wald- und Waldrandmessorte (N=80).

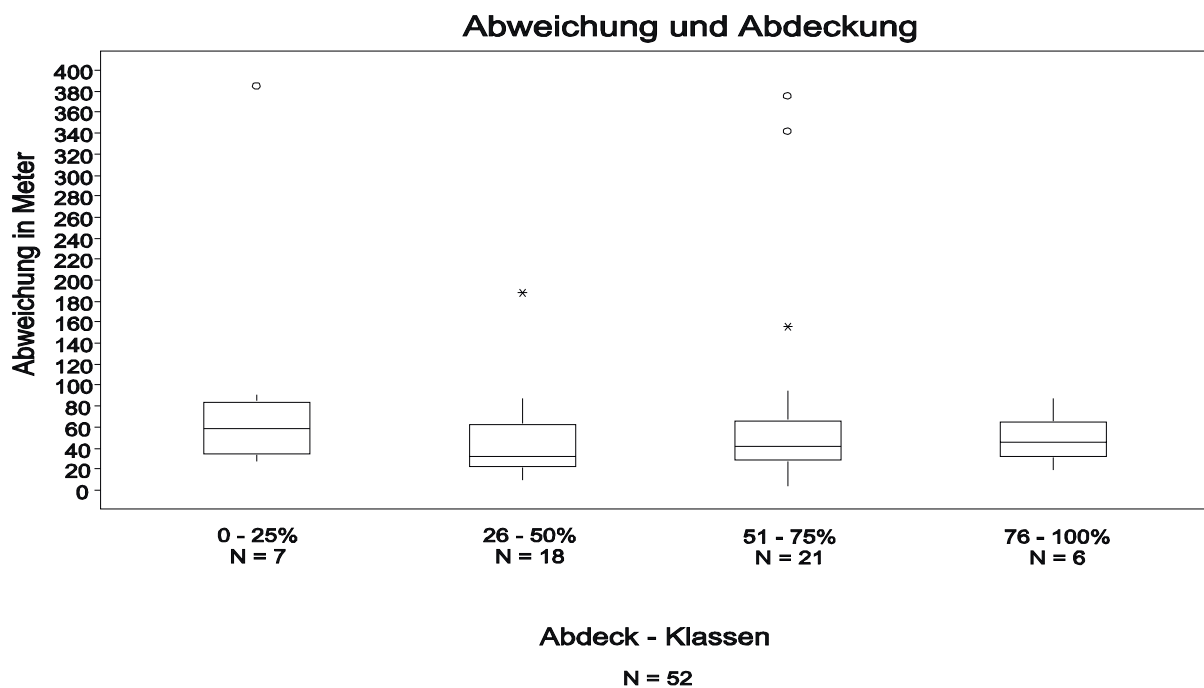


Abb.5: Planimetrische Abweichdistanzen an Wald- und Waldrandpunkten (N=52) in verschiedenen Abdeckklassen. 0 – 25 % bezeichnet eine geringe Abdeckung, 75 – 100 % repräsentiert die Klasse der grössten Abdeckung an den Messorten.

5.1.4. Einfluss der Bestockung im Wald

Mittels Bitterlichplättchen wurde der Holzvorrat an Standorten im Wald bestimmt und mit der Qualität der Peilungen sowie den Abweichdistanzen an diesen Orten verglichen. Im Gegensatz zur Abdeckung an einem Messpunkt hat die Bestockung (Holzvorrat) rund um diesen Punkt keinen Einfluss auf die Genauigkeit der Peilung (Lineare Regression; $N=12$; $p=0,6487$). Die Stichprobengrösse ($N=12$) erklärt sich daraus, dass der Bitterlich an den restlichen 40 Wald- und Waldrandpunkten falsch angewendet wurde.

5.1.5. Die Höhe der Messpunkte

Abbildung 6 zeigt Abweichdistanzen im Vergleich zur Höhe über Meer. Der gesamte Datensatz $N=97$ beinhaltet 6 Ausreisser, die alle grösser sind als 150 m. 3 Abweichungen betragen gar über 350 m. Wenn man die Ausreisser bei der Berechnung der Linearen Regression nicht mit berücksichtigt, erhält man keine signifikanten Korrelation zwischen der Abweichdistanz und der Höhe (Lineare Regression; $r^2=0,0094$; $N=91$; $p=0,3617$).

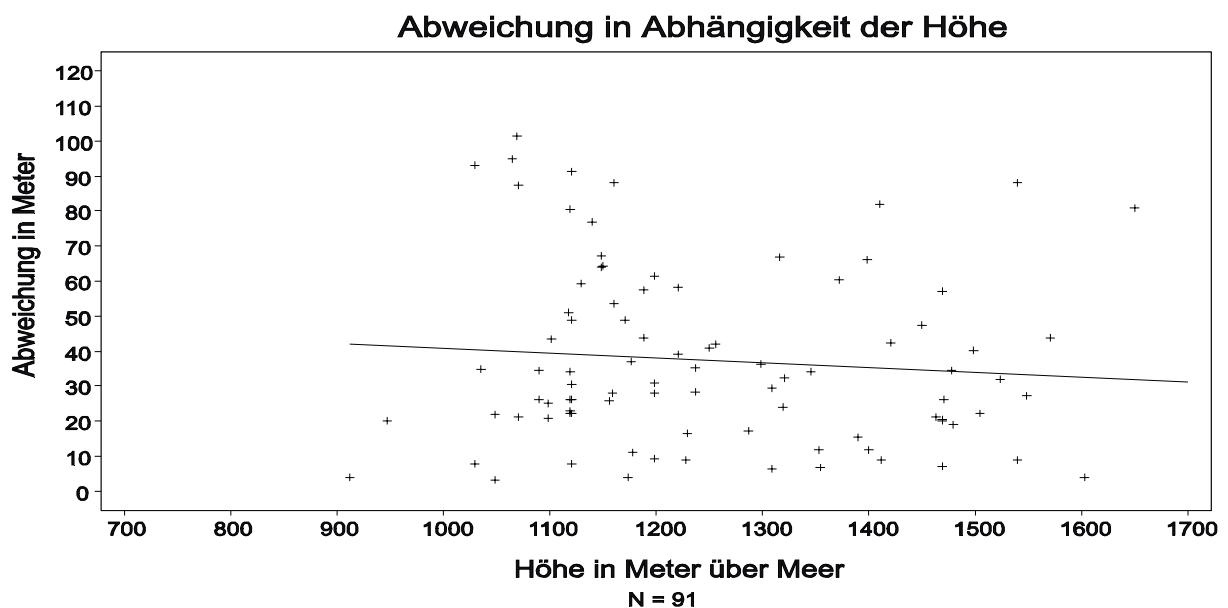


Abb.6: Abweichdistanzen in Abhängigkeit der Höhe in Meter über Meer und die dazugehörige Regressionsgerade ($N=91$).

5.1.6. Einfluss der Exposition

Die Abweichdistanzen verhielten sich unabhängig von der Expositionen unserer Messpunkte. Ein Vergleich der Sektoren Nord-Ost, Nord-West, Süd-Ost und Süd-West ergab keine Unterschiede (Kruskal Wallis Test; One-Way Nonparametric Anova; $N=97$; $p=0,5207$).

5.2. AUSWERTUNGEN DER STATIONÄREN SENDER (GRUPPE S)

5.2.1. Die stationäre Abweichungsdistanz

Die Verteilung und Häufigkeit der Abweichungen von stationären Sendern präsentiert sich in Abbildung 7. An zwei Wurfplätzen von Luchsinnen im Wald wurden die Daten erhoben. Die Bandbreite reicht von 4 bis 283 m. Der Zentralwert findet sich bei 21 m. 25 % der Abweichungen sind unter 13 m, 75 % befinden sich innerhalb von rund 30 m (Abb.8).

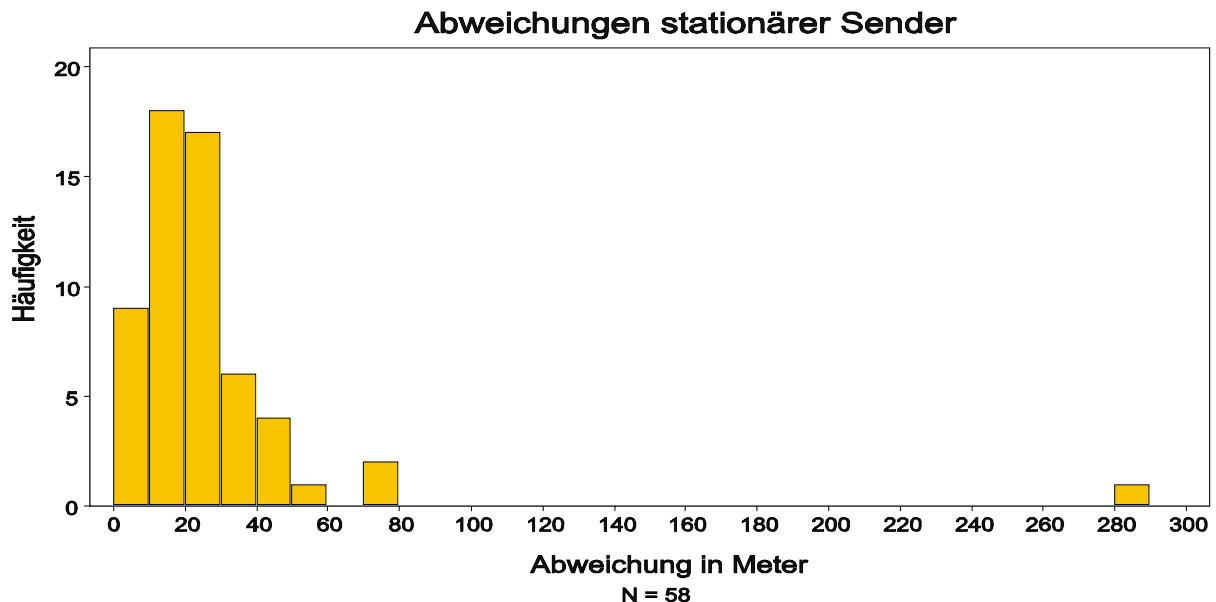


Abb.7: Die Abweichungsdistanzen von seriellen Lokalisationen an Wurfplätzen von Luchsinnen im Wald (N=58).

5.2.2. Peilzeit für eine GPS-Position

In Tabelle 3 ist die Peilzeit, aufgetrennt nach „Einzel-Lokalisationen“ und „Serieller Lokalisationen“, dargestellt.

Tab.3: Die von der GPS-Einheit benötigte Zeit um eine Position zu bestimmen ist in untenstehender Tabelle ersichtlich.

Statistik	Einzel-Lokalisationen	Serielle Lokalisationen
N	136	58
Minimum	12 sec	12 sec
25 %-Quantil	24 sec	20 sec
Zentralwert	48 sec	32 sec
75 %-Quantil	80 sec	93 sec
Maximum	240 sec	212 sec

5.3. GPS-TECHNOLOGIE IM VERGLEICH ZUR KONVENTIONELLEN TELEMETRIE

5.3.1. Qualitätsvergleich

Wie die nachfolgende Tabelle zeigt sind GPS-Lokalisationen, zumindest bei 90 % aller Datenpunkte, genauer als die herkömmliche Telemetrie durch Radiotracking, vorausgesetzt das GPS ist in der Lage überhaupt eine Position zu bestimmen. Die Vergleichsdaten aus der Konventionellen Radiotelemetrie entnehmen wir dem Schlussbericht der Waldgämsenstudie (Baumann & Struch 2000). Sämtliche Daten stammen aus dem Waldgämsbiotop im Untersuchungsgebiet Suldtal. Die GPS-Datenaufnahme wurde an denselben Messpunkten durchgeführt wie die Peilfehlerevaluation des Waldgämsenprojekts.

Tab. 1: Häufigkeitsverteilung der planimetrischen Abweichdistanzen und der korrespondierenden Kreisflächen bei Peilfehlerevaluationen in der Konventionellen Radiotelemetrie (N=212) (Radio-Tracking) und der Modernen Satelliten-Telemetrie (N=46) (Globales Positionierungssystem GPS).

Quantil [%]	Abweichdistanz Radiotracking [m]	Abweichdistanz GPS [m]	Kreisfläche Radiotracking [ha]	Kreisfläche GPS [ha]
10 % Quantil	17,5 m	5,4 m	0,10 ha	0,01 ha
20 % Quantil	27,5 m	12,0 m	0,24 ha	0,05 ha
30 % Quantil	35,0 m	20,1,0 m	0,38 ha	0,13 ha
40 % Quantil	42,0 m	27,8 m	0,55 ha	0,24 ha
50 % Quantil	51,0 m	34,5 m	0,82 ha	0,37 ha
60 % Quantil	62,5 m	40,2 m	1,23 ha	0,51 ha
70 % Quantil	77,5 m	48,5 m	1,89 ha	0,74 ha
80 % Quantil	95,5 m	73,0 m	2,87 ha	1,67 ha
90 % Quantil	133,0 m	117,5 m	5,56 ha	4,34 ha
95 % Quantil	172,0 m	355,95 m	9,29 ha	39,80 ha

6. DISKUSSION

Generell gesehen ist die Ausbeute von Lokalisationen, welche durch das GPS geliefert werden, gut und der allgemeine Datenrückfluss von rund 80 % lässt eine Anwendung der Technik für wildtierbiologische Fragen grundsätzlich zu. Die Grösse von Streifgebieten oder Fragen der Migration von Wildtieren können unseres Erachtens beantwortet werden. Die GPS-Technik übertrifft bezüglich Quantität von Felddaten die herkömmliche VHF-Telemetry bei weitem. Bedeutend in diesem Zusammenhang ist auch die Rationalisierung des Datenerhebung; kann doch der personelle Aufwand durch den Einsatz von GPS deutlich reduziert werden.

Die Genauigkeit unserer GPS Werte sind vergleichbar mit den Angaben in bisher veröffentlichten Feldarbeiten (Bowman et al. 2000, Moen et al. 1996) und Angaben der Hersteller (Lotek, Televilt) von GPS-Einheiten. Im Vergleich mit der herkömmlichen VHF-Telemetry sind GPS-Peilungen deutlich genauer, sofern mit GPS überhaupt eine Position bestimmt werden kann.

Der Einbezug von detaillierteren Fragestellungen, wie zum Beispiel Fragen zur Habitatnutzung, zu Zeit-Budget's, zu zeitlich und örtlich spezifischen Verhaltensmustern von Tieren, oder ähnlichen Fragen erfordert eine differenziertere Betrachtung des Feldeinsatzes von GPS. Die Verminderung des Datenrückflusses sowie auch der Peilgenauigkeit im Wald gegenüber dem Offenland relativiert GPS-Daten für wildtierbiologische Projekte. Speziell bei Tierarten, welche permanent oder zeitweise eine hohe Nutzung stark bewaldeter Habitate aufweisen sind genaue Abklärungen der Fragestellungen erforderlich. Im typisch schweizerischen Gebirgsmischwald (700–1600 M.ü.M.) beeinträchtigte die Abdeckung durch Baumkronen den Erfolg unserer GPS-Lokalisationen negativ. In diesem Zusammenhang ist die Tatsache wichtig, dass unsere Messungen in der vegetationslosen Saison (November) erhoben wurden, was den Schluss zulässt, dass die Phänologie in der übrigen Jahreszeit einen noch stärkeren Einfluss haben könnte als dies schon im Winter der Fall ist. Der Einfluss der Abdeckung durch Baumkronen konnte in der Studie mit gefangenen Weisswedelhirschen im US-Staat Mississippi nicht nachgewiesen werden. Die Bestockung im kleinen Versuchsgehege (ca. 2ha) bestand vorwiegend aus Kiefern (90 %) und vereinzelt eingestreuten Eichen (5 %) sowie wenig anderen Hartholzbaumarten (5 %) (Bowman et al. 2000).

In diesem Zusammenhang ist auch zu berücksichtigen, dass das Zeitfenster, in dem die GPS-Einheit eine Position bestimmen kann, von entscheidender Bedeutung für den Datenrückfluss sein kann. Wird dieses Zeitfenster aus übereifrigen Energiespargründen zu kurz gewählt, werden unter Umständen kaum Positionen erzielt. Je nach Habitatstyp oder Topografie eines Untersuchungsgebietes sollte diesem Punkt zusätzliche Beachtung bei der Programmierung der GPS-Einheiten geschenkt werden.

Es sind aber nicht nur Umgebungsparameter, die den Datenrückfluss beeinträchtigen können, sondern auch tageszeitlich bedingte Einschränkungen, welche offensichtlich auf die GPS-Logistik generell zurückzuführen sind. Gemäss Informationen von Trimble Navigation Ltd., einem amerikanischen Unternehmen, das sich seit 1978 mit der Anwendung von GPS beschäftigt, gibt es tageszeitliche "Engpässe" bei der Verfügbarkeit der Satelliten zur Bestimmung einer Position. Diese "Engpässe" sind jedoch nicht systematisch und können durch das U.S. Department of Defense beeinflusst werden. Trimble Navigation Ltd. empfiehlt deshalb, für Projekt vorgängig mittels dem von ihnen gratis zur Verfügung gestellten Programms "Quick Plan" (unter <http://www.trimble.com/satview/> erhältlich) die Satellitenverfügbarkeit abzuklären und allfällige Programmierungsänderungen vorzunehmen.

Ein weiterer wichtiger Punkt könnte die Topographie des Einsatzgebietes von GPS sein. Es ist denkbar, dass eine kleinräumige, hügelige Geländekammerung wie sie in der Schweiz oftmals anzutreffen ist, dem GPS grössere Positionierungsschwierigkeiten bereitet als die Landschaft in den bisher untersuchten Elchhabitaten in den Weiten der kanadischen und eurasischen Taiga (Rempel et al. 1995, Moen et al. 1996, Edenius 1997) oder den Elefanteneinständen in der afrikanischen Savanne (<http://www.savetheelephants.com>). Dies ist

damit zu erklären, dass Satelliten, welche am Himmel tiefer liegen, durch Bergkämme verdeckt werden und für eine Berechnung einer Position nicht zur Verfügung stehen.

Ein weiterer Diskussionspunkt ist die Wirtschaftlichkeit der zur Verfügung stehenden Technik. GPS-Systeme sind in der Anschaffung rund 10 Mal teurer als konventionelle Telemetriesender. Ein VHF-Sender kostet ca. Fr. 500.-, ein GPS-Systeme etwa Fr. 5'000.-, ein GPS-Argos-System rund Fr. 10'000.-. Hinzu kommt bei einem GPS der Aufwand für ein „Download-System“ der erfassten Felddaten. Entweder geschieht dies über einen VHF-Sender, dessen Signale mit einem speziellen Gerät empfangen werden können oder mittels Argos-System. Beim System mit VHF-Sender ist eine Person im Feld Voraussetzung, welche das VHF-Signal vorgängig anpeilt und zu einer vorprogrammierten Zeit die Positionssignale empfangen kann. Aktuelle Kostenpunkte solcher Systeme belaufen sich auf ca. Fr. 1'500.-, was allerdings einer einmaligen Investition entspricht plus die Kosten einer Person im Feld. Ein weiteres „Download-System“ besteht darin, das GPS-System mit einem Argos-System zu kombinieren. Die GPS-Einheit bestimmt dabei die genaue Position und sendet sie via Argos-Satelliten an eine Bodenstation. Die Position wird dann innerhalb von 30 min per e-mail verschickt. Hierbei würden also keine Kosten für Feldarbeit entstehen. Jedoch sind die Systeme in der Anschaffung sehr teuer. Eine Halsbandeinheit kostet ca. Fr. 10'000.-. Dazu kommen Kosten von ca. Fr. 500.- pro Einheit und Monat um die GPS-Positionen via Argos zu übermitteln (Fr. 6'000.- pro Jahr).

Die Mehrkosten von GPS müssen zusammen mit dem Hauptinvestitionspunkt, dem personellen Aufwand für die konventionelle Telemetriearbeit betrachtet werden. Nachfolgendes hypothetisches Beispiel soll den Vergleich zeigen.

Annahmen: 10 besenderte Wildtiere, Fragestellungen zu Home-Range und Migration, 3 Jahre Laufzeit des Projekts (Kosten ohne Fanganstrengungen). Der Aufwand für die Peilarbeit, bedingt durch VHF-Technik, wurde mit einer 100 %-Anstellung während eines Jahres zu Fr. 80'000.- gerechnet. Eine vergleichbare Doktorandenstelle zum Nationalfondsansatz von Fr. 35'000.- würde die Kosten etwa halbieren. Um die 10 Tiere zu Peilen nehmen wir eine durchschnittliche Tagesfahrt von 300 km an, den Kilometer mit Fr. 0.6.- berechnet (Fünftageweche und 48 Wochen pro Jahr). Um die VHF-Signale der GPS-Einheiten zu betreuen wurden mit einer 50 %-Anstellung während eines Jahres zu Fr. 40'000.- gerechnet. Die Fahrspesen haben wir mit der Hälfte der VHF-Spesen berechnet. Das GPS-Argos-System bedingt keine Feldarbeit.

Die voraussichtlich resultierenden Kosten mit VHF-Technik würden sich auf Fr. 374'600.-, belaufen (Fr. 174'000.- mit einem Doktoranden!!), diejenigen unter Anwendung der reinen GPS-Technik auf Fr. 236'300.-. Das GPS-Argos-System kostet für eine Laufzeit von 3 Jahren rund Fr. 280'000.-. Zwar ist die Anfangsinvestition bei der GPS-Technik verglichen mit der konventionellen VHF-Technik sehr hoch, kosten die Sender doch 10 (-20) mal mehr. Die GPS-Technik ist der konventionellen VHF-Technik aus finanzieller Sicht dann aber überlegen, wenn in kurzer Zeit möglichst viele Positionen erzielt werden sollen. Der Aufwand für Arbeitskräfte im Feld ist nach dem Anbringen der Halsbänder unabhängig von der Anzahl der Peilpunkte. Der finanzielle Aufwand bei den herkömmlichen VHF-Sendern ist dagegen proportional zur Anzahl Peilpunkte die erzielt werden sollen. In solchen Projekten können 30-40 % der Kosten gespart werden. Da immer mehr Hersteller von Telemetriesystemen die GPS-Technik mit einbeziehen ist anzunehmen, dass diese Technik in den nächsten Jahren noch billiger wird und bei wirtschaftlichen Überlegungen noch besser abschneidet.

Ein wichtiger Punkt bei der Frage, ob ein GPS-System eingesetzt werden soll oder nicht, ist die Betriebssicherheit der Sender. Eine sinnvolle Ausschöpfung des sehr hohen Fangaufwandes und die damit verbundenen Grundkosten würden in Frage gestellt, wenn GPS-Systeme sich als kurzlebiger oder weniger betriebssicher erweisen würden als die herkömmlichen Sender. Nach unseren Einschätzungen besteht unter Umständen ein gewisses Risiko, dass GPS-Systeme aufgrund der komplexen Elektronik, sich als weniger funktionssicher herausstellen könnten als konventionelle Telemetriesender. Sie würden somit den Ansprüchen eines mittel- bis langfristig angelegten Projektes nicht genügen. Aufgrund von Kondensationen in der Batterie oder anderen technischen Problemen hatten Merrill et al. (1998) ver-

schiedene Ausfälle bei GPS-Einheiten. Von 10 GPS-Einheiten hatten deren vier eine kürzere Lebensdauer als 22 Tage, und zwei Sender funktionierten gar nicht erst. GPS-Systeme beherbergen zwar ein anderes Potential, man denke an die Möglichkeit von Peilserien. Die Lebensdauer der Sender ist aber dementsprechend kürzer. GPS-Systeme leben selten länger als 1-2 Jahre, konventionelle VHF Sender dagegen aber durchaus 4 Jahre.

Im Gegensatz zur GPS-Technik bietet die herkömmliche VHF-Telemetrie mit dem entsprechenden Aufwand eine nahezu hundertprozentige Garantie der Lokalisation eines sendermarkierten Tieres. Kann die GPS-Einheit dagegen zur vorprogrammierten Zeit keine Position bestimmen, entfällt sie in jeden Fall. Im weiteren entfällt bei VHF-Sendern die feste Programmierung der Datenerhebung, womit die Beweglichkeit und somit das Reaktionspotential auf spontane, verhaltensbedingte Änderungen der untersuchten Wildtiere gewährleistet wird. Für die umfassende Erforschung von im Wald lebenden Tieren (z.B. Hirschen, Waldgämsen, Luchsen etc.) wird die VHF-Telemetrie vorerst wahrscheinlich noch nicht ausgedient haben. Die GPS-Technologie ist aber schon heute in der Lage wesentliche Erleichterungen bei der Felddatenbeschaffung in wildtierbiologischen Feldforschungsprojekten zu bringen.

Am Schluss ist zu betonen, dass die vorliegenden Auswertungen als Ergebnisse einer „Auslotung“ der Einsatzmöglichkeiten von GPS-Einheiten für wildtierbiologische Untersuchungen im Gebirgswald zu verstehen sind. Umfangreichere Tests in weiteren Habitaten und Vorabklärungen für spezifische wildtierbiologische Fragestellungen werden nötig sein, um den Einsatz von GPS in der Wildforschung abzuwägen.

7. LITERATUR

- Bachmann, P 1996: Berechnung des Derbholzvorrates pro Flächeneinheit (m³/ha). Schweizerischer Forstkalender 1999; Verlag Huber; Frauenfeld: 179-181.
- Baumann, M. & Struch, M. 2000: Waldgämsen – neue Erscheinung der Kulturlandschaft oder alte Variante der Naturlandschaft? Schlussbericht, BUWAL, Eidg. Forstdirektion, Bern.
- Bowman, J.L., C.O. Kochanny, S. Demarais & B.D. Leopold, 2000: Evaluation of a GPS collar for white-tailed deer. *Wildlife Society Bulletin* 28(1): 141-145.
- Edenius L. 1997: Field test of a GPS location system for moose *Alces alces* under Scandinavian boreal conditions. *Wildlife Biology* 3 (1): 39-43.
- Garrot, R.A., G.C. White, R.M. Bartmann & D.L. Weybright, 1986: Reflected signal bias in biotelemetry triangulation systems. *J. Wildl. Manage.* 50: 747-752.
- Harris, R.B., S.G. Fancy, D.C. Douglas, G.W. Garner, S.C. Amstrup, T.R. McCabe & L.F. Pank, 1990: Tracking wildlife by satellite: current systems and performance. U.S. Fish and Wildl. Serv. Fish Wildl. Tech. Rep. 30. 52 pp.
- Heezen, K.L. & J.R. Tester, 1967: Evaluation of radio-tracking by triangulation with special reference to deer movements. *J. Wildl. Manage.* 31: 124-141.
- Hoskinson, R.L., 1976: The effect of different pilots on aerial telemetry error. *J. Wildl. Manage.* 40: 137-139.
- Hurn, J., 1989: GPS: A guide to the next utility. Trimble Navigation, Ltd, Sunnyvale, Calif. 76 pp.
- Keating, K.A., W.G. Brewster, C.H. Key, 1991: Satellite telemetry: performance of animal-tracking systems. *J. Wildl. Manage.* 55(1):160-171.
- Keating, K.A., W.G. Brewster, C.H. Key, 1994: An alternative index of satellite telemetry location error. *J. Wildl. Manage.* 58: 414-421.
- Mech, L.D. 1983: Handbook of animal radio-tracking. Univ. Minnesota Press, Minneapolis. 107 pp.
- Merril, S.B., L.G. Adams, M.E. Nelson & L.D. Mech, 1998: Testing releasable GPS radiocollars on wolves and white-tailed deer. *Wildlife Society Bulletin* 26(4): 830-835.
- Moen, R., J. Pastor, Y. Cohen, C.C. Schwartz, 1996: Effects of moose movement and habitat use on GPS collar performance. *J. Wildl. Manage.* 60(3): 659-668.
- Moen, R., J. Pastor, Y. Cohen, 1997: Accuracy of GPS Telemetry collar locations with differential correction. *J. Wildl. Manage.* 61(2): 530-539.
- Rempel, R.S., A.R. Rodgers & K.F. Abraham, 1995: Performance of a GPS animal location system under boreal forest canopy. *J. Wildl. Manage.* 59(3).
- Rempel, F.S., A.R. Rodgers, 1996: Effects of differential correction on accuracy of a GPS animal location system. *J. Wildl. Manage.* 61(2): 525-530.
- Rodgers, A.R. & P. Anson, 1994: Animal-borne GPS: tracking the habitat. *GPS World* 5:20-32.
- Trimble Navigation, Ltd., 1992: GPS pathfinder system general reference. Trimble navigation, Ltd., Sunnyvale, Calif. 143pp.