

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Fakultät für Umwelt und Natürliche Ressourcen  
Institut für Forstwissenschaften

**Räumliche und zeitliche Aktivitätsmuster von Rehen (*Capreolus capreolus*)  
im Naturpark Hoher Fläming**

vorgelegt von

Steffen Wolf

Matrikelnummer 2530670

als Masterarbeit

im Studiengang Forstwissenschaft

April 2013

Referentin: Prof. Dr. Ilse Storch

(Professur für Wildtierökologie und Wildtiermanagement, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Korreferent: Prof. Dr. Heribert Hofer

(Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung (IZW) Berlin)

## Zusammenfassung

Das Reh (*Capreolus capreolus*) kann in vielerlei Hinsicht als eine der wichtigsten Wildtierarten Mitteleuropas angesehen werden. Aufgrund seiner weiten Verbreitung und hohen Populationsdichten spielt es nicht nur eine große Rolle für die Jagd, sondern ist insbesondere als Verursacher von Wildschäden in der Forstwirtschaft in bestehende Mensch-Wildtier-Konflikte involviert. Für ein effektives Management der Art ist unter anderem das Verständnis ihres räumlichen und zeitlichen Verhaltens von hoher Bedeutung. Die Aktivität von Rehen im Laufe der Zeit war bislang nur selten Gegenstand wissenschaftlicher Studien.

Im Rahmen einer Untersuchung des Leibniz-Instituts für Zoo- und Wildtierforschung (IZW) wurden von 2007 von 2012 zehn Rehe (sieben weibliche, drei männliche) telemetrisch untersucht. Neben der Ortung der Tiere ermöglichten die dabei eingesetzten GPS-Halsbänder auch die Messung ihrer Aktivität mit Hilfe integrierter Beschleunigungssensoren. Die somit gewonnenen Daten wurden mit dem Ziel ausgewertet, Veränderungen der Aktivität und Raumnutzung des Rehs im Laufe der Zeit aufzudecken.

Bei allen Rehen zeigte sich, dass die Aktivität im Tagesverlauf schwankte und Schwerpunkte stets zur Dämmerung auftraten. Im Winter war das Aktivitätsniveau im Vergleich zu allen anderen Jahreszeiten verringert. Weitere Parameter der Aktivität verhielten sich im Jahresverlauf wie folgt: In der Vegetationsperiode war eine Tendenz zur Verlagerung eines hohen Anteils der Aktivität auf die Nachtstunden festzustellen und die Anzahl der täglichen Aktivitätsschübe lag über der des restlichen Jahres. Ihre Länge unterschied sich dagegen ebenso wie LKG und HA (Maßzahlen für die Synchronisation interner Rhythmen mit der 24-Stunden-Periode des Tages) nicht signifikant zwischen den Vegetationsphasen. Obwohl sich keine signifikanten jahreszeitlichen Unterschiede der Raumnutzung feststellen ließen, hatten weibliche Tiere im Winter besonders große Streifgebiete und legten zwischen den Ortungen weitere Wegstrecken zurück als im Sommer.

Vor dem Hintergrund bisher publizierter Erkenntnisse zum Thema lässt sich das variable Raum-Zeit-Verhalten des Rehs primär als Folge saisonaler Unterschiede des Klimas und damit des Nahrungsangebots interpretieren. Auch menschliche Einflüsse oder die Anwesenheit von Prädatoren im Habitat werden als relevante Einflussfaktoren vermutet.

## Abstract

Concerning aspects of land use, roe deer (*Capreolus capreolus*) can be seen as one of the most important game species in Central Europe. Due to the fact that roe deer populations have strongly increased during the last century and combined with their typical feeding habit of browsing, the species has become a major factor in damaging commercial forestry. Most scientific studies about its behavior have largely focused on spatial patterns while the temporal activity has often been ignored. In any case information about both issues is essential for an effective management of the species in today's cultured landscape.

During an investigation conducted by the Leibniz Institute for Zoo and Wildlife Research (IZW) in the Southwest of Brandenburg, Germany, that took place from 2007 to 2012, ten roe deer (seven females and three males) were equipped with GPS collars. These collars contained accelerometers that allowed the monitoring of activity in a more continuous and precise way than other techniques used in former studies. Instead of purely differentiating between the active and inactive state the activity's intensity could be measured directly. Both spatial and activity data recorded were analyzed for daily patterns and seasonal changes.

The results indicate that the roe deer's daily behavior is characterized by alternating bouts of activity which reach their highest intensity at dusk and dawn. Compared to the other seasons the overall level of mean activity was decidedly reduced in winter. In the growing season the observed animals displayed an increased trend towards nocturnal activity and the number of daily activity peaks was higher than during the rest of the year. Further parameters which were calculated - the length of single activity peaks, DFC and HP (measures for synchronization between internal rhythms and the external 24 hour period) - did not show any significant seasonal differences. Although their mean monthly home range size and the distance moved in nine hour intervals did not change significantly in the course of the year, it indicates a higher mobility of females in winter than in summer.

The specie's fluctuating activity can be seen as an adaption to seasonal changes in climate, vegetation and food conditions typical for the biomes within its range. Furthermore, there is evidence that human activities as well as the existence of large predators in the roe deer's habitat are relevant in affecting their behavior.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>7</b>
1.1	Rehe in der Kulturlandschaft Mitteleuropas	8
1.2	Kenntnisstand zum Raum-Zeit-Verhalten des Rehs	10
1.3	Zielsetzung der Arbeit	12
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>14</b>
2.1	Untersuchungsgebiet	14
2.2	Versuchstiere	16
2.3	Telemetrietechnik	18
2.3.1	Anwendung von Telemetrie	18
2.3.2	VECTRONIC Senderhalsbänder	19
2.3.3	Einstellungen der Senderhalsbänder	20
2.4	Datenauswertung	21
2.4.1	Aktivitätsdaten	22
2.4.1.1	Mittlere Aktivität	22
2.4.1.2	Tag-Nacht-Verhältnis	23
2.4.1.3	Aktivitätsschübe	24
2.4.1.4	Rhythmikanalyse	25
2.4.2	Ortungsdaten	26
2.4.2.1	Größe der Streifgebiete	27
2.4.2.2	Wegstrecken zwischen den Ortungen	28
2.5	Statistische Datenanalyse	28
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>30</b>
3.1	Zeitlicher Verlauf verschiedener Parameter der Aktivität	30
3.1.1	Mittlere Aktivität im Tages- und Jahresverlauf	30
3.1.2	Tag-Nacht-Verhältnis im Jahresverlauf	35
3.1.3	Aktivitätsschübe im Jahresverlauf	35
3.1.4	Parameter der Rhythmikanalyse im Jahresverlauf	37
3.2	Zeitlicher Verlauf verschiedener Parameter der Raumnutzung	37
3.2.1	Größe der Streifgebiete im Jahresverlauf	37
3.2.2	Wegstrecken zwischen den Ortungen im Jahresverlauf	39

<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>41</b>
4.1	Zeitlicher Verlauf verschiedener Parameter der Aktivität.....	41
4.1.1	Mittlere Aktivität im Tages- und Jahresverlauf.....	41
4.1.2	Tag-Nacht-Verhältnis im Jahresverlauf.....	43
4.1.3	Aktivitätsschübe im Jahresverlauf .....	45
4.1.4	Parameter der Rhythmikanalyse im Jahresverlauf .....	46
4.2	Zeitlicher Verlauf verschiedener Parameter der Raumnutzung.....	48
4.2.1	Größe der Streifgebiete im Jahresverlauf.....	48
4.2.2	Wegstrecken zwischen den Ortungen im Jahresverlauf.....	51
4.3	Verhalten des Rehs unter dem Einfluss des Wolfs .....	52
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen .....</b>	<b>54</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>55</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>66</b>
	<b>Danksagung .....</b>	<b>67</b>
	<b>Eigenständigkeitserklärung .....</b>	<b>68</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Klimadiagramm der Klimareferenzstation Potsdam. ....	15
Abbildung 2: Fang und Besenderung der Versuchstiere.....	17
Abbildung 3: Eingesetzte Telemetrietechnik .....	20
Abbildung 4: Exemplarische Aktogramme eines männlichen und eines weiblichen Rehs in Doppelplotdarstellung.....	31
Abbildung 5: Aktivität im Tagesverlauf nach Jahreszeiten .....	32
Abbildung 6: Mittlere tägliche Aktivität aller Rehe im Jahresverlauf .....	34
Abbildung 7: Tag-Nacht-Verhältnis aller Rehe im Jahresverlauf. ....	34
Abbildung 8: Mittlere Dauer einzelner Aktivitätsschübe und mittlere Anzahl der täglichen Aktivitätsschübe aller Rehe im Jahresverlauf.....	36
Abbildung 9: Leistungskopplungsgrade und Harmonische Anteile aller Rehe im Jahresverlauf.....	36
Abbildung 10: Streifgebietsgrößen der Rehe W1, W5, W7 und M1 in den Monaten Januar und Juli .....	38
Abbildung 11: Mittlere Größe der monatlichen Streifgebiete und mittlere Wegstrecken zwischen den 9h-Ortungen der weiblichen Rehe im Jahresverlauf.....	40

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kenndaten der untersuchten Rehe. ....	16
Tabelle 2: Phänologische Jahreszeiten des Untersuchungsgebiets.....	22

## **Verwendete Abkürzungen**

DGPS: Differential Global Positioning System

ETRS 89: Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989

FDR: False Discovery Rate

GIS: Geografisches Informationssystem

GPS: Global Positioning System

HA: Harmonischer Anteil (engl. HP: Harmonic Part)

LGB: Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg

LKG: Leistungsbezogener Kopplungsgrad (engl. DFC: Degree of Functional Coupling)

LUGV: Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg

MCP: Minimum Convex Polygon

MEZ: Mitteleuropäische Zeit (entspricht UTC+1)

NAVSTAR: Navigational Satellite Timing and Ranging

NMM: Nonparametric Marginal Model

TK 25: Topografische Karte im Maßstab 1:25000

UTC: Universal Time Coordinated

UTM: Universal Transverse Mercator

## **Verwendete jagdliche Ausdrücke**

Äsung: Nahrung des Schalenwilds (Ausnahme: Wildschwein)

Brunft (-zeit): Paarungszeit des Schalenwilds (Ausnahme: Wildschwein)

(Reh-) Bock: Männliches Reh

Jährling: Männliches Reh im zweiten Lebensjahr

(Reh-) Kitz: Reh im ersten Lebensjahr (nach Geschlecht auch Bock-/Rickenkitz genannt)

Ricke: Weibliches Reh

Schalenwild: Ordnung der Paarhufer

Setzzeit: Zeit, in der Jungtiere des Schalenwilds geboren werden (Ausnahme: Wildschwein)

Schmalreh: Weibliches Reh im zweiten Lebensjahr

Schonzeit: Zeit des Jahres, in der die Jagd verboten ist

(nach FREVERT 1992, Definitionen teils nicht vollständig)

## 1 Einleitung

Wie zahlreiche Beispiele zeigen, kann die zeitliche Struktur von Verhaltensweisen als eine der wichtigsten Formen der Anpassung von Arten an ihre Umwelt gelten (REMMERT 1969, ROENNEBERG 1993) und ist somit von entscheidender Bedeutung für ihr Überleben (COURSEY 2004, KAPPELER 2012). Wesentliche Umweltbedingungen unterliegen häufig periodischen Schwankungen und wirken sich auf die Aktivitätsmuster von Tieren aus (ASCHOFF 1958, ENRIGHT 1970): Circadiane Rhythmen mit einer Periodenlänge von etwa 24 Stunden sind mit dem wichtigsten Zeitgeber der Natur, dem Wechsel von Hell- und Dunkelphasen im Verlauf des Tages, synchronisiert (DAAN & ASCHOFF 1975, ASCHOFF 1989). Circaannuale Rhythmen hängen mit dem Wechsel der Jahreszeiten zusammen, der regelmäßige Veränderungen des Klimas, der Vegetation und somit der Verfügbarkeit von Nahrungsressourcen bewirkt (KAPPELER 2012). Im Gegensatz dazu sind ultradiane Aktivitätszyklen, die sich im Abstand von weniger als 24 Stunden wiederholen, in der Regel auf rein physiologische Prozesse zurückzuführen (ASCHOFF & GERKEMA 1985, SCHEIBE et al. 2001). Für Arten der Ruminantia wie das Europäische Reh (*Capreolus capreolus*) sind sie aufgrund ihres regelmäßigen Wechsels von Fress- und Wiederkäuphasen besonders charakteristisch (TURNER 1979, SCHEIBE et al. 1999).

Neben natürlichen Vorgängen kann das Verhalten von Tieren auch durch anthropogene Einflüsse verändert werden (GUTHÖRL 1994, HERBOLD 1995, BÜKER et al. 1999, PETRAK 1999, BENHAIEM et al. 2008). Störungen aller Art wirken sich vor allem auf ultradiane Aktivitätsrhythmen aus (KURT 1991, BERGER et al. 2003). Die Regelmäßigkeit des Tagesablaufs und die Synchronisation des Verhaltens mit periodischen Umweltfaktoren werden allgemein als ein Merkmal stressfreier Lebensbedingungen interpretiert (SCHEIBE et al. 1999, SCHEIBE et al. 2001, BERGER et al. 2003). Insofern ist die Untersuchung der Aktivitätsmuster von Wildtieren nicht nur von hoher Bedeutung, um Erkenntnisse zu grundlegenden Aspekten ihrer Ökologie zu gewinnen (KROP-BENESCH et al. 2013), sondern auch, um die Effekte von Störungen auf ihre Lebensweise zu analysieren. In der Kulturlandschaft Mitteleuropas ist dies unter anderem relevant, da die Auswirkungen vieler menschlicher Aktivitäten im Verdacht stehen, bestehende Mensch-Wildtier-Konflikte zu verschärfen (KURT 1991, HERBOLD 1995, REIMOSER & GOSSOW 1996, BÜKER et al. 1999, STUBBE 2008).

## 1.1 Rehe in der Kulturlandschaft Mitteleuropas

In Mitteleuropa ist das Reh mit wenigen Ausnahmen flächendeckend verbreitet, kommt in relativ hohen Populationsdichten vor und kann aufgrund seiner Anpassungsfähigkeit als Kulturfollower angesehen werden (LINDROTH 2005). Es ist auf vielfältige Weise bedeutsam auf ökonomischer, ökologischer und kultureller Ebene (CEDERLUND et al. 1998) und wird häufig als „das Wildtier schlechthin“ mit der mitteleuropäischen Kulturlandschaft assoziiert (REICHHOLF 1993).

Das Reh ist eine im Verlauf der Evolution früh entstandene Art innerhalb der Ruminantia (HOFMANN 1978, FREY et al. 2010) und gehört bezüglich seiner Ernährungsweise zu den sogenannten Konzentratselektierern (HOFMANN 1989, TIXIER & DUNCAN 1996). Wie auch viele andere größere Herbivoren haben Rehe einen sehr spezifischen Einfluss auf die Vegetation ihres Lebensraums (KLÖTZLI 1965, PETRAK 1993, SCHERZINGER 1996, FISCHER 1999). Hervorzuheben sind hier vor allem der Verbiss an jungen Gehölzen und die sich daraus ergebenden Auswirkungen auf die Forstwirtschaft (CEDERLUND et al. 1998, PRIEN & MÜLLER 2010). Wildschäden allgemein, zu denen auch der Verbiss zählt, sind die wesentliche Ursache für Spannungen zwischen Forstwirtschaft und Jagd, die oft unter dem Begriff „Wald-Wild-Konflikt“ zusammengefasst werden (AMMER et al. 2010) und die das Verhältnis zwischen beiden Formen der Landnutzung historisch prägen (KLÖTZLI 1965, HASEL & SCHWARTZ 2002). Obwohl über das Ausmaß von Wildschäden und die Methoden zu dessen Bewertung sehr unterschiedliche Ansichten bestehen (REIMOSER & GOSSOW 1996, PARTL et al. 2002, KRAMER et al. 2006, AMMER et al. 2010), gilt es heute in der Regel als unstrittig, dass waldbauliche Ziele durch hohe Schalenwildbestände deutlich beeinträchtigt werden können (ROTH 1996, PRIEN & MÜLLER 2010). Gebietsweise kann sich etwa die aus Kostengründen und zur optimalen Nutzung des standörtlichen Potenzials angestrebte Nutzung von Naturverjüngung statt Pflanzung als nicht praktikabel erweisen (SUCHANT & ROTH 1996). Vor allem das Reh entwickelte sich durch den kontinuierlichen Anstieg der Populationen seit Ende des 19. Jahrhunderts (HOLAND et al. 1998, LINDROTH 2005) aus Sicht der Forstwirtschaft vielerorts zur „Problemart“ (KURT 1991).

Aktuell sind Wildschäden insbesondere im Kontext des Klimawandels und der naturnahen Waldwirtschaft von Bedeutung. Aktuelle Prognosen gehen davon aus, dass das Nordostdeutsche Tiefland zu den Regionen in Deutschland zählt, auf die sich der Klimawandel besonders

stark auswirken wird (SPATHELF et al. 2009): Eine im Jahresdurchschnitt steigende Lufttemperatur bei gleichzeitig abnehmender Niederschlagsmenge ist dort eine seit Jahren zu beobachtende Entwicklung (JENSSEN 2009). In den betroffenen Bundesländern wie Brandenburg gilt es daher als dringliche Aufgabe der Forstwirtschaft, Anpassungen der Waldnutzung an den Klimawandel vorzunehmen (JENSSEN & HOFMANN 2005, GILSA 2008) und gleichzeitig naturschutzfachlichen Anforderungen an die Bewirtschaftung von Waldökosystemen gerecht zu werden (SCHERZINGER 1996, REIF et al. 2001, SCHÄFER et al. 2006). Der dafür erforderliche Waldumbau mit dem Ziel, Wirtschaftswälder in ihrer heutigen Form in artenreiche Waldtypen mit hohen Anteilen von Laubbäumen zu überführen (KÖLLING & ZIMMERMANN 2007, KOHNLE et al. 2008, JENSSEN 2009), wird häufig durch starken Verbiss erschwert (NESSING & ZERBE 2002, AMMER et al. 2010, HEINZE et al. 2011).

Ein weiterer Aspekt der bestehenden Konflikte zwischen Menschen und Wildtieren sind Wildunfälle im Straßenverkehr, die in dicht besiedelten Räumen wie Mitteleuropa besonders relevant sind (GROOT BRUINDERINK & HAZEBROEK 1996, PUTMAN 1997). Auch hier spielen Rehe eine herausragende Rolle (MADSEN et al. 2002): In Brandenburg sind im Durchschnitt der letzten Jahre knapp 70 % der bei Verkehrsunfällen getöteten Tiere (bezogen auf Arten des Schalenwilds) Rehe (DOBIÁŠ & SEWERON 2011).

Es besteht die Ansicht, dass es unter anderem durch ihr komplexes Raum-Zeit-Verhalten bisher kaum gelungen ist, ein effektives Regulationsmodell für Rehe zu entwickeln (REICHHOLF 1993, SCHERZINGER 1996) - obwohl dies in den genannten Zusammenhängen oft gefordert wird. Gleichzeitig tritt heute die anthropogene Komponente in den geschilderten Mensch-Wildtier-Konflikten immer deutlicher hervor: Hohe Rehwildbestände sowie Wildschäden sind nicht zuletzt auf vielfältige Veränderungen des Ökosystems durch den Menschen zurückzuführen (REICHHOLF 1993, SCHERZINGER 1996, HOLTMEIER 2002) und werden durch bestimmte Formen der Landnutzung weiterhin begünstigt (REIMOSER & GOSSOW 1996, KRAMER et al. 2006, STUBBE 2008). Ähnliches gilt für Wildunfälle: Ihr Ausmaß hängt wesentlich mit der Lage sowie dem Verlauf von Verkehrswegen zusammen und ist somit abhängig von Aspekten der Landschaftsplanung (FORMAN & ALEXANDER 1998). Auch die Störung natürlicher Verhaltensweisen von Wildtieren durch allgegenwärtige anthropogene Aktivitäten wird zunehmend als Teil der Probleme erkannt (KURT 1991, GUTHÖRL 1994, PETRAK 1999, WIESMAYR et al. 2005). Erkenntnisse zum räumlichen und zeitlichen Verhalten des Rehs und anderer Wild-

tierarten sind daher unerlässlich für ihr effektives Management und können zur Lösung von Mensch-Wildtier-Konflikten beitragen (CEDERLUND 1983, LANGBEIN et al. 1998, PEGEL & THOR 2000, SCHEIBE & EICHHORN 2001).

## **1.2 Kenntnisstand zum Raum-Zeit-Verhalten des Rehs**

Das Reh gehört zu den am intensivsten erforschten Säugetierarten weltweit (KURT 1991, LIBERG et al. 1998, PEGEL & THOR 2000). Auch sein räumliches und zeitliches Verhalten wurde bereits mit unterschiedlichen Methoden und vor dem Hintergrund verschiedener Fragestellungen untersucht. Eine große Anzahl von Studien befasste sich mit der Raumnutzung der Art, etwa mit der Ermittlung von Streifgebietsgrößen oder der Abundanz (CEDERLUND 1983, KJELLANDER et al. 2004, PELLERIN et al. 2008), von Habitatpräferenzen (FRUZINSKI et al. 1983, TUFTO et al. 1996, HEINZE et al. 2011) oder des Migrationsverhaltens in Abhängigkeit von bestimmten Umweltfaktoren (MÜRI 1999, CAGNACCI et al. 2011). Wie auch im Falle anderer Wildtierarten (z.B. Mufflon, *Ovis ammon musimon*, LANGBEIN et al. 1998) war das zeitliche Verhalten von Rehen, insbesondere die Aktivität zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten, dagegen deutlich seltener Gegenstand von wissenschaftlichen Untersuchungen. Mögliche Ursachen dafür sind, dass sich Aktivität einerseits auf unterschiedliche Weise definieren bzw. messen lässt (ASCHOFF 1962) und andererseits die Erfassung der Aktivität von freilebenden Tieren lange Zeit mit technischen Schwierigkeiten verbunden war (KROP-BENESCH et al. 2013). Bis vor wenigen Jahrzehnten wurden die meisten Daten dazu noch durch direkte Sichtbeobachtung gewonnen: KLÖTZLI (1965) erwähnt in einer älteren Arbeit zur Ernährung von Rehen bereits tages- und jahreszeitlich variierende „Äsungszyklen“ und dazwischen liegende Ruhephasen. Weitere auf diese Art durchgeführte Studien beschäftigten sich mit Aktivitätsmustern der Tierart und stellten dabei Zusammenhänge mit ihrer Ernährung und weiteren Einflussfaktoren her (TURNER 1978, 1979, 1980, BÄRTSCHI 1983). Auch ELLENBERG (1978), der über mehrere Jahre eine in Gefangenschaft gehaltene Rehpopulation beobachtete, ging auf die Aktivität in Abhängigkeit der Tages- und Jahreszeit ein.

Neben der Beobachtung wird seit mehreren Jahrzehnten auch Radiotelemetrie genutzt, um das Verhalten von Wildtieren zu untersuchen (BERG & HAUSER 1976, HARRIS et al. 1990, SCHEIBE et al. 1998). Telemetrie ist hierfür besonders geeignet, da die Datenaufnahme über lange

Zeiträume und in kurzen, gleichmäßigen Zeitintervallen erfolgen kann und gleichzeitig die Beeinflussung des Verhaltens durch die Datenaufnahme vergleichsweise gering ist (LANGBEIN et al. 1998). Ihr Einsatz eignet sich darüber hinaus auch für Arten, deren Sichtbarkeit aufgrund verschiedener Faktoren stark eingeschränkt ist und die sich mit auf Beobachtung basierenden Feldstudien nur schwer untersuchen lassen - was trotz seiner weiten Verbreitung und gebietsweise sehr hohen Abundanz auch auf das Reh zutrifft (BERG & HAUSER 1976, FRUZINSKI et al. 1983, PEGEL & THOR 2000). Auf Radiotelemetrie basierende Studien zur Aktivität des Rehs, bei denen durch die Variation der Peilsignale zwischen Aktivitäts- und Ruhephasen unterschieden wurde, führten beispielsweise BERG (1978), CEDERLUND (1981), JEPPESEN (1989) und GUTHÖRL (1994). SCHEIBE et al. (1998) entwickelten ein Speicher-Telemetriesystem, das diese Unterscheidung mit Hilfe von Beschleunigungssensoren ermöglichte und wendeten dieses unter anderem bei Rehen an (SCHEIBE et al. 1999).

Auch die Satellitentelemetrie findet seit der Etablierung von GPS (Global Positioning System) im zivilen Bereich seit Beginn dieses Jahrhunderts (MANSFELD 2004) zunehmend Anwendung in der Verhaltensforschung. Neuere Typen von GPS-Halsbändern messen die auf sie einwirkende Beschleunigung über integrierte Sensoren und erlauben eine genauere und kontinuierlichere Erfassung der Aktivität von Wildtieren als die früher weit verbreitete Radiotelemetrie (LÖTTKER et al. 2009). Damit ist es nicht nur möglich, zwischen aktivem und inaktivem Zustand von Tieren zu unterscheiden, sondern auch, die Intensität ihrer Aktivität zu messen und mit einem relativen Wert zu quantifizieren (KROP-BENESCH et al. 2011). Darüber hinaus wird die Qualität der Daten nicht von den Fehlerquellen der Radiotelemetrie (etwa die Missweisung der Empfangsantenne oder Ungenauigkeiten bei der Kreuzpeilung) beeinträchtigt (SCHÖBER 1986) (zu einigen Nachteilen der Satellitentelemetrie s. Abschnitt 2.3.1). Da es sich bei der Aktivitätsmessung mit Beschleunigungssensoren in der Wildtierforschung um eine relativ neue Technik handelt, die bis heute eher selten Anwendung findet, wurde sie auch bei Rehen bislang kaum eingesetzt (KROP-BENESCH et al. 2013).

Zusammenfassend zeigen die erwähnten Arbeiten zum Aktivitätsverhalten von Rehen, dass diese über den Tag verteilt einen regelmäßigen Wechsel von Phasen hoher und niedriger Aktivität aufweisen. Dieser Rhythmus steht in Zusammenhang mit der Ernährungsweise von Wiederkäuern (HOFMANN 1989, SCHEIBE et al. 1999). Eine besonders hohe Aktivität liegt immer zu den Dämmerungsphasen vor, was schon bei anderen Arten der Cervidae wie Rothirsch,

*Cervus elaphus* (GEORGII & SCHRÖDER 1983, BERGER et al. 2002), Elch, *Alces alces* (CEDERLUND 1989), oder Weißwedelhirsch, *Odocoileus virginianus* (BEIER & McCULLOUGH 1990), festgestellt werden konnte. Dass einige physiologische und verhaltensbezogene Parameter deutliche jahreszeitliche Unterschiede aufweisen, wurde ebenfalls mehrfach gezeigt: Im Jahresverlauf verändern sich etwa die Nahrungswahl (KLÖTZLI 1965, DUNCAN et al. 1998), die Stoffwechselrate und die Struktur der Verdauungsorgane (HOFMANN 1978) sowie die Streifgebietsgröße und das Ausmaß der Fortbewegung (GUTHÖRL 1994, PEGEL & THOR 2000). Auch verschiedene Messgrößen der Aktivität weisen einen ausgeprägten Jahresgang auf: Dazu gehören der Anteil aktiver Zeit an der Tageslänge (CEDERLUND 1981, JEPPESEN 1989), die Anzahl von Aktivitätsschüben pro Tag (BERG 1978, ELLENBERG 1978, CEDERLUND 1981, JEPPESEN 1989), der Anteil nächtlicher Aktivität (ELLENBERG 1978, CEDERLUND 1981, GUTHÖRL 1994) und die Synchronisation der Aktivität mit den Dämmerungsphasen oder zwischen Tieren einer Population (ELLENBERG 1978, JEPPESEN 1989).

### **1.3 Zielsetzung der Arbeit**

Von 2007 bis 2012 wurden im Rahmen eines Forschungsprojekts des Leibniz-Instituts für Zoo- und Wildtierforschung (IZW) mit modernen Telemetriesystemen Aktivitäts- und Ortungsdaten von zehn freilebenden Rehen (sieben weibliche, drei männliche) im Naturpark Hoher Fläming gesammelt. Mit den eingesetzten Halsbändern erfolgte die Ortung der Tiere über GPS und ihre Aktivität wurde konstant von integrierten Beschleunigungssensoren gemessen. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, anhand dieser Daten die zeitlichen und räumlichen Aktivitätsmuster der besenderten Rehe näher zu untersuchen. Da die Intensität der Aktivität erfasst und nicht einfach nur - wie bei den meisten früheren Untersuchungen - zwischen aktiv und inaktiv differenziert wurde, war es auch von Interesse, welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Vergleich zu diesen Arbeiten bestanden. Deren Ergebnisse sollten also vor dem Hintergrund der heute verfügbaren technischen Möglichkeiten kritisch hinterfragt werden.

Es sollte zudem überprüft werden, inwiefern die im Jahresverlauf variierende Aktivität mit saisonalen Veränderungen des Habitats und somit des Nahrungsangebots zusammenhängt. Mehrere Autoren sehen in der Qualität und Quantität der Nahrung die primären Einflussgrößen, die die Aktivität von Rehen über das Jahr hinweg steuern (JEPPESEN 1989, KURT 1991),

noch vor Aspekten des Sozialverhaltens (CEDERLUND 1981) oder klimatischen Faktoren (TURNER 1980). Darauf bezogen wurde die Hypothese aufgestellt, dass in der Vegetationsperiode - in der auch die meisten mit der Reproduktion verbundenen Verhaltensweisen stattfinden (LIBERG et al. 1998, SEMPÉRÉ et al. 1998) - eine verstärkte Aktivität mit häufigeren Aktivitätsschüben auftritt als während der Vegetationsruhe. Auch Parameter der Raumnutzung, die mit der lokomotorischen Aktivität der Tiere zusammenhängen - wie etwa die Streifgebietsgröße oder die in einer bestimmten Zeit zurückgelegte Distanz - sollten sich demnach klar zwischen den Vegetationsphasen unterscheiden. KROP-BENESCH et al. (2013) untersuchten die Aktivitätsdaten von Rehen im Nationalpark Bayerischer Wald bereits mit derselben Technik und ähnlichen Fragestellungen.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet hat eine Größe von etwa 2.000 ha und befindet sich im Südwesten des Bundeslandes Brandenburg (Landkreis Potsdam-Mittelmark), etwa 10 km nordwestlich der Stadt Bad Belzig. Die Begrenzung bilden die Dörfer Groß Briesen im Norden, Verlorenwasser im Süden und Gräben im Westen. Es ist Teil des 1997 eingerichteten und über 80.000 ha großen Naturparks Hoher Fläming (UNSELT et al. 2006).

Der Fläming ist eine in der Saale-Kaltzeit entstandene Hochfläche des Nordostdeutschen Altmoränenlandes und wird im Norden durch das Baruther und im Süden durch das Magdeburger Urstromtal abgegrenzt (SCHOLZ 1962, NITZ 1991). Die höchste Erhebung stellt mit 201 m über dem Meeresspiegel der Hagelberg dar, während im Untersuchungsgebiet am Nordrand des Flämings Höhen zwischen 60 und 100 m vorherrschen. Dem geomorphologischen Aufbau entsprechend dominieren sandige Bodentypen mit geringer Wasserspeicherkapazität (SCHOLZ 1962, NITZ 1991, ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG 2005).

Großräumig betrachtet liegt der Fläming in einem Übergangsbereich zwischen ozeanischem und kontinentalem Klima (SCHOLZ 1962), wobei das Untersuchungsgebiet aufgrund seiner Randlage zur Hochfläche eher eine Tendenz zum Kontinentalklima aufweist (ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG 2005, UNSELT et al. 2006). Abbildung 1 zeigt die wichtigsten Kennwerte von Lufttemperatur und Niederschlag im Jahresverlauf für die nächstgelegene Klimareferenzstation Potsdam. Das Gebiet ist nach der Gliederung der Waldökologischen Naturräume Deutschlands durch eine negative klimatische Wasserbilanz im Jahresmittel charakterisiert (-58 mm, Wuchsbezirk „Möckern-Ziesarsche Platte“, ermittelt nach Freilandmessungen der Klimanormalperiode 1961-1990) (WOLFF et al. 2003).

Die dominierende Landnutzungsform des Naturparks Hoher Fläming ist die Forstwirtschaft. Die Waldfläche ist heute zu knapp 75 % in Privateigentum und setzt sich zu über 80 % aus wenigen Nadelbaumarten zusammen, unter denen die Kiefer (*Pinus sylvestris*) in Form von Reinbeständen den höchsten Anteil einnimmt (ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG 2005, UNSELT et al. 2006). Als potenzielle natürliche Vegetation werden für die meisten im Naturpark vorhandenen Standorte dagegen unterschiedliche Typen von Laubwäldern genannt (UNSELT et al. 2006). Geringere Anteile nimmt im Untersuchungsgebiet die landwirtschaftli-

che Nutzung mit Acker- und Grünlandflächen ein. Drei kleine Teilbereiche sind zudem als Naturschutzgebiete ausgewiesen (1. Bullenberger Bach/Klein Briesener Bach, 2. Verlorenwasserbach Oberlauf, 3. Werbiger Heide), die sich durch besondere Vegetationsformen und Biotoptypen wie Zwergstrauchheiden oder in der Region eher seltene Fließgewässer auszeichnen (NITZ 1991, UNSELT et al. 2006).

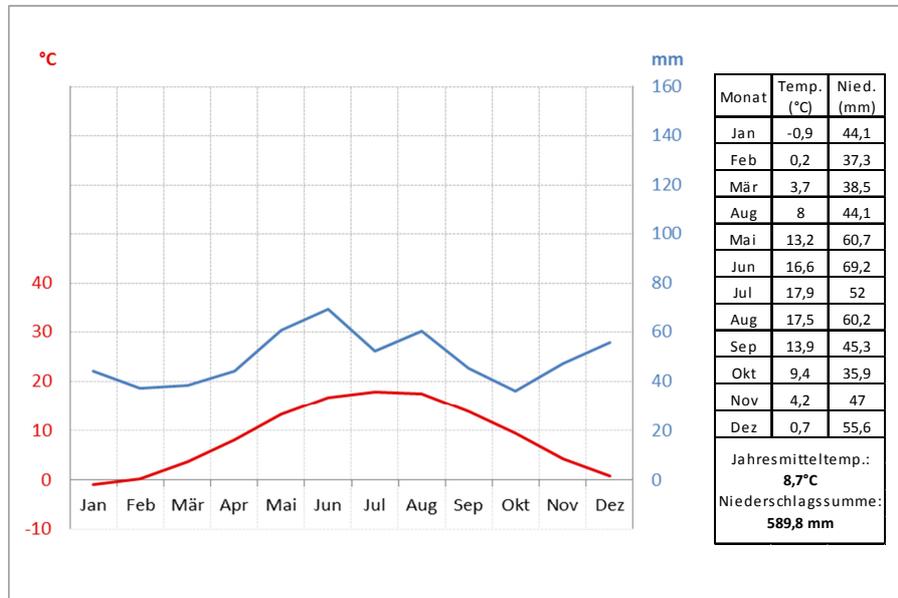


Abbildung 1: Klimadiagramm der Klimareferenzstation Potsdam (52°23' N 13°03' O, 81 m ü NN). Ermittelt nach Daten der Klimanormalperiode 1961-1990. Die Tabelle rechts enthält die Mittelwerte der Temperatur (in 2 m Höhe über dem Erdboden gemessen) und die mittleren Summen der Niederschlagshöhe getrennt nach Monaten und für das ganze Jahr. Datenquelle: Deutscher Wetterdienst (<www.dwd.de>, 06.02.2013).

An Schalenwildarten kommen im Gebiet neben dem Reh vor allem Damhirsch (*Dama dama*) und Wildschwein (*Sus scrofa*) vor (WIESMAYR et al. 2005). Aufgrund des Ausmaßes an auftretenden Wildschäden (für eine detaillierte Übersicht s. DOBIÁŠ & SEWERON 2011) werden ihre derzeitigen Bestände aus Sicht der Land- und Forstwirtschaft insgesamt als „zu hoch“ angesehen (UNSELT et al. 2006). In Brandenburg gelten für Rehwild die in der Verordnung über die Jagdzeiten nach §22 Abs.1 des Bundesjagdgesetzes (BJagdG) festgelegten Jagd- und Schonzeiten. Gejagt werden dürfen Rehe demnach in folgenden Zeiträumen:

- Kitze: 1. September - 28. Februar
- Schmalrehe: 1. Mai - 31. Januar
- Ricken: 1. September - 31. Januar
- Böcke: 1. Mai - 15. Oktober

## 2.2 Versuchstiere

In der vorliegenden Arbeit wurden Ortungs- und Aktivitätsdaten von insgesamt zehn Rehen ausgewertet, die zwischen 2007 und 2011 gefangen und besendert wurden. Die Datenaufnahme erfolgte dabei aufgrund verschiedener Ursachen über unterschiedlich lange Zeiträume, in der Regel aber bis zum Ausfall der Batterien (Tabelle 1).

Tabelle 1: Kenndaten der untersuchten Rehe.

Tier	Geschlecht	Datenaufnahme Ortung	Datenaufnahme Aktivität	Bemerkungen
W1	♀	14.02.2008 - 15.07.2009 (517 Tage)	14.02.2008 - 27.04.2009 (438 Tage)	-
W2	♀	06.01.2010 - 02.03.2010 (55 Tage)	06.01.2010 - 28.02.2010 (53 Tage)	Tod am 28.02.2010
W3	♀	07.01.2010 - 17.06.2010 (162 Tage)	06.01.2010 - 17.06.2010 (162 Tage)	-
W4	♀	13.01.2011 - 29.09.2011 (259 Tage)	nicht relevant	fehlerhafte Aktivitätsdaten
W5	♀	13.01.2011 - 19.03.2012 (431 Tage)	13.01.2011 - 07.03.2012 (419 Tage)	Kitz von W4
W6	♀	13.01.2011 - 29.09.2011 (259 Tage)	13.01.2011 - 29.09.2011 (259 Tage)	Kitz von W4
W7	♀	22.01.2011 - 03.04.2012 (437 Tage)	22.01.2011 - 16.03.2012 (419 Tage)	-
M1	♂	06.09.2007 - 30.05.2008 (267 Tage)	05.09.2007 - 30.05.2008 (268 Tage)	Tod am 30.05.2008
M2	♂	17.02.2009 - 27.05.2010 (464 Tage)	17.02.2009 - 16.04.2010 (423 Tage)	-
M3	♂	20.01.2010 - 11.06.2010 (142 Tage)	20.01.2010 - 11.06.2010 (142 Tage)	Tod am 11.06.2010

Um die Rehe mit Senderhalsbändern versehen zu können, wurde ein von BIANCHI et al. (1998) beschriebenes Fallenmodell genutzt. Diese Lebendfallen haben eine Grundfläche von ca. 4 x 6 m, die von 3,5 m hohen Wänden aus Holzbrettern umgeben ist (Abbildung 2). Sie verfügen über jeweils zwei Falltüren, die sich mit einer elektronischen Fernsteuerung schließen lassen. Zum genutzten Fallensystem gehört daneben auch eine batteriebetriebene Videokamera, die bei Dunkelheit automatisch im Infrarotspektrum aufzeichnet, samt Aufnahmegerät und einem Bewegungssensor (für technische Details s. SCHEIBE et al. 2003). Die Kamera wird mit einer Verzögerung von wenigen Sekunden eingeschaltet, sobald der Sensor Bewegungen im Bildbereich wahrnimmt. Wird keine Aktivität mehr registriert - etwa wenn ein Tier die Falle über geöffnete Falltüren wieder verlässt - endet die Videoaufzeichnung. Die untersuchten Rehe wurden alle in drei von insgesamt fünf aktiven Fallen gefangen.

Um die zu fangenden Rehe in die Fallen zu locken, zu gewöhnen und darin vor dem Auslösen eine möglichst lange Aufenthaltszeit zu erreichen, kamen unterschiedliche Mittel zum Einsatz: Ursprünglich wurden in der Fangzeit regelmäßig Äpfel und Mais auf dem Boden der Fallen ausgebracht - was sich als ungünstig erwies, da Vögel oder auch Wildschweine das Lockfutter schon gefressen hatten, bevor Rehe überhaupt in die Falle kamen. Ab 2009 wurden stattdessen Futterautomaten installiert, die eine automatische und langfristige Dosierung von Mais in sehr kleinen Mengen ermöglichten. Zusätzlich war in jeder Falle eine Salzlecke angebracht.

Die für jeden Fang notwendigen längeren Aufenthalte in Fallennähe wurden mittels einer mobilen Feldstation in Form eines mit Telemetrie- und Videotechnik ausgestatteten LKW (Marke MAN) realisiert. Dieser wurde für jeden Fang in etwa 200 m Entfernung zu einer Falle abgestellt. Bis zu drei Aufzeichnungen von Videokameras einzelner Fallen wurden drahtgebunden zu einem Monitor in der Feldstation übertragen und konnten dort somit beobachtet werden. Durch diese Fernüberwachung der Fallen war es ohne Störung der Tiere möglich, sie immer nur dann auszulösen, wenn sich ein Reh in ihrem Inneren befand (SCHEIBE et al. 2003).



Abbildung 2: Fang und Besenderung der Versuchstiere. Eine der eingesetzten Lebendfallen (links). Das Reh W1 nach dem Anlegen eines Senderhalsbands (rechts). Fotos: IZW Berlin.

Nach erfolgreichem Fang wurden die Rehe in der Regel mit Hilfe eines Blasrohrs immobilisiert (verwendetes Narkosemittel: Hellabrunner Mischung) und mit einem Senderhalsband ausgestattet (Abbildung 2). Ein einzelnes Tier konnte von Hand eingefangen werden und benötigte keine Betäubung. Alle Tiere befanden sich zum Zeitpunkt des Fangs in einem gesunden körperlichen Zustand und wurden - nach Verabreichung eines Antidots und sobald ihnen das sichere Laufen wieder möglich war - unmittelbar in die Freiheit entlassen.

Die gesamte Untersuchung, in deren Rahmen auch die Daten für die vorliegende Arbeit gewonnen wurden, war durch das Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg (LUGV) als Tierversuch genehmigt (Kennzeichen 23-2347, Kurztitel: „Populationsdynamik Reh“).

## **2.3 Telemetrietechnik**

Das Verhalten aller zehn in der vorliegenden Arbeit betrachteten Rehe wurde mit Hilfe eines satellitengestützten Telemetriesystems untersucht. Einzelheiten zur Methode, der eingesetzten Technik und den vorgenommenen Einstellungen der Systemkomponenten werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

### **2.3.1 Anwendung von Telemetrie**

Unter Telemetrie versteht man die Fernübertragung von Messwerten auf einen Empfänger durch die Nutzung verschiedener Übertragungstechniken (SCHEIBE & EICHHORN 2001). Nach ihrem ersten Einsatz zur Gewinnung und Übertragung biologischer Messgrößen von Tieren (Biotelemetrie) in den 1960er Jahren (BERG & HAUSER 1976, HARRIS et al. 1990) wurde sie kontinuierlich weiterentwickelt und hat sich als unverzichtbare Methode in der heutigen wildtierökologischen Forschung etabliert. Während zur Gewinnung von Positionsdaten freilebender Tiere lange Zeit überwiegend mit terrestrischen Techniken der Radiotelemetrie (Ortung und Datenübertragung durch Funk) gearbeitet wurde (BERG & HAUSER 1976, SCHEIBE et al. 1998), kommt inzwischen vor allem das ursprünglich für militärische Zwecke in den USA entwickelte und seit 1992 betriebene GPS zum Einsatz (MANSFELD 2004). Die Positionsbestimmung beruht dabei vereinfacht ausgedrückt auf der Messung von Entfernungen zwischen mehreren Satelliten des Satellitensystems NAVSTAR (Navigation System with Time and Ranging) und dem ortenden Empfänger (für eine ausführliche Beschreibung des Funktionsprinzips s. MANSFELD 2004).

Der Einsatz von GPS in der Biotelemetrie erlaubt die Ortung von besenderten Tieren mit deutlich geringerem Zeit- und Personalaufwand als bei radiotelemetrischen Methoden. Durch technische Weiterentwicklungen konnten anfangs oft beschriebene Probleme - wie das hohe Gewicht der am Tier anzubringenden Sendereinheiten und die kurze Laufzeit der

verwendbaren Batterien - in Grenzen behoben werden (SCHEIBE & EICHHORN 2001). Auch die absichtlich reduzierte Genauigkeit von GPS für die zivile Nutzung ist seit dem Jahr 2000 nicht mehr wirksam (MANSFELD 2004). Als relevanter Störfaktor gilt jedoch nach wie vor die Reflexion von Ortungssignalen an Objekten auf der Erdoberfläche (z.B. Gebäude, Vegetation), die zu erheblichen Positionsfehlern führen kann (MANSFELD 2004). Ohne die Nutzung von Korrektursignalen im sogenannten DGPS (Differential Global Positioning System) werden unter störungsarmen Bedingungen durchschnittliche Positionsfehler zwischen etwa 2 und 25 m genannt (MANSFELD 2004).

Bei der Anwendung telemetrischer Methoden stehen heute zahlreiche technische Möglichkeiten zur Verfügung, die neben der reinen Positionsbestimmung auch die Erfassung weiterer Messgrößen erlauben. Ein Beispiel ist etwa die Messung der Aktivität, die auch in der vorliegenden Untersuchung genutzt wurde und im Folgenden näher beschrieben wird.

### **2.3.2 VECTRONIC Senderhalsbänder**

Telemetriesender sollten bezüglich Abmessungen, Gewicht und Art der Anbringung an die Körpergröße und -proportionen sowie die Lebensweise der zu untersuchenden Tiere angepasst werden (BERG & HAUSER 1976). Für alle neun gefangenen Tiere wurde derselbe Sendertyp in Form eines Halsbands der Firma VECTRONIC Aerospace GmbH (Berlin) eingesetzt. Ein solches Halsband der Serie GPS PLUS besteht aus einem Kunststoffriemen, an dem auf der Oberseite eine Einheit aus GPS-Empfänger, Lagesensor, Speichermedium und Funksender sowie auf der Unterseite ein Batterieelement zur Stromversorgung befestigt sind (Abbildung 3). Eine Ummantelung aus Kunststoff schützt die elektronischen Bestandteile vor Feuchtigkeit und mechanischen Einflüssen. Insgesamt beträgt das Gewicht eines Halsbands 450 g. Zum System gehören daneben auch ein tragbares Gerät zur Datenübertragung per Funk (GPS PLUS Handheld Terminal) sowie das Rechnerprogramm GPS-Plus, mit dem sich diverse Einstellungen an den einzelnen Komponenten vornehmen lassen.

Im Unterschied zur Radiotelemetrie wird die GPS-basierte Ortung automatisch und in regelmäßigen, frei wählbaren Zeitintervallen durchgeführt (daneben besteht bei den genutzten Modellen weiterhin die Möglichkeit zur Positionsbestimmung per Funkpeilung). Die erwähnte Aktivitätsmessung erfolgt mittels integrierter Sensoren, die die auf das Halsband wirkende



Abbildung 3: Eingesetzte Telemetrietechnik. Ein VECTRONIC-Senderhalsband der Serie GPS PLUS. Foto: IZW Berlin.

Beschleunigung auf zwei unterschiedlichen Achsen registrieren können ( $x$ -Achse: Vorwärts-/Rückwärts-Richtung,  $y$ -Achse: Seitwärts- bzw. Vertikalrichtung). Derartige Messungen der Aktivität finden sechs- bis achtmal pro Sekunde statt und werden jeweils nach einem frei wählbaren Zeitintervall gemittelt (das Intervall kann dabei aus technischen Gründen nur in Schritten von 8 Sekunden festgelegt werden, wobei die minimale Größe 64 Sekunden beträgt). Das Ergebnis der Aktivitätsmessung ist für jedes Intervall ein Wert zwischen 0 und 255, der sich aus der gemittelten Beschleunigungsveränderung ergibt und ein relatives Maß für die Aktivität pro gewählter Zeiteinheit darstellt (KROP-BENESCH et al. 2011). Alle gemessenen Daten werden im Halsband zusammen mit Datum und Uhrzeit gespeichert und lassen sich bei Bedarf mit dem Handheld-Gerät auslesen. Die dafür notwendige Funkverbindung hat eine Reichweite von etwa 400 Metern.

### 2.3.3 Einstellungen der Senderhalsbänder

Die Laufzeit der Halsbänder hängt neben der Kapazität des Speichermediums in erster Linie von der Batterieleistung ab. Da insbesondere die GPS-Ortung relativ viel Energie verbraucht, muss bei der Einstellung der Aufnahmeintervalle stets ein Kompromiss zwischen gewünschter Informationsdichte und Dauer der Datenaufzeichnung eingegangen werden. Das Basisintervall zur Ortung der Tiere betrug neun Stunden. Daneben fanden teilweise auch Ortungen in wesentlich kürzeren Intervallen statt, die für diese Arbeit aber keine weitere Rolle spielen. Die Intervalle der Aktivitätsmessung waren bei den Halsbändern über den gesamten Zeitraum der Untersuchung hinweg gleich eingestellt und betragen genau zwei Minuten. Eine Ausnahme stellte lediglich das Tier M1 dar, bei dem dieses Intervall fünf Minuten betrug.

Erfasst wurde die Aktivität über zwei Kanäle, sowohl in Vorwärts-/Rückwärts- als auch in Vertikalrichtung („Activity Mode 7“ in GPS-Plus). Aufgrund der Bauweise des Sendertyps als Halsband ist die aufgezeichnete vertikale Aktivität mit Positionsveränderungen des Kopfes verbunden, was bei verschiedenen Tierarten (z.B. Rinder oder Pferde) Rückschlüsse über ihr Fressverhalten erlaubt (KROP-BENESCH et al. 2011). Da dies bei Rehen nur sehr eingeschränkt möglich ist (DUNCAN et al. 1998), sind in der vorliegenden Arbeit nur Aktivitätsdaten zur Vorwärts-/Rückwärtsrichtung von Bedeutung.

## 2.4 Datenauswertung

Mit dem beschriebenen Telemetriesystem konnten sowohl Daten zur räumlichen Position als auch zur Aktivität der Versuchstiere gewonnen werden. Da die Analyse beider Datentypen auf sehr unterschiedliche Weise erfolgte, werden die dafür genutzten Methoden getrennt dargestellt.

Um Vergleiche des Verhaltens zwischen Vegetationsperiode und -ruhe zu ermöglichen, wurden diese Zeiträume folgendermaßen definiert: Als **Vegetationsperiode** gilt die Zeit zwischen April und Oktober, in der die monatliche Durchschnittstemperatur mindestens 5° C beträgt (KLINK 1998). Analog dazu herrscht zwischen November und März Vegetationsruhe (Abbildung 1). Für die Betrachtung des Verhaltens auf saisonaler Ebene wurde die Einteilung in phänologische **Jahreszeiten** gewählt, die sich am Entwicklungszustand der Vegetation in Abhängigkeit vom durchschnittlichen Witterungsverlauf eines Ortes orientiert (BISSOLLI et al. 2007). Man unterscheidet nach diesem System insgesamt zehn Jahreszeiten, die für die vorliegende Arbeit aber auf vier reduziert wurden. Tabelle 2 zeigt deren Dauer für die Region des Untersuchungsgebiets und die sie einleitenden phänologischen Indikatoren (Leitphasen). Die **Brunftzeit** des Rehs ist zwischen Mitte Juli und Mitte August (KURT 1991, STUBBE 2008).

Zur Untersuchung der Aktivität im Tagesverlauf wurde neben Tag und Nacht auch die **Dämmerung** als eigene Tageszeit betrachtet. Als Definition wurde dabei die sogenannte bürgerliche Dämmerung festgelegt: Darunter versteht man die Phasen, in denen die Sonne vor ihrem Aufgang (Morgendämmerung) bzw. nach ihrem Untergang (Abenddämmerung) nicht mehr als 6° unter dem Horizont steht (ZIMMERMANN & WEIGERT 1995). Mit dem frei verfügbaren Rechnerprogramm *Activity Pattern* (Version 1.2.3) der Firma VECTRONIC Aerospace

GmbH (<[www.vectronic-aerospace.com](http://www.vectronic-aerospace.com)>, 10.12.2012) konnten die im Jahresverlauf schwankenden Längen der Tageszeiten für die räumliche Lage des Untersuchungsgebiets berechnet werden. Die Grundlage dafür waren die geografischen Koordinaten des Ortes Gräben im Westteil des Untersuchungsgebiets (52° 14' N 12° 26' E).

Tabelle 2: Phänologische Jahreszeiten des Untersuchungsgebiets (Naturraumgruppe "Mittelbrandenburgische Platten und Niederungen"). Ermittelt nach Daten der Klimanormalperiode 1961-1990 (Klimareferenzstation Potsdam). Quelle: Deutscher Wetterdienst (<[www.dwd.de](http://www.dwd.de)>, 10.12.2012).

Jahreszeit	Beginn	Ende	Dauer (Tage)	Leitphase
Frühling	04.03.	03.06.	92	Blüte der Haselnuss ( <i>Corylus avellana</i> )
Sommer	04.06.	03.09.	92	Blüte des Schwarzen Holunders ( <i>Sambucus nigra</i> )
Herbst	04.09.	28.10.	55	Fruchtreife des Schwarzen Holunders ( <i>Sambucus nigra</i> )
Winter	29.10.	03.03.	126	Blattfall der Stiel-Eiche ( <i>Quercus robur</i> )

## 2.4.1 Aktivitätsdaten

In diesem Teil der Auswertung wurde der Schwerpunkt darauf gesetzt, verschiedene Aktivitätsparameter der Rehe im Jahres- und Tagesverlauf zu untersuchen. Nicht alle zur Verfügung stehenden Datenreihen eigneten sich dafür in gleichem Maße, da sie sich in ihrem Umfang stark unterschieden (Tabelle 1). Die Aktivitätsdaten der Ricke W4 waren fehlerhaft und mussten ganz aus der Analyse ausgeschlossen werden.

Vor der Auswertung wurden die Datensätze aller Tiere mit dem Programm *ADF Merge for Activity Pattern* von VECTRONIC Aerospace vorbereitet (Bezugsquelle s.o.). Fehlerhafte Daten mit falschen Zeitangaben oder Duplikate, die bei der Messung der Aktivität mit der genutzten Technik auftreten können, wurden dabei entfernt.

### 2.4.1.1 Mittlere Aktivität

Zunächst wurden mit dem Programm *Activity Pattern* die Aktivitätsdaten aller Rehe in Form von Aktogrammen dargestellt. Dieser Diagrammtyp zeigt die Aktivität in Abhängigkeit der

Zeit, wobei auf der Abszisse die Uhrzeit und auf der Ordinate das Datum aufgetragen sind. Die Aktivität selbst wird je nach Intensität durch eine Farbskala wiedergegeben: Im gewählten Fall stehen helle Farbtöne (beginnend bei weiß/gelb) für geringe und dunkle (endend bei blau/schwarz) für hohe Aktivitätswerte. Diese Art der Darstellung ermöglicht einen raschen Überblick über den zeitlichen Verlauf der Aktivität. Um charakteristische Aktivitätsmuster besser erkennen zu können, wurden zudem die Grenzen der Dämmerung durch Linien markiert. Daneben sind auf der Zeitreihe der Abszisse stets zwei aufeinander folgende Tage dargestellt, um das Aktivitätsmuster während der Nachtstunden nicht zu unterbrechen und somit deutlicher zu zeigen („Doppelplot-Darstellung“).

Zusätzlich wurde die Aktivität im Tagesverlauf in Form von Liniendiagrammen dargestellt: Der Tag wurde dafür in 144 Zeitintervalle von jeweils zehn Minuten Länge unterteilt und für jedes dieser Intervalle aus den zugehörigen Aktivitätsdaten jedes Rehs der arithmetische Mittelwert berechnet. Zur genaueren Betrachtung des saisonalen Einflusses auf die Aktivität erfolgte dieses Vorgehen nach phänologischen Jahreszeiten getrennt.

Für die Untersuchung der Aktivität im Jahresverlauf wurden die arithmetischen Mittelwerte der Aktivität für jeden Tag der Datenaufnahme und getrennt nach Individuen berechnet. Sofern pro Monat und Reh mindestens 25 solcher Tagesmittelwerte vorhanden waren, wurden daraus Monatsmittelwerte der Aktivität berechnet. Diese Berechnung von arithmetischen Monatsmittelwerten aus einzelnen Tages(mittel)werten jedes Tiers wurde auch für alle im Folgenden aufgeführten Aktivitätsparameter vorgenommen. Sie waren Basis für die Darstellung und statistische Vergleiche des Aktivitätsverhaltens zwischen verschiedenen Zeiträumen des Jahres.

#### **2.4.1.2 Tag-Nacht-Verhältnis**

Als weitere Methode, um Verhaltensunterschiede der Rehe zwischen den Tageszeiten zu untersuchen, wurde das Tag-Nacht-Verhältnis der Aktivität für jeden Tag der Datenaufnahme ermittelt. Die Berechnung erfolgte mit der Formel für den „diurnality index“ nach HOOGENBOOM et al. (1984), wofür das von HECKMANN (2011) in der Programmiersprache *Python* geschriebene Skript *timebudget* genutzt wurde (Bezugsquelle im Anhang):

$$diurnality\ index = \frac{\left(\frac{c_d}{t_d} - \frac{c_n}{t_n}\right)}{\left(\frac{c_d}{t_d} + \frac{c_n}{t_n}\right)}$$

Erläuterung:  $c_d$  = Summe der Aktivitätswerte am Tag (inklusive Dämmerung)

$c_n$  = Summe der Aktivitätswerte in der Nacht

$t_d$  = Anzahl der Messintervalle am Tag (inklusive Dämmerung)

$t_n$  = Anzahl der Messintervalle in der Nacht

Das Resultat der Formel gibt das Verhältnis der Aktivität zwischen den Hell- und Dunkelstunden jedes Tages wieder, wobei die Dämmerung zu ersteren gezählt wurde. Aus der Berechnung ergeben sich Werte im Bereich zwischen +1 und -1; +1 steht dabei für ausschließliche Aktivität während der Hellstunden (inklusive Dämmerung), -1 entsprechend für ausschließliche während der Dunkelstunden nachts. Ein Wert von 0 bedeutet ein ausgeglichenes Verhältnis der Aktivität zwischen Tag und Nacht. Bei der Berechnung des täglichen Tag-Nacht-Verhältnisses wurden die Veränderungen von Tag- und Nachtlänge im Jahresverlauf für die Lage des Untersuchungsgebiets berücksichtigt.

### 2.4.1.3 Aktivitätsschübe

Das *Phyton*-Skript *timebudget* wurde ebenfalls dafür genutzt, eine „peak analysis“ (KROPP-BENESCH et al. 2011) durchzuführen, bei der die tägliche Anzahl und mittlere Dauer von definierten Aktivitätsschüben berechnet wird. Dafür wurden folgende Schwellenwerte festgelegt: Als Schübe gelten diejenigen Phasen, in denen die Aktivitätswerte oberhalb der Durchschnittsaktivität eines Tieres (arithmetisches Mittel aus allen Aktivitätsdaten) liegen und die mindestens von zehn Minuten Dauer sind. Kurze Phasen mit sehr intensiver Aktivität (z.B. durch Fluchtverhalten) werden somit aus der Berechnung ausgeschlossen. Sämtliche registrierte Messwerte, die unterhalb der Schwelle für einen Aktivitätsschub liegen, gelten nicht als solcher und werden demnach als inaktive Phase definiert.

#### 2.4.1.4 Rhythmikanalyse

Abschließend wurde mit den vorhandenen Aktivitätsdaten eine Rhythmikanalyse nach SINZ & SCHEIBE (1976) und BERGER et al. (2003) durchgeführt. Mit diesem komplexen Verfahren kann das Verhalten von Tieren auf regelmäßige circa- und ultradiane Aktivitätsmuster hin untersucht werden. Alle dafür notwendigen Berechnungen wurden mit dem von HECKMANN (2011) geschriebenen *Python*-Skript *lspplot* durchgeführt (Bezugsquelle im Anhang).

Bei der Rhythmikanalyse werden die Aktivitätsdaten in mehreren Schritten verarbeitet (für eine ausführliche Beschreibung der Methode s. auch KROP-BENESCH et al. 2011):

- Die Basis dafür bilden Datenreihen von jeweils sieben Tagen Länge, die um einen Tag voneinander versetzt sind. Um nicht rhythmische Anteile herauszufiltern und rhythmische hervorzuheben, werden die **Autokorrelationsfunktionen** dieser Zeitreihen berechnet.
- Eine anschließende **Fourier-Transformation** dient dazu, die berechneten Funktionen in ihre rhythmischen Komponenten zu zerlegen und deren Anteile an den ursprünglichen Zeitreihen zu beschreiben. Ob diese Anteile signifikant sind, wird nach dem von ANDĚL (1984) beschriebenen Verfahren mit dem **Fisher-Test** geprüft.
- Für die signifikanten Perioden wird nun ihre sogenannte **Leistung** berechnet: Hierfür werden die Amplituden der Periodenlängen quadriert und die Summe dieser Werte als 100 % definiert. Der Anteil jeder Periode an diesem Wert ergibt ihre Leistung.
- Daraus lassen sich schließlich der **Harmonische Anteil (HA)** und der **Leistungsbezogene Kopplungsgrad (LKG)** ermitteln. Es handelt sich dabei um Maße, die Auskunft darüber geben, inwiefern interne Aktivitätsrhythmen mit der externen Tagesperiodik synchronisiert sind. Als „harmonisch“ gelten Perioden immer dann, wenn der Wert des Quotienten aus 24 Stunden und der Periodenlänge eine ganze Zahl ergibt (z.B. Perioden von 12, 8, 6, oder 4,8 Stunden Länge). Zählt man nun die Leistung aller signifikanten harmonischen Perioden zusammen, erhält man den HA. Wird der HA wiederum durch die Summe der Leistung aller signifikanten Perioden dividiert, ergibt sich daraus der LKG:

$$HA = SI (harm., sign.)$$

$$LKG = \frac{SI (harm., sign.)}{SI (total, sign.)}$$

Erläuterung:

*SI (harm., sign.)* = Summe der Leistung aller signifikanten harmonischen Perioden

*SI (total, sign.)* = Summe der Leistung aller signifikanten Perioden

Hohe Werte dieser Indices stehen allgemein für eine starke Synchronisation ultradianer Rhythmen der Aktivität mit der circadianen Periodik, wie sie unter normalen, ungestörten Lebensbedingungen auftritt (BERGER et al. 2003). Niedrige Werte bedeuten entsprechend das Gegenteil und weisen oft auf die Veränderung des Verhaltens durch irreguläre Einflüsse hin. In Maßen können LKG und HA als Indikatoren für das Anpassungsverhalten der untersuchten Tiere an bestimmte Umweltbedingungen, für ihren Gesundheitszustand oder für die Intensität von (anthropogenen) Stressfaktoren in ihrem Lebensraum genutzt werden (BERGER et al. 1999, SCHEIBE et al. 1999, BERGER et al. 2002).

#### **2.4.2 Ortungsdaten**

Bei der Auswertung der Ortungsdaten mit Hilfe eines Geografischen Informationssystems (GIS) sollte in erster Linie die Raumnutzung der Rehe im Jahresverlauf untersucht werden. Wie auch bei den Aktivitätsdaten galt es zu berücksichtigen, dass die Zeiträume der Datenaufnahme je nach Tier sehr verschieden waren (Tabelle 1). Wichtig war außerdem, dass es sich bei zwei Rehen (W5 und W6) um Jungtiere der Ricke W4 handelte. Im Jahr nach ihrer Geburt trennen sich weibliche Jungtiere in der Regel zwischen Frühling und dem frühen Sommer von ihrer Mutter (ELLENBERG 1978, KURT 1991, LINNELL et al. 1998). Die Ortungsdaten aller drei Tiere ähnelten sich von ihrem Fang im Januar bis in den Juni hinein stark, d.h. die Abstände zwischen ihren Koordinaten waren äußerst gering. Das räumliche Verhalten der Jungtiere war also in hohem Maße von dem ihrer Mutter abhängig und ihre Daten wurden erst ab Juli in die Analyse aufgenommen.

Das Hauptintervall der Ortung betrug bei allen eingesetzten Senderhalsbändern neun Stunden. Daten, die nicht diesem Intervall entsprachen oder fehlerhaft bzw. irrelevant waren (etwa aufgrund falscher Zeitangaben oder der Aufnahme nach dem Tod des Tiers), wurden im Programm *Microsoft Excel* (Version 14.0) vor der Auswertung herausgefiltert.

Für die weitere Datenanalyse wurde das Programmpaket *ArcView* (Version 10.1) von ESRI Inc. (Redlands, USA) genutzt, wobei einzelne Arbeitsschritte mit Funktionen der frei verfügbaren Erweiterung *Hawth's Analysis Tools* durchgeführt wurden (<[www.spatial ecology.com](http://www.spatial ecology.com)>, 19.02.2013). Als Grundlage für die Darstellung der Ergebnisse standen folgende digitale Karten der Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg (LGB) zur Verfügung: TK 25 Nr. 3740 (Wollin), TK 25 Nr. 3741 (Golzow) sowie die zugehörigen Orthophotos dieser Gebiete. Die Ortungsdaten lagen in Form geografischer Koordinaten vor und wurden in das Koordinatensystem dieser Karten transformiert (UTM-Projektion, Lagebezugssystem ETRS 89, Zone 33N).

#### **2.4.2.1 Größe der Streifgebiete**

Der Begriff des Streifgebiets („home range“) wurde nach BURT (1943) definiert: Es ist der Raum, der von einem Individuum während seiner normalen Aktivitäten - wie Nahrungssuche, Reproduktionsverhalten oder Jungenaufzucht - in einer bestimmten Zeit genutzt wird. Unregelmäßige „Exkursionen“ (ELLENBERG 1978), bei denen ein Tier diesen Bereich verlässt, sind nicht Teil des Streifgebiets.

Die Berechnung der Streifgebietsgrößen erfolgte mit der „Minimum Convex Polygon“-Methode (MCP) (WHITE & GARROTT 1990, POWELL 2000) und wurde jeweils für einen Monat und getrennt nach Individuen vorgenommen. Sofern bei einem Reh nicht Ortungen von mindestens 25 aufeinanderfolgenden Tagen für einen Kalendermonat vorhanden waren, fand keine Berücksichtigung dieser Daten statt. Nach der genannten Definition, die Exkursionen aus der Berechnung möglichst ausschließen soll, wurden aus den monatlichen Datenreihen jedes Tiers die äußersten fünf Prozent aller Datenpunkte als Ausreißer entfernt (MCP 95, Beschreibung des Vorgehens bei WHITE & GARROTT 1990). Aus den somit vorbereiteten Daten wurden die Streifgebietsgrößen schließlich mit dem Werkzeug *Create Minimum Convex Polygons* (*Hawth's Analysis Tools*) ermittelt.

#### **2.4.2.2 Wegstrecken zwischen den Ortungen**

Mit den nach Tieren und Monaten getrennten Datensätzen wurden ebenfalls die zwischen den einzelnen Ortungen liegenden Distanzen bestimmt. Eine Entfernung von Ausreißern, wie bei der Berechnung der Streifgebietsgrößen, fand dabei bewusst nicht statt. Diese Distanz stellt ein Maß für die von den Tieren zurückgelegte Wegstrecke im Ortungsintervall von neun Stunden dar und ist somit ein weiterer Parameter zur Charakterisierung ihres räumlichen Verhaltens (WHITE & GARROTT 1990, POWELL 2000). Für die Berechnung waren die beiden Werkzeuge *Calculate Movement Parameters* und *Convert Locations to Paths* (*Hawth's Analysis Tools*) geeignet. Aus den einzelnen Wegstrecken wurden anschließend monatliche arithmetische Mittelwerte gebildet.

### **2.5 Statistische Datenanalyse**

Um zu überprüfen, ob bei der Veränderung aller ermittelten Parameter im Laufe des Jahres signifikante Unterschiede zwischen den Monaten auftraten, wurde der Friedman-Test („Friedmans verallgemeinerter Vorzeichenstest“) genutzt (BORTZ et al. 2008). Hierbei wurden die Monatsmittelwerte der einzelnen Aktivitätskennzahlen (mittlere Aktivität, Tag-Nacht-Verhältnis, Anzahl und Dauer der Aktivitätsschübe, LKG und HA, Wegstrecken zwischen den Ortungen) sowie die monatlichen Streifgebietsgrößen miteinander verglichen. Da die Anzahl der Stichproben somit recht hoch war, wurde diese Methode dem ebenfalls einsetzbaren Quade-Test („Spannweitenrangtest von Quade“) vorgezogen, der sich eher für den Vergleich weniger Stichproben eignet (BORTZ et al. 2008). Eine statistische Analyse mit Hilfe des „Non-parametric Marginal Model“ (NMM) nach BRUNNER et al. (2002), wie sie beispielsweise von KROP-BENESCH et al. (2013) für einen sehr ähnlichen Zweck vorgenommen wurde, war aufgrund der vorhandenen Datenlücken nicht möglich.

Für Vergleiche zwischen den Zeiträumen der Vegetationsperiode und -ruhe wurde der Wilcoxon-Test („Wilcoxon-Vorzeichenrangtest“) eingesetzt (BORTZ et al. 2008). Für jeden Aktivitätsparameter, die monatliche Streifgebietsgröße und die Wegstrecke zwischen den Ortungen wurden dafür, nach Individuen getrennt, die arithmetischen Mittelwerte für die jeweiligen Zeiträume berechnet und anschließend miteinander verglichen.

Aufgrund der bekannten Unterschiede weiblicher und männlicher Rehe in ihrem räumlichen Verhalten (CEDERLUND 1983, FRUZINSKI et al. 1983, LIBERG et al. 1998, LINDROTH 2005) fand die statistische Analyse der Ortungsdaten (monatliche Streifgebietsgrößen und Wegstrecken zwischen den Ortungen) getrennt nach Geschlechtern statt. Die Daten der Böcke wurden hierbei ausgeschlossen, denn in Folge ihrer geringen Stichprobengröße ( $n = 3$ ; nur für ein einziges Tier lagen Daten eines kompletten Jahres vor) war eine Durchführung der genannten Tests nicht möglich (Friedman-Test) bzw. erschien nicht sinnvoll (Wilcoxon-Test).

Da mit dem beschriebenen Vorgehen mehr als ein statistischer Test für dieselbe Datengrundlage Anwendung fand, was zu einer Kumulierung der Fehlerwahrscheinlichkeit führt (BORTZ et al. 2008, RUDOLF & KUHLISCH 2008), wurde eine  $\alpha$ -Fehler-Korrektur vorgenommen. Dafür wurde das auf der sogenannten „False Discovery Rate“ (FDR) beruhende Benjamini-Hochberg-Verfahren genutzt (BENJAMINI & HOCHBERG 1995). Bei dieser auch als „Explorative Simes-Prozedur“ bekannten Methode werden die errechneten p-Werte adjustiert - d.h. je nach Anzahl der durchgeführten Tests vergrößert - und erst dann mit dem Signifikanzniveau  $\alpha$  von 5 % verglichen (VICTOR et al. 2010). Der beim multiplen Testen mit der Anzahl der durchgeführten Tests steigenden Wahrscheinlichkeit, dass sich signifikante Ergebnisse aus reinem Zufall ergeben, kann damit entgegengewirkt werden. Alle statistischen Auswertungen wurden mit der Programmiersprache *R* (Version 2.15.2) vorgenommen.

### **3 Ergebnisse**

In den folgenden Abschnitten werden ausschließlich mit dem Benjamini-Hochberg-Verfahren adjustierte p-Werte genannt. Die Ergebnisse der statistischen Datenanalyse beziehen sich auf folgende Stichprobengrößen: Bei den Aktivitätsdaten wurden mit dem Friedman-Test insgesamt 76 Monatsmittelwerte und mit dem Wilcoxon-Test 17 Mittelwerte der Vegetationsphasen für die verschiedenen Parameter miteinander verglichen ( $n$  (Individuen) = 9). Im Falle der aus Ortungsdaten ermittelten Parametern waren es 50 Monatsmittelwerte für den Friedman-Test und 12 Mittelwerte der Vegetationsphasen für den Wilcoxon-Test ( $n$  (Individuen) = 7). Die zur Raumnutzung genannten Durchschnittszahlen der männlichen Tiere wurden aus jeweils 25 Monatsmittelwerten der Streifgebietsgröße und der Wegstrecke zwischen den Ortungen berechnet ( $n$  (Individuen) = 3).

#### **3.1 Zeitlicher Verlauf verschiedener Parameter der Aktivität**

##### **3.1.1 Mittlere Aktivität im Tages- und Jahresverlauf**

Bei der Gesamtbetrachtung der mittleren Aktivität im Jahres- und Tagesverlauf ließen sich bei allen untersuchten Rehen recht ähnliche Muster erkennen. Zur repräsentativen Darstellung beider Geschlechter wurde jeweils ein Aktogramm eines weiblichen und eines männlichen Tieres ausgewählt, für das über mindestens ein Jahr lang Daten vorlagen (Abbildung 4).

Die Aktogramme zeigen charakteristische zeitliche Verläufe des Verhaltens zweier Rehe während eines kompletten Jahres: Über Tag und Nacht verteilt findet ein stetiger Wechsel von Phasen hoher und niedriger Aktivität statt. Zur Dämmerung treten durchgehend hohe Aktivitätswerte auf, die über denen des Tages und der Nacht liegen. Das Zusammentreffen von hoher Aktivität mit den Dämmerungsphasen ist über das gesamte Jahr hinweg deutlich zu beobachten. Hervorgehoben wird dies durch Abbildung 5, die den Tagesverlauf der Aktivität einiger Rehe gemittelt über 30 exemplarische Tage jeder Jahreszeit zeigt. Die Spitzenwerte der Aktivität zur Dämmerung sind bei den männlichen Tieren besonders hoch und liegen oft über denen der weiblichen. Allgemein scheinen die wenigen untersuchten Böcke eine stärkere Synchronisation hoher Aktivität mit der Dämmerung aufzuweisen als die Ricken. Beiden Geschlechtern gemein ist ein sichtbar niedriges Aktivitätsniveau um die Mittagszeit,

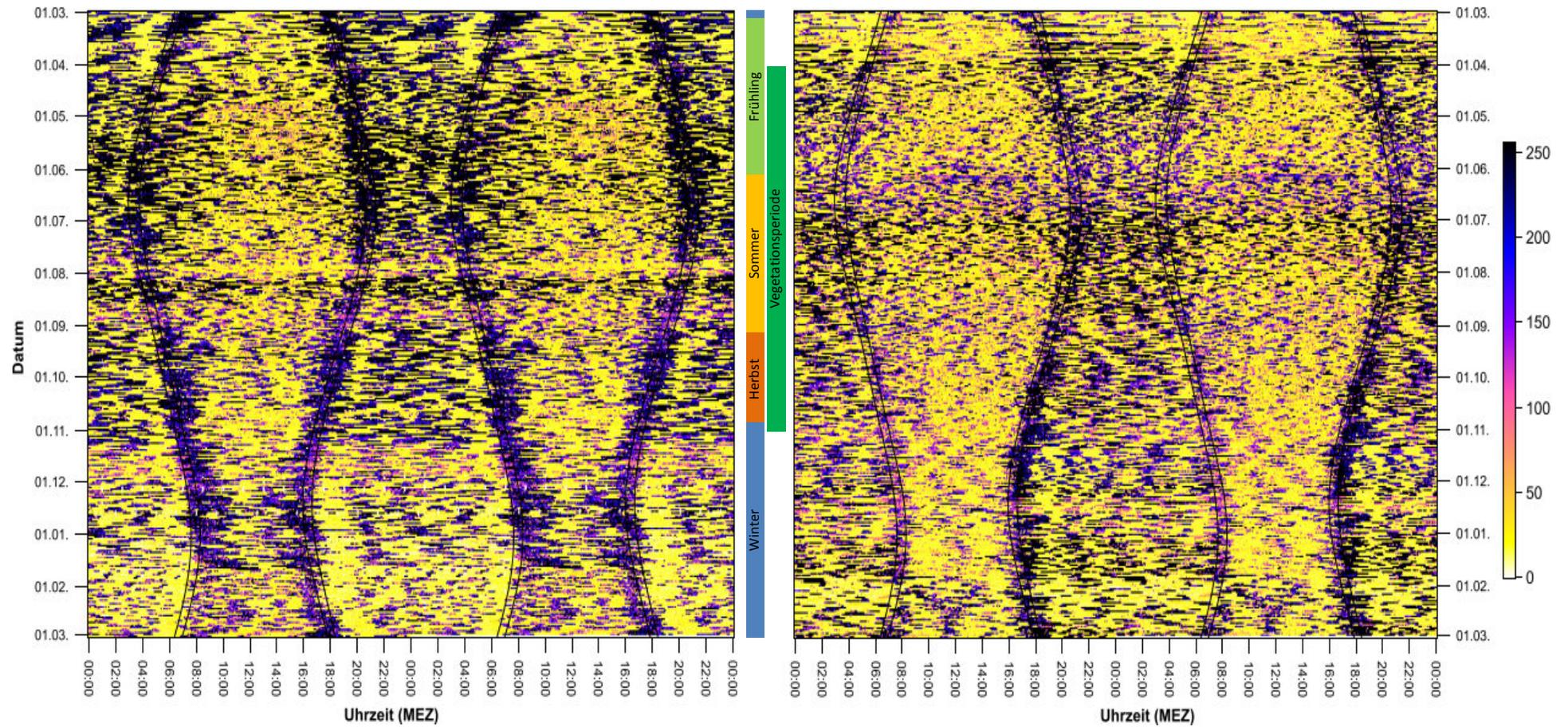


Abbildung 4: Exemplarische Aktogramme eines männlichen (M2, links) und eines weiblichen Rehs (W7, rechts) in Doppelplotdarstellung. Das Ausmaß der Aktivität wird durch die Farbskala rechts wiedergegeben. Die vertikalen Linien stehen für die sich im Jahresverlauf verändernden Grenzen der Dämmerung.

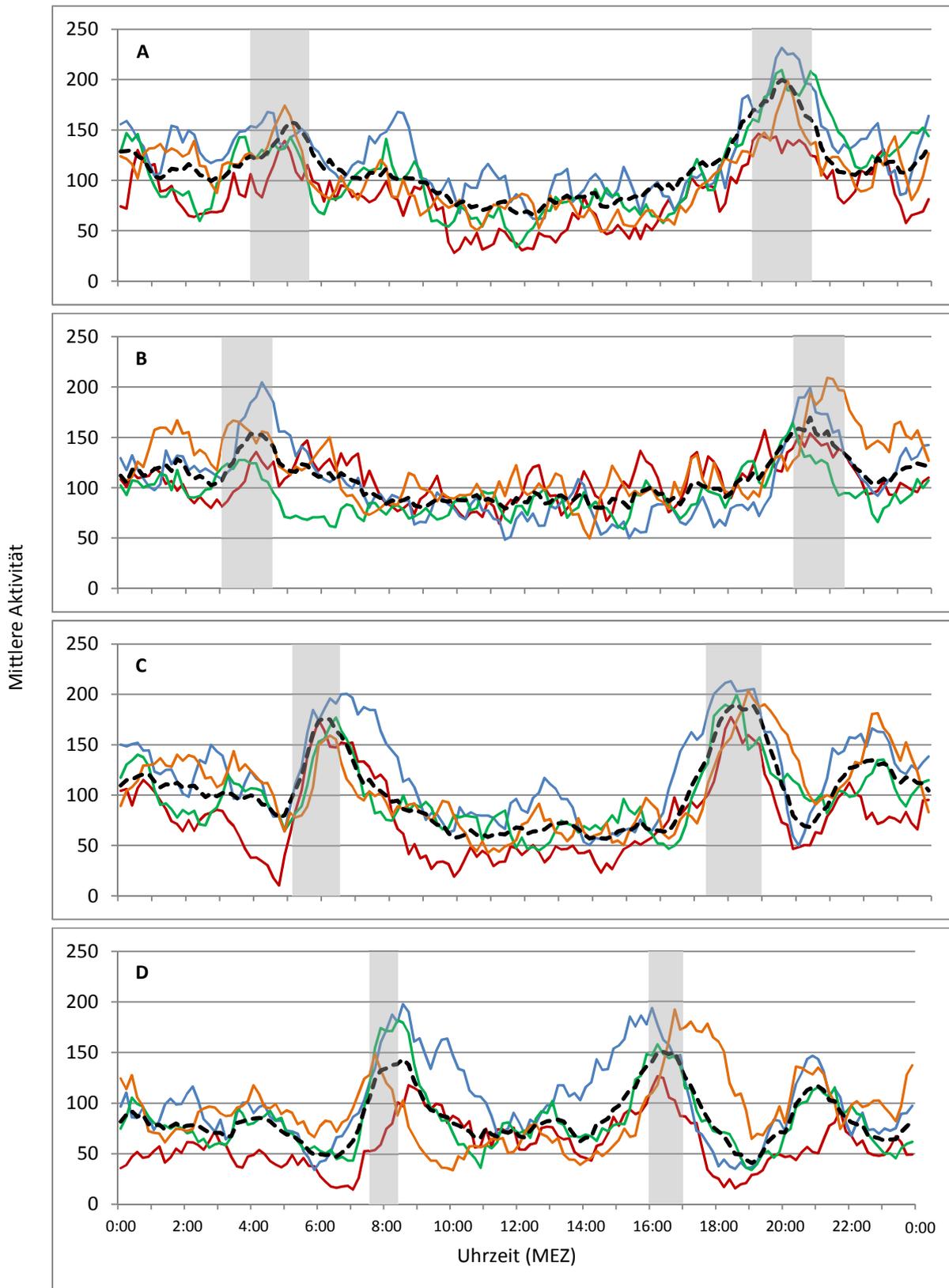


Abbildung 5: Aktivität im Tagesverlauf nach Jahreszeiten. A: Mittlere 30 Tage des Frühlings (04. Apr. - 03. Mai), B: Mittlere 30 Tage des Sommers (05. Jul. - 03. Aug.), C: Mittlere 30 Tage des Herbstes (16. Sep. - 15. Okt), D: Mittlere 30 Tage des Winters (16. Dez. - 14. Jan.). Die gestrichelte Schwarze Linie stellt die mittlere Aktivität aller Rehe dar, für die zu den jeweiligen Zeiträumen Daten vorlagen (Frühling:  $n = 8$ ; Sommer:  $n = 5$ ; Herbst:  $n = 6$ ; Winter:  $n = 5$ ). Bei den übrigen Linien handelt es sich um die mittlere Aktivität der Rehe W1 (rot), W5 (grün), W7 (orange) und M2 (blau). Die grauen Balken stellen die Dämmerungsphasen der jeweiligen Zeiträume dar.

das im Durchschnitt nur im Winter noch zu anderen Tageszeiten (den Stunden vor der Morgen- bzw. nach der Abenddämmerung) unterschritten wird (Abbildung 5).

Im Verlauf des Jahres ändert sich die tägliche Aktivität beider Geschlechter: Von November bis März (Böcke) bzw. April (Ricken) ist die Aktivität im Vergleich zum restlichen Jahr allgemein verringert. Auch die tägliche Anzahl und Dauer der Phasen unterschiedlich intensiver Aktivität variiert dabei: In der Vegetationsperiode ist eine Tendenz zu vielen kurzen Aktivitätsschüben zu erkennen, während zur Vegetationsruhe eher weniger und dafür längere derartige Phasen vorkommen. Längere Ruhephasen zwischen den Aktivitätsschüben - insbesondere unmittelbar vor oder nach der Dämmerung - treten im Winter deutlich hervor (Abbildung 4). Die Verteilung der Aktivität auf Tag und Nacht weist ebenfalls eine saisonale Komponente auf: Während des Winters finden sich hohe Aktivitätswerte eher tagsüber und in den Dämmerungsphasen. Auch dass die Aktivität zur Dämmerung Höchstwerte erreicht, die sich stark von der des übrigen Tages abhebt, ist vor allem im Herbst und Winter zu beobachten (Abbildung 5). Im Gegensatz dazu werden längere Phasen hoher Aktivität in den Monaten der Vegetationsperiode und besonders im Sommer auch auf die Nachtstunden ausgeweitet.

In der Brunftzeit von Mitte Juli bis Mitte August fällt im Aktogramm des männlichen Tiers M2 ein etwa zweiwöchiger Abschnitt mit durchgehend stark ausgeprägter Aktivität auf (Abbildung 4). Über die Aktivität der beiden anderen untersuchten Rehböcke zu dieser Zeit können keine Aussagen getroffen werden, da für diesen Zeitraum entsprechende Daten fehlten.

Bei allen Gemeinsamkeiten, die sich in den Aktivitätsmustern der untersuchten Rehe erkennen lassen, muss jedoch auch auf die individuellen Unterschiede ihres Verhaltens hingewiesen werden. Auch wenn sich Abbildung 5 aus Gründen der Übersichtlichkeit auf die Darstellung der Aktivität von vier Tieren beschränkt, für die zu allen ausgewählten Zeiträumen Daten vorhanden waren, wird dies anhand der verschiedenen Kurvenverläufe gut erkennbar. Hoch- und Tiefphasen der Aktivität unterscheiden sich etwa im genauen Ausmaß, der Dauer und dem Zeitpunkt ihres Auftretens je nach Reh voneinander.

Wenn man die mittlere tägliche Aktivität im Jahresverlauf für alle Rehe zusammengenommen betrachtet, fallen die deutlichen saisonalen Unterschiede dieses Parameters auf (Abbildung 6). Nachdem die mittlere tägliche Aktivität in den Wintermonaten gering ausgeprägt ist

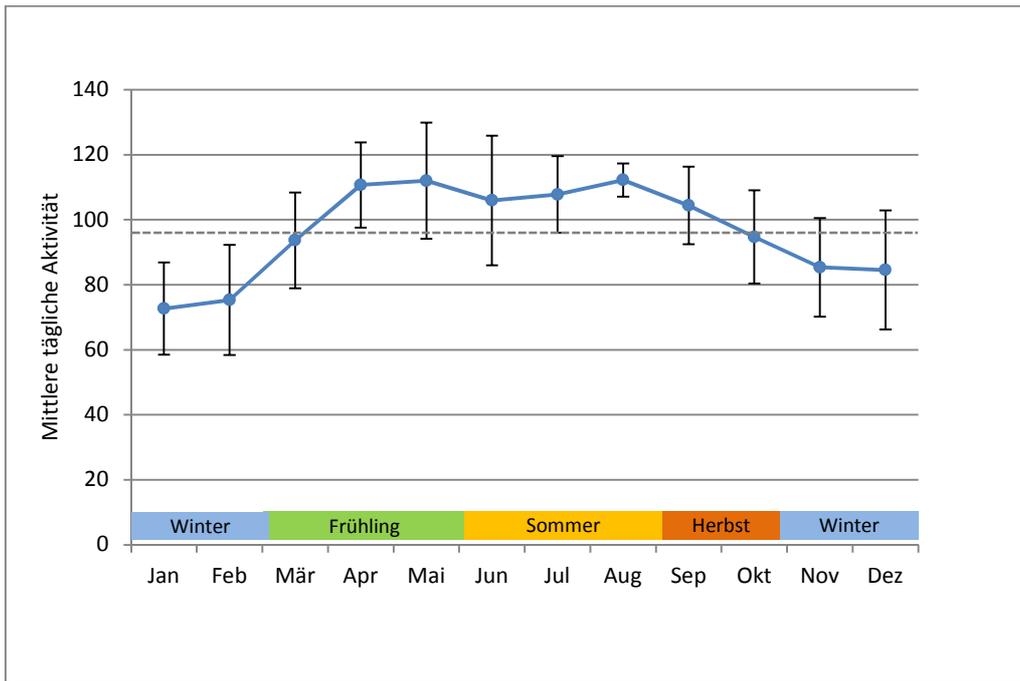


Abbildung 6: Mittlere tägliche Aktivität aller Rehe im Jahresverlauf. Die Fehlerbalken stehen für die zugehörigen Standardabweichungen, die gestrichelte graue Linie zeigt den Jahresmittelwert aller Individuen (96).

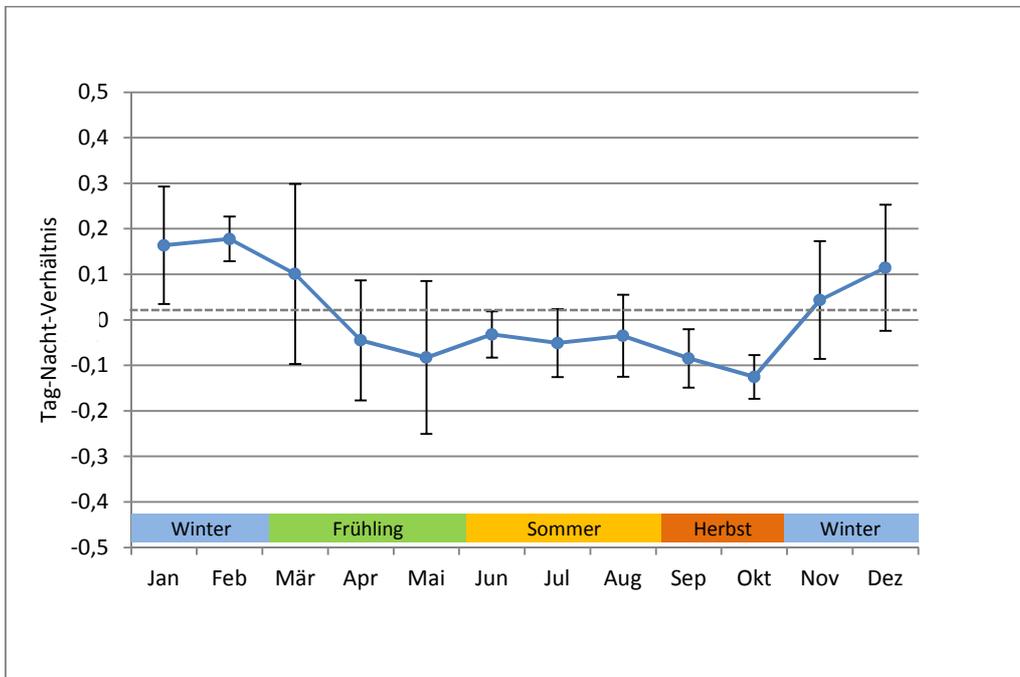


Abbildung 7: Tag-Nacht-Verhältnis aller Rehe im Jahresverlauf. Die Fehlerbalken stehen für die zugehörigen Standardabweichungen, die gestrichelte graue Linie zeigt den Jahresmittelwert aller Individuen (0,02).

(Minimum im Januar), steigt sie mit Beginn des Frühlings an und erreicht von April bis August die höchsten Werte des Jahres (Maximum im August). Danach geht sie wieder stetig auf das niedrige durchschnittliche Niveau des Winters zurück. Zwischen den Monaten bestehen dabei signifikante Unterschiede (Friedman-Test,  $\chi^2 = 26.4$ , FG = 11,  $p = < 0.05$ ). Die mittlere tägliche Aktivität ist zur Vegetationszeit signifikant höher als zur Vegetationsruhe (Wilcoxon-Test,  $V = 0$ ,  $p = < 0.05$ ).

### **3.1.2 Tag-Nacht-Verhältnis im Jahresverlauf**

Auch das Tag-Nacht-Verhältnis unterscheidet sich zwischen den Monaten signifikant (Friedman-Test,  $\chi^2 = 33.25$ , FG = 11,  $p = < 0.05$ ): Vom Beginn des Winters bis zum ersten Frühlingsmonat März befindet es sich durchgehend im positiven Bereich (Abbildung 7). Es sinkt jedoch nach dem Jahresmaximum im Februar kontinuierlich und nimmt den Großteil des Frühlings sowie im Sommer und Herbst - was der gesamten Vegetationsperiode entspricht - negative monatliche Mittelwerte an. Die Rehe sind in dieser Zeit also auch bei verkürzten Nächten mehr während der Dunkelstunden aktiv als zu den Hell- und Dämmerungsstunden. Demzufolge liegt das Tag-Nacht-Verhältnis der Vegetationsperiode im Durchschnitt signifikant unter dem der Vegetationsruhe (Wilcoxon-Test,  $V = 36$ ,  $p = < 0.05$ ). Der geringste Monatsmittelwert fällt auf den Oktober.

### **3.1.3 Aktivitätsschübe im Jahresverlauf**

Die charakterisierenden Parameter der Aktivitätsschübe - deren durchschnittliche Anzahl pro Tag sowie die durchschnittliche Dauer pro Schub - verhalten sich in ihrem jährlichen Verlauf sehr unterschiedlich (Abbildung 8). Die mittlere tägliche Anzahl der Aktivitätsschübe steigt im Verlauf des Frühlings auf Höchstwerte in den Sommermonaten an (Maximum im Juni: 11,9) und sinkt danach zunehmend auf ein deutlich niedrigeres Winterniveau ab (Minimum im März: 7,6). Sowohl die Unterschiede zwischen den Monaten (Friedman-Test,  $\chi^2 = 38.13$ , FG = 11,  $p = < 0.05$ ) als auch zwischen Vegetationsperiode und -ruhe sind signifikant (Wilcoxon-Test,  $V = 0$ ,  $p = < 0.05$ ). Die durchschnittliche Dauer eines einzelnen Aktivitätsschubs verringert sich dagegen ab dem Frühling, erreicht im Sommer Tiefstwerte (Minimum im Juni: 56 min) und nimmt anschließend bis zum Jahresmaximum im Oktober (79 min) wieder zu.

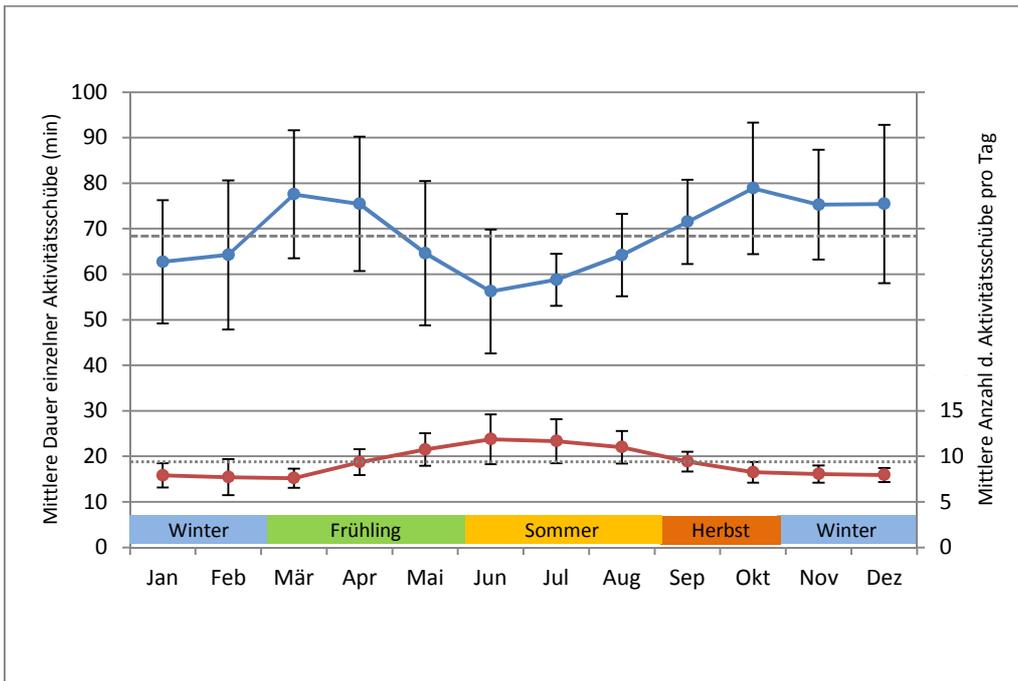


Abbildung 8: Mittlere Dauer einzelner Aktivitätsschübe (blaue Linie) und mittlere Anzahl der täglichen Aktivitätsschübe (rote Linie) aller Rehe im Jahresverlauf. Die Fehlerbalken stehen für die zugehörigen Standardabweichungen, die grauen Linien zeigen den Jahresmittelwert der Dauer einzelner Aktivitätsschübe (69 min; gestrichelt) und der Anzahl der täglichen Aktivitätsschübe (9,2; gepunktet) aller Individuen.

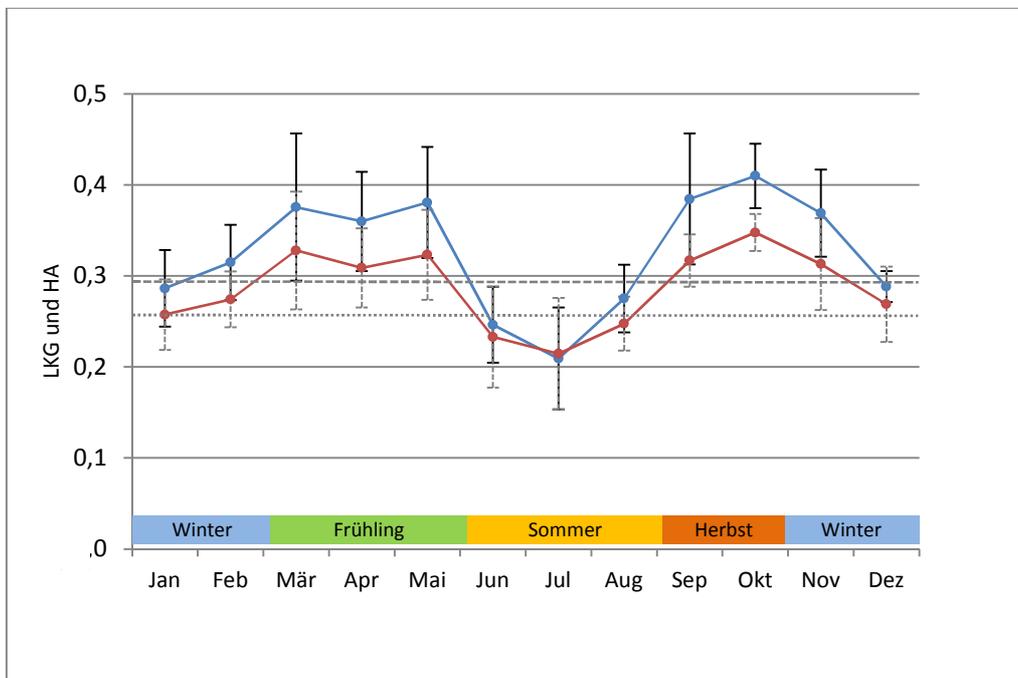


Abbildung 9: Leistungskopplungsgrade (LKG, blaue Linie) und Harmonische Anteile (HA, rote Linie) aller Rehe im Jahresverlauf. Die Fehlerbalken stehen für die zugehörigen Standardabweichungen, die grauen Linien zeigen den Jahresmittelwert des LKG (0,29; gestrichelt) und des HA (0,26; gepunktet) aller Individuen.

Vom Frühling bis zum Herbst scheinen Anzahl und Dauer der Aktivitätsschübe negativ korreliert zu sein. Die geringe durchschnittliche Dauer der einzelnen Aktivitätsschübe in den Monaten Januar und Februar führt aber insgesamt zu einer zweigipfligen Verteilung des Parameters im Jahresverlauf. Dies zeigt, dass eine eindeutige lineare Korrelation zwischen der Anzahl der täglichen Aktivitätsschübe und deren mittlerer Dauer nicht vorhanden ist. Die Unterschiede der mittleren Dauer pro Aktivitätsschub sind weder zwischen den Monaten (Friedman-Test,  $\chi^2 = 18.23$ , FG = 11,  $p = 0.23$ ) noch zwischen den Vegetationsphasen (Wilcoxon-Test,  $V = 23$ ,  $p = 0.95$ ) signifikant.

### **3.1.4 Parameter der Rhythmikanalyse im Jahresverlauf**

In Abbildung 9 zeigt sich, dass auch die monatlichen Mittelwerte von LKG und HA aus den Daten aller Individuen nach Jahreszeiten verschieden sind: Im Frühling, Herbst und dem frühen Winter werden die höchsten Monatsmittelwerte beider Messgrößen erreicht (Maximum im Oktober, LKG: 0,41; HA: 0,35), während sie im restlichen Winter von Dezember bis Februar sichtbar darunter liegen. Die niedrigsten Werte im Jahresverlauf fallen auf die Sommermonate (Minimum im Juli, LKG: 0,21; HA: 0,22). Nach der durchgeführten statistischen Datenanalyse gibt es einen signifikanten Unterschied von LKG und HA zwischen den Monaten (Friedman-Test, LKG:  $\chi^2 = 32.9$ , FG = 11,  $p = < 0.05$ ; HA:  $\chi^2 = 24.1$ , FG = 11,  $p = < 0.05$ ). Im Gegensatz zu einigen anderen betrachteten Parametern lässt die zweigipflige Verteilung von LKG und HA über das Jahr hinweg aber keine eindeutige Differenzierung von Vegetationsperiode und -ruhe erkennen. Zwischen den beiden Phasen ergaben sich entsprechend keine signifikanten Unterschiede (Wilcoxon-Test, LKG:  $n = 17$ ,  $V = 17$ ,  $p = 0.945$ ; HA:  $n = 17$ ,  $V = 19$ ,  $p = 0.945$ ).

## **3.2 Zeitlicher Verlauf verschiedener Parameter der Raumnutzung**

### **3.2.1 Größe der Streifgebiete im Jahresverlauf**

Abbildung 10 zeigt exemplarisch die Streifgebietsgrößen der vier Rehe, für die über mindestens ein Jahr lang Daten vorlagen, zu jeweils einem Monat der Vegetationsruhe und der Vegetationsperiode. Die Streifgebiete der abgebildeten Ricken sind im Januar größer als im Juli.

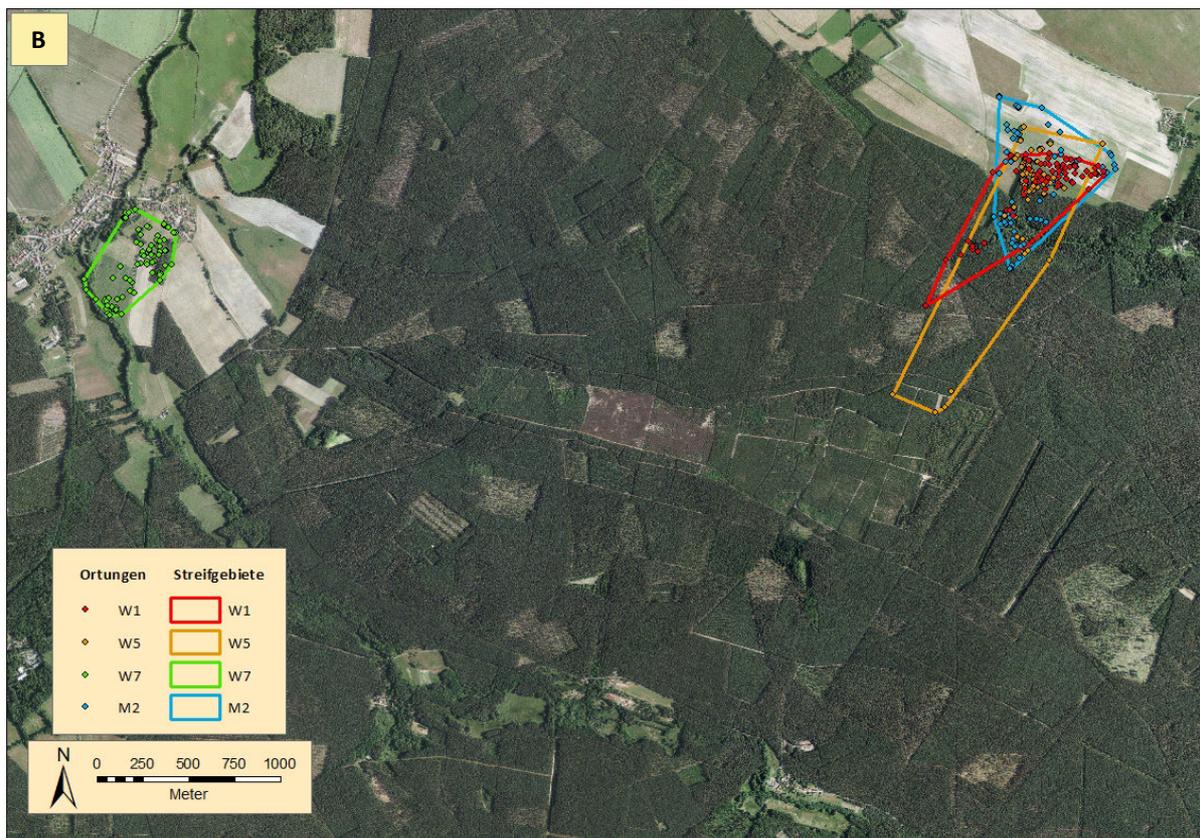
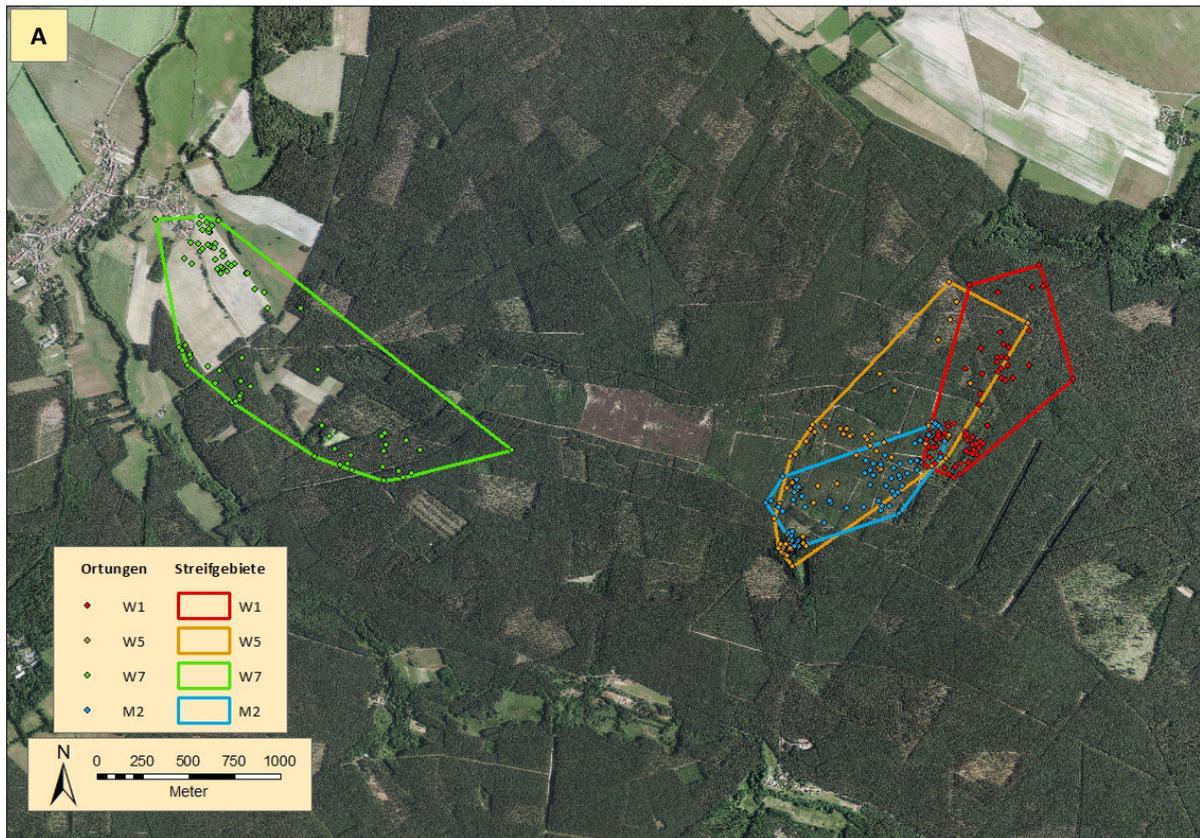


Abbildung 10: Streifgebiete der Rehe W1, W5, W7 und M2 in den Monaten Januar (A) und Juli (B). Berechnet mit der MCP 95-Methode. Kartengrundlage: Orthophotos des LGB Potsdam, Stand: Mai 2012.

Im Fall des Rehbocks M1 ist dagegen kein so deutlicher Unterschied zwischen den beiden Monaten zu erkennen (Januar: 34 ha, Juli: 37 ha). Unabhängig von der Streifgebietsgröße fällt bei allen Tieren auf, dass im Sommer eine Verlagerung eines Großteils der Raumnutzung vom Wald auf das angrenzende Offenland stattfindet. Auch bei den in Abbildung 11 dargestellten mittleren monatlichen Streifgebietsgrößen aller weiblichen Tiere bestätigt sich der Eindruck aus dem Vergleich der beiden Karten. Im Durchschnitt sind die Streifgebiete in den ersten drei Monaten des Jahres am größten (Maximum im Februar: 115 ha). Danach sinken sie auf den im Jahresverlauf niedrigsten Wert von 17 ha im Juni, steigen im Verlauf des Sommers wieder und liegen von August bis Dezember im Bereich zwischen 60 und etwa 80 ha. Im Jahresmittel beträgt die monatliche Streifgebietsgröße 70 ha (Vegetationsperiode: 51 ha; Vegetationsruhe: 97 ha). Die Unterschiede der Streifgebietsgröße zwischen den Monaten sind insgesamt nicht signifikant (Friedman-Test,  $\chi^2 = 10.92$ , FG = 11,  $p = 0.45$ ). Gleiches gilt auch für die Unterschiede zwischen Vegetationsperiode und -ruhe (Wilcoxon-Test,  $V = 24$ ,  $p = 0.63$ ).

Die Veränderungen der monatlichen Streifgebietsgröße verlaufen bei den männlichen Rehen anders als bei den untersuchten Ricken (Abbildung 11). Die Streifgebietsgröße nimmt hier nach einem niedrigen Niveau über den Großteil des Winters (Minimum im Januar: 24 ha) erst zu und bleibt den gesamten Sommer und Herbst über relativ konstant zwischen 30 und 50 ha. Im Mai wird mit 82 ha das Jahresmaximum erreicht. Die Größe der monatlichen Streifgebiete liegt im Mittel des Jahres (50 ha) und der Vegetationsruhe (42 ha) unter der der weiblichen Tiere, im Mittel der Vegetationsperiode hingegen leicht darüber (57 ha). Insgesamt erscheinen die jahreszeitlichen Unterschiede weniger ausgeprägt als die der weiblichen Tiere.

### **3.2.2 Wegstrecken zwischen den Ortungen im Jahresverlauf**

Für die jahreszeitliche Veränderung der mittleren Wegstrecke zwischen den Ortungsintervallen gilt Ähnliches wie für die Streifgebietsgrößen. Die Kurvenverläufe der beiden Parameter in Abbildung 11 ähneln sich entsprechend: Bei den Ricken werden überdurchschnittlich hohe mittlere Wegstrecken vor allem in den Monaten außerhalb der Vegetationsperiode zurückgelegt (Maximum im Dezember: 516 m). Im Unterschied zur Streifgebietsgröße sinkt die mittlere Wegstrecke nicht unmittelbar nach dem Ende des Winters, sondern erreicht im

März und April erneut Höchstwerte, nimmt danach aber ebenfalls kontinuierlich bis zum Jahresminimum im Juni (145 m) ab. Im restlichen Jahr steigt und fällt die mittlere Wegstrecke genau wie die mittlere Streifgebietsgröße. Über das ganze Jahr betrachtet liegt die mittlere Wegstrecke der weiblichen Tiere bei 358 m (Vegetationsperiode: 309 m; Vegetationsruhe: 427 m). Die Unterschiede der mittleren Wegstrecke im Jahresverlauf sind weder zwischen den Monaten (Friedman-Test,  $\chi^2 = 13.31$ , FG = 11,  $p = 0.45$ ) noch zwischen den Vegetationsphasen (Wilcoxon-Test,  $V = 20$ ,  $p = 0.95$ ) signifikant.

Die durchschnittliche Wegstrecke der Böcke steigt ebenfalls nach der zweiten Winterhälfte an, ist im restlichen Jahr aber ähnlich wie auch die Streifgebietsgröße wesentlich konstanter als bei den Ricken. Zwischen März und Dezember betragen die Schwankungen von Monat zu Monat nur selten mehr als 50 m. Das Jahresmaximum liegt im April (425 m), das Jahresminimum im Februar (191 m). Obwohl sich das Jahresmittel der Wegstrecke (345 m) kaum von dem der Weibchen unterscheidet, treten die Unterschiede bei den Mittelwerten der Vegetationsphasen deutlicher hervor (Vegetationsperiode: 376 m; Vegetationsruhe: 311 m).

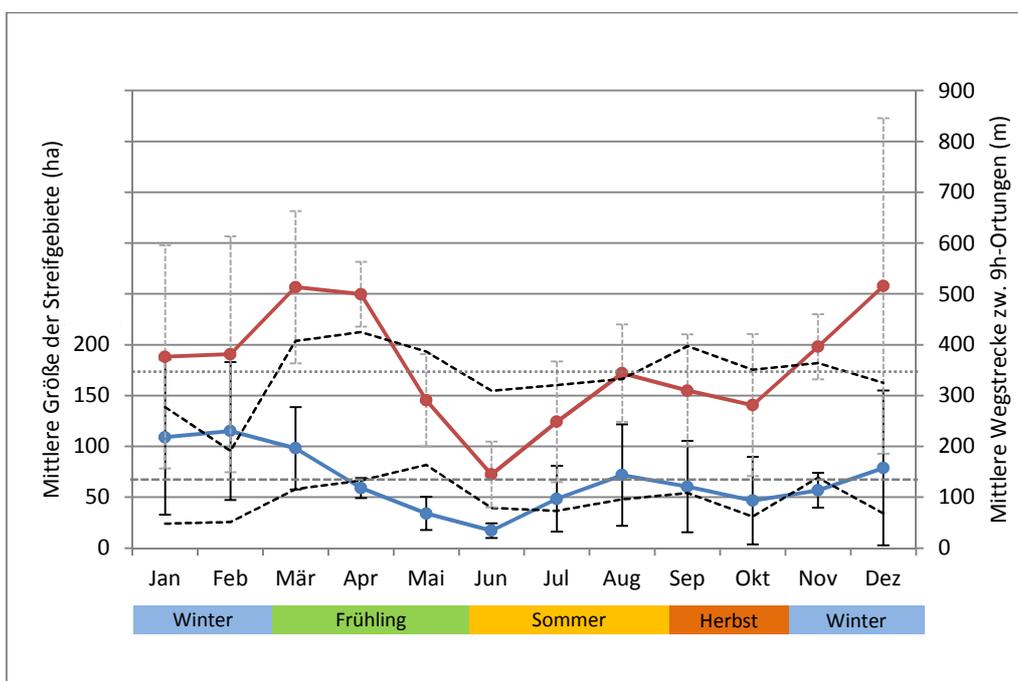


Abbildung 11: Mittlere Größe der monatlichen Streifgebiete (blaue Linie) und mittlere Wegstrecke zwischen den 9h-Ortungen (rote Linie) der weiblichen Rehe im Jahresverlauf. Die Fehlerbalken stehen für die zugehörigen Standardabweichungen, die waagrechten grauen Linien zeigen den Jahresmittelwert der monatlichen Streifgebietsgröße (70 ha; gestrichelt) und der Wegstrecke zwischen den 9h-Ortungen (358 m; gepunktet) aller weiblichen Individuen. Zum Vergleich zeigen die gestrichelten schwarzen Linien die entsprechenden Streifgebietsgrößen (untere Linie) und Wegstrecken (obere Linie) der männlichen Tiere. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind hier keine Fehlerbalken und Jahresmittelwerte (Streifgebiete: 50 ha; Wegstrecken: 345 m) eingetragen.

## 4 Diskussion

### 4.1 Zeitlicher Verlauf verschiedener Parameter der Aktivität

#### 4.1.1 Mittlere Aktivität im Tages- und Jahresverlauf

Mit den angewandten Methoden der Datenerfassung und -auswertung konnten einige bereits gemachte Beobachtungen zum Verhalten des Rehs bestätigt werden: Wie zu erwarten war, wechselten sich im Tagesverlauf der untersuchten Tiere Phasen hoher und niedriger Aktivität ab und Schwerpunkte der Aktivität traten über das ganze Jahr hinweg zu den Dämmerungszeiten auf. Dieses bipolare Aktivitätsmuster war sowohl bei den Ricken als auch bei den Böcken zu erkennen. Diese Aussagen decken sich mit denen zahlreicher anderer Autoren (BERG 1978, ELLENBERG 1978, TURNER 1980, CEDERLUND 1981, JEPPESEN 1989). In Übereinstimmung mit JEPPESEN (1989), aber im Unterschied zu CEDERLUND (1981) traten Aktivitätsschwerpunkte zur Dämmerung besonders auffällig im Winter in Erscheinung: Die Aktivitätsniveaus der Dämmerung und des restlichen Tages unterschieden sich zu dieser Jahreszeit und auch im Herbst am deutlichsten voneinander. Ob diese Unterschiede der Ergebnisse durch die verschiedenen angewandten Methoden bedingt sind, auf lokale Gegebenheiten der jeweiligen Untersuchungsgebiete zurückgehen oder gar die hohe Plastizität im Verhalten der Art widerspiegeln, ist nicht bekannt.

Eine ausgeprägte tägliche und individuelle Variation ihrer Aktivität scheint ebenfalls charakteristisch für das Verhalten von Rehen zu sein, wie CEDERLUND (1981) betont. Er schlussfolgerte dies, da ihre Aktivität im Tagesverlauf abgesehen von den Dämmerungsphasen keine regelmäßige Synchronisation aufweist. ELLENBERG (1978) und JEPPESEN (1989) stellten zwar fest, dass die tägliche Aktivität zwischen einzelnen Rehen im Winter stärker synchronisiert ist als im Sommer (was sie auf das im Jahresverlauf unterschiedliche Sozialverhalten der Art zurückführten), dennoch blieb sie zu allen Jahreszeiten sehr variabel. Mit der in dieser Arbeit genutzten Langzeitregistrierung der Aktivität wurden einerseits große Unterschiede zwischen einzelnen Tagen und Individuen sichtbar, andererseits ließ sich das beschriebene „polyphasische Aktivitätsmuster“ (JEPPESEN 1989) mit Maximalwerten während der Dämmerung bei allen Tieren deutlich erkennen. Im Gegensatz zu den erwähnten Arbeiten konnte mit Hilfe der Aktivitätsmessung über Beschleunigungssensoren allgemein nicht nur gezeigt werden, wie die Häufigkeit der Aktivität täglich variiert und durch die Dämmerung synchronisiert

wird, sondern auch ihre Intensität. Auch KROP-BENESCH et al. (2013) wiesen mit dieser Methode derartige Schwankungen des Aktivitätsniveaus im Tagesverlauf nach.

Auch die festgestellten jahreszeitlichen Unterschiede der Aktivität finden Entsprechungen in den Ergebnissen anderer Arbeiten: Im Sommerhalbjahr sind Rehe durchschnittlich aktiver als im Winterhalbjahr (CEDERLUND 1981, JEPPESEN 1989). Ein Anstieg der Aktivität nach Ende des Winters, wie ihn TURNER (1978) beschrieb, konnte ebenfalls beobachtet werden. Obwohl er in einer späteren Veröffentlichung (TURNER 1979) vermutete, dass weibliche und männliche Tiere in ihrem Verhalten verschieden auf den hohen Energiebedarf im Winter reagieren (weniger Bewegung vs. höhere Nahrungsaufnahme), wurde in der vorliegenden Arbeit eine allgemein verringerte Aktivität zu dieser Jahreszeit bei beiden Geschlechtern festgestellt. Insgesamt lässt sich die eingangs formulierte Hypothese, dass die Aktivität zur Vegetationsperiode höher ist als zur Vegetationsruhe, bestätigen (zur Anzahl der Aktivitätsschübe s. Abschnitt 4.1.3).

Die recht deutliche Reduzierung der Aktivität von Rehen im Winter ist nicht weiter überraschend, da dies für nahezu alle Tierarten der gemäßigten und nördlichen Breiten zutrifft (ASCHOFF 1962). Auch bei anderen Cerviden wie Rothirsch (GEORGII & SCHRÖDER 1983, ARNOLD 2005), Elch (CEDERLUND 1989) und Weißwedelhirsch (BEIER & McCULLOUGH 1990) wurde dies bereits nachgewiesen. Der Wechsel der Jahreszeiten, die circaannuale Periodik, hat insbesondere in äquatorfernen Teilen der Erde bedeutende Auswirkungen auf die Primärproduktion und somit auf die Nahrungsverfügbarkeit und die Thermoregulation für die betroffenen Tiere (KAPPELER 2012): Ein sparsamer Umgang mit den zur Verfügung stehenden Energiereserven durch die Vermeidung von Aktivität ist im kalten und nahrungsarmen Winter eine notwendige Voraussetzung für das Überleben. In einer Untersuchung von TURNER (1980) sank die Aktivität von Rehen mit abnehmender Umgebungstemperatur und bei starkem Wind. Auch bei einer hohen Schneedecke sind die Tiere wenig aktiv, da sie hemmend auf ihre Fortbewegung wirkt und es erschwert, an darunter liegende Nahrungspflanzen zu gelangen (CEDERLUND 1981). Für Weißwedelhirsche beschreiben BEIER & McCULLOUGH (1990) ein ähnliches Verhalten.

Es wird ersichtlich, dass der Energiehaushalt eine elementare Rolle im Verhalten des Rehs spielt (TURNER 1980) und die Ernährung nicht nur seine tageszeitliche Aktivität „diktiert“ (KURT 1991) (s. dazu auch Abschnitt 4.1.3). Die Aktivität im Jahresverlauf hängt ebenfalls in

erster Linie mit dem variablen Nahrungsangebot zusammen (JEPPESEN 1989). Soziale Interaktionen oder unmittelbar einwirkende Faktoren des Klimas (Lufttemperatur, Wind) sind im Vergleich dazu weniger bedeutend (CEDERLUND 1981). Als Ausnahme kann hier in gewissem Sinne die Brunft gelten, in der das auffällige Verhalten von geschlechtsreifen Böcken weithin bekannt ist (KURT 1991). Es wurde bereits beschrieben, dass männliche Rehe dabei erkennbar an Körpergewicht verlieren (STUBBE 2008), was als Indiz für eine besonders hohe Aktivität gelten kann. Letzteres bestätigen etwa die Befunde von JEPPESEN (1989). KROP-BENESCH et al. (2013) wiesen mit derselben Technik, die für vorliegende Arbeit genutzt wurde, ebenfalls eine intensivere Aktivität von Böcken zur Brunft nach. In dieser Arbeit konnte eine entsprechende Beobachtung zumindest beim Bock M2 gemacht werden - weitere Daten zur Aktivität männlicher Tiere während der Paarungszeit waren nicht vorhanden.

Insgesamt ist die saisonale Veränderung der Aktivität als eine Form der evolutionären Anpassung an die jeweils herrschenden Umweltbedingungen zu interpretieren (ASCHOFF 1989, KURT 1991, SCHEIBE et al. 2001). Mit der angewandten Methode lassen sich jahreszeitliche Aktivitätsunterschiede für Rehe gut nachweisen und auch zur Untersuchung der Aktivität vergleichbarer Arten sollte sie sich entsprechend eignen.

#### **4.1.2 Tag-Nacht-Verhältnis im Jahresverlauf**

Nach den Ergebnissen dieser Arbeit wiesen die untersuchten Rehe zu allen Monaten der Vegetationsperiode im Gegensatz zum übrigen Jahr eine leichte Tendenz zur Nachtaktivität auf. CEDERLUND (1981) stellte bei Rehen im Sommer ebenfalls ein derartiges Verhalten fest, während ELLENBERG (1978) und JEPPESEN (1989) davon abweichende Beobachtungen machten: Ihren Untersuchungen zufolge tritt eine erhöhte Aktivität zu den Nachtstunden insbesondere im Herbst und Winter auf, nicht aber in den Sommermonaten. Auch BERG (1978) beobachtete im Winter eine fast doppelt so lange „rein nächtliche Aktivität“ wie im Sommer (sechs bzw. etwas mehr als drei Stunden).

Wird die Aktivität von primär tag- bzw. dämmerungsaktiven Tierarten wie dem Reh (GUTHÖRL 1994) auf die Nachtstunden ausgedehnt oder sogar zu einem Großteil verlagert, kommen dafür verschiedene Ursachen in Frage: CEDERLUND (1981) vermutet, dass es im Sommer starke Aktivität am Tag aufgrund der hohen Lufttemperatur vermeidet und stattdessen auf die küh-

lere Nacht ausweicht. Ein derartiges Verhalten wurde bereits bei anderen großen Herbivoren wie Przewalski-Pferden, *Equus ferus przewalskii* (BERGER et al. 1999), oder Rothirschen (BERGER et al. 2002) beobachtet. BOER et al. (2004) stellten bei hoher Umgebungstemperatur eine verringerte Fortbewegung von Rehen fest. KURT (1991) vertritt die Ansicht, dass Rehe zumindest zeit- oder gebietsweise auch unter natürlichen Bedingungen nachts aktiv sein müssen, um ihren Nahrungsbedarf zu decken. Dennoch interpretiert er wie viele andere Autoren eine ausgeprägte Nachtaktivität der Tiere vor allem als eine mögliche Auswirkung von Störungen durch den Menschen (BÄRTSCHI 1983, REICHHOLF 1993, GUTHÖRL 1994, BÜKER et al. 1999, WIESMAYR et al. 2005).

Auf welche dieser möglichen Ursachen die negativen monatlichen Mittelwerte des Tag-Nacht-Verhältnisses zwischen April und Oktober letztendlich zurückzuführen sind, kann nicht mit Sicherheit beantwortet werden. Einige der aufgeführten natürlichen und anthropogen bedingten Faktoren, denen ein Zusammenhang mit erhöhter Nachtaktivität nachgesagt wird, sind während der Vegetationsperiode besonders wirksam: Für die Annahmen von CEDERLUND (1981) und KURT (1991) sprechen etwa die höhere Durchschnittstemperatur sowie die vergleichsweise hohe Anzahl an Aktivitätsschüben, die vermutlich aus dem großen Angebot an leicht verdaulicher Nahrung resultiert (s. Abschnitt 4.1.3). Obwohl das Untersuchungsgebiet in einer touristisch eher schwach erschlossenen Region liegt, kann zwischen Frühling und Herbst zudem mit einem erhöhten Besucherverkehr gerechnet werden, was sich auf die Häufigkeit und Intensität von Störungen auswirkt (KURT 1991, GUTHÖRL 1994).

Nachdem das negative Tag-Nacht-Verhältnis zur Vegetationsperiode diskutiert wurde, muss festgehalten werden, dass auch die positiven monatlichen Mittelwerte dieses Parameters stets nur leicht über 0 lagen (Maximum im Februar: 0,18). Daraus folgt, dass der Anteil nächtlicher Aktivität an der Gesamtaktivität das ganze Jahr über relativ hoch ist, selbst wenn die Aktivität am Tag überwiegt (zur Erinnerung: Ein Wert von 0 bedeutet ein ausgeglichenes Verhältnis der Aktivität zwischen Tag und Nacht). Die Frage, ob dies als normal bzw. natürlich angesehen werden kann, lässt sich an dieser Stelle nicht klären, da für das Reh keine vergleichbaren Werte unter völlig ungestörten Bedingungen vorliegen. Ein möglicher Einflussfaktor, der zu einem derart hohen Anteil der nächtlichen Aktivität von Rehen führen könnte und im Untersuchungsgebiet beinahe ganzjährig wirkt, ist die Jagd (REICHHOLF 1993, HERBOLD 1995, BÜKER et al. 1999, PEGEL & THOR 2000, BENHAIEM et al. 2008). Da die Ergebnisse

dieser Arbeit aber keine sichtbaren Veränderungen des Tag-Nacht-Verhältnisses nach Jagd- und Schonzeiten erkennen lassen (insgesamt darf in Brandenburg nur im März und April überhaupt keine Jagd auf Rehe stattfinden, s. Abschnitt 2.1), kann sich die Verteilung offenbar nicht allein dadurch erklären lassen. Eine detaillierte Untersuchung dieser Frage (samt Differenzierung nach Geschlechtern und jagdrechtlich relevanten Altersklassen) mit Hilfe der eingesetzten Methode ist ein denkbarer Ansatz für weitere Forschungsarbeiten.

#### **4.1.3 Aktivitätsschübe im Jahresverlauf**

Über die Anzahl von Aktivitätsschüben pro Tag und deren Dauer liegen bereits einige Erkenntnisse aus früheren Untersuchungen vor. Wie bereits dargelegt, werden ultradiane Aktivitätsmuster von Wiederkäuern wesentlich von ihrer Ernährung bestimmt (SCHEIBE et al. 1999, SCHEIBE et al. 2001): In der Regel sind Phasen der Nahrungsaufnahme durch Aktivität gekennzeichnet und Phasen des Wiederkäuens spiegeln Inaktivität wider (CEDERLUND 1981).

In Anlehnung an die „Pansenfülltheorie“ von MOEN (1978), kann erwartet werden, dass in Monaten mit einem hohen Angebot an leicht verdaulicher Nahrung kürzere Ruhezeiten und mehr Aktivitätsschübe auftreten als im restlichen Jahr. KLÖTZLI (1965) beobachtete beim Reh über den Tag verteilt acht „Äsungszyklen“, konnte angesichts methodischer Schwierigkeiten aber keine Angaben zum nächtlichen Verhalten machen. Auch BERG (1978) ermittelte einen „Sommerrhythmus“ mit einer Anzahl von acht täglichen Aktivitätsschüben, die sich im „Winterrhythmus“ auf sechs verringerte. TURNER (1978) erhob keine Daten für den gesamten Jahresverlauf, konnte aber zeigen, dass Rehe im Frühling häufiger pro Tag (vierzehn- bis sechzehnmal) Nahrung aufnehmen als im Winter (achtmal). Jahreszeitliche Unterschiede mit einer Tendenz zu mehr Aktivitätsschüben im Sommer als im Winter stellten ebenfalls ELLENBERG (1978), CEDERLUND (1981) und JEPPESEN (1989) fest. Den gleichen Schluss lassen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zu. Die durchschnittliche Anzahl von Aktivitätsschüben, die dabei berechnet wurde, stimmt interessanterweise recht genau mit den Angaben von CEDERLUND (1981) überein (Sommer: elf bis zwölf, Winter: acht) - trotz beachtlicher methodischer Unterschiede. Letztlich kann die Hypothese bestätigt werden, dass zur Vegetationsperiode mehr Aktivitätsschübe pro Tag stattfinden als zur Vegetationsruhe. Wie auch im Fall der mittleren täglichen Aktivität zeigt sich, dass die Ernährung einen entscheidenden Einfluss auf das Verhalten der Art hat. Die Dauer der Vegetationsperiode bestimmt über das qualitative

und quantitative Angebot von Nahrungspflanzen im Habitat und damit letztlich auch über verschiedene Parameter der Aktivität (CEDERLUND 1981, KURT 1991).

Weniger eindeutig sind die bisher gemachten Aussagen zur Dauer der einzelnen Aktivitätsschübe. Obwohl sie eine sehr ähnliche Methode zur Datenaufnahme nutzten, widersprechen sich zwei Autoren dazu sogar: CEDERLUND (1981) spricht im Sommer von durchschnittlich längeren Aktivitätsschüben als im Winter, JEPPESEN (1989) kommt zu gegenteiligen Resultaten. Beide betonen in dieser Hinsicht aber eine große individuelle und geschlechtsspezifische Variabilität. KROP-BENESCH et al. (2013) konnten auch über genaue Aktivitätsmessungen weder bei Männchen noch bei Weibchen eindeutige saisonale Veränderungen des Parameters ausmachen. In der vorliegenden Untersuchung wurden ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den Monaten sowie der Vegetationsperiode und -ruhe festgestellt. Am längsten waren die Aktivitätsschübe jedoch ähnlich wie bei CEDERLUND (1981) in einzelnen Monaten der Jahreszeiten Frühling und Herbst. Dies könnte mit einer erhöhten Nahrungsaufnahme vor längeren Zeiten des Jahres mit einem hohen Energiebedarf zusammenhängen (Laktation und territoriales Verhalten im Sommer, geringes Nahrungsangebot und Kälte im Winter). CEDERLUND (1981) vermutet Zusammenhänge von langen Aktivitätsschüben mit besonderen Aspekten der Nahrungssuche oder des Wander- und Sozialverhaltens der Tierart.

Es scheint insgesamt, dass die Dauer der Aktivitätsschübe von einigen Faktoren beeinflusst wird, die im Jahresverlauf unregelmäßig variieren und somit kein eindeutiges jahreszeitliches Muster erkennen lassen. Der individuelle Zugang zu bevorzugten Habitaten, die neben einem hohen Angebot an Nahrung auch über Deckung sowie störungsarme Bedingungen verfügen, damit eine optimale Nahrungsaufnahme möglich ist (ELLENBERG 1978, BENHAIEM et al. 2008), mag dabei eine Rolle spielen.

#### **4.1.4 Parameter der Rhythmikanalyse im Jahresverlauf**

Der LKG wurde bereits in mehreren Publikationen als möglicher Indikator für den Einfluss von Stressfaktoren auf die Lebensweise verschiedener großer Herbivorenarten beschrieben: Ein Absinken der Werte kann sowohl eine Folge menschlicher Störungen (physische Anwesenheit, akustische Störungen, Immobilisation) als auch natürlicher oder umweltbedingter Vorgänge (soziale Interaktionen, Geburt von Jungen, Krankheiten, Anpassung an veränderte

Umweltbedingungen) sein (BERGER et al. 1999, BERGER et al. 2002, SCHEIBE et al. 1999). Dies trifft auch auf den HA zu (BERGER et al. 2003).

Im Unterschied zum Tag-Nacht-Verhältnis konnten keine signifikanten Unterschiede von LKG und HA zwischen Vegetationsperiode und -ruhe festgestellt werden. Es kommen demnach auch weitere als die unter dem entsprechenden Abschnitt (4.1.2) aufgezählten Einflussfaktoren in Frage. Die im Jahresverlauf niedrigsten Werte beider Messgrößen traten von Dezember bis Februar sowie von Juni bis August auf. Im Winter ist dies als eine mögliche Folge des qualitativ und quantitativ geringeren Nahrungsangebots sowie der rauen klimatischen Bedingungen zu interpretieren. Auch BERGER et al. (1999) vermutet bei Przewalski-Pferden hinter dem Rückgang des LKG in den Wintermonaten einen derartigen Zusammenhang. Die sommerlichen Jahrestiefstwerte könnten dagegen primär durch das natürliche Verhalten der Art bedingt sein. ELLENBERG (1978) schloss aus der Desynchronisation der Aktivität einer Rehpopulation in Gefangenschaft auf starken „sozialen Antagonismus“ im Sommer und somit auf intraspezifisch verursachten Stress (etwa durch das territoriale Verhalten der Männchen). In besonderem Maße relevant ist dies für die Brunftzeit im Juli und August, in der auch ein niedriges mittleres Niveau von LKG und HA vorherrschte. Bei den Ricken, die im Zeitraum ihrer Untersuchung im gebärfähigen Alter waren und für die Daten zum Sommer vorlagen (W1 und W7), könnten die niedrigen Werte mit der Jungenaufzucht und Laktation erklärt werden. Da die Reproduktion bei diesen beiden Tieren aber nicht durch Beobachtungen belegt werden konnte, muss diese Annahme spekulativ bleiben. Für nur wenige andere Wildtierarten wurde bisher nur festgestellt, dass weibliche Tiere kurz vor der Geburt ihrer Jungtiere einen unterdurchschnittlichen LKG aufweisen (SCHEIBE et al. 1999). Eine weitere mögliche Erklärung für das Absinken von LKG und HA der Rehe im Sommer ist die deutliche Ausweitung ihrer räumlichen Aktivität auf Offenflächen (Abbildung 10), wo weniger Deckung vorhanden und ihre Sichtbarkeit hoch ist. Das Auftreten von Verhaltensweisen, die der Senkung des Prädationsrisikos dienen, hängt unter anderem von den Vegetationsstrukturen im Habitat ab (BOER et al. 2004, BENHAIEM et al. 2008). Eine erhöhte Wachsamkeit durch das häufige Verlassen der Deckung könnte sich demnach auch auf LKG und HA auswirken.

Durch Jagd und andere anthropogene Störungen allein lässt sich der Jahresverlauf beider Größen offenbar nicht erklären. Sowohl zur Jagdzeit von Mai bis Februar als auch zwischen

Frühling und Herbst, wenn sich potenziell mehr Besucher wie Wanderer oder Pilzsammler im Gebiet aufhalten als im Winter, variierten die Werte sehr stark.

Für die Veränderungen von LKG und HA im Jahresverlauf gilt letztendlich Ähnliches wie für das Tag-Nacht-Verhältnis: Da keine Referenzdaten zur Verfügung stehen, die unter vom Menschen möglichst unbeeinflussten Bedingungen erhoben wurden, können die Ursachen für die Ausprägung der beiden Parameter nicht vollständig geklärt werden. Auch ob das ermittelte - im Vergleich zu bisherigen Untersuchungen an anderen Arten (SCHEIBE et al. 1999, BERGER et al. 2002, BERGER et al. 2003) relativ geringe - Niveau der Werte als normal oder natürlich für das Reh gelten kann, ist mit dem aktuellen Stand des Wissens nicht eindeutig zu beantworten.

## **4.2 Zeitlicher Verlauf verschiedener Parameter der Raumnutzung**

### **4.2.1 Größe der Streifgebiete im Jahresverlauf**

Zur Ermittlung der Streifgebietsgröße des Rehs mit unterschiedlichen Methoden gibt es eine Vielzahl von Untersuchungen, deren Ergebnisse an dieser Stelle nicht erschöpfend behandelt werden können. Neuere Arbeiten zum Thema liegen beispielsweise von KJELLANDER et al. (2004), SAÏD et al. (2005) und PELLERIN et al. (2008) vor. In einer Gesamtbetrachtung lässt sich sagen, dass die Streifgebietsgröße des Rehs sehr variabel ist und hochgradig von zahlreichen Umweltfaktoren abhängt, wie etwa der Vegetation und Produktivität des Lebensraums (FRUZINSKI et al. 1983, TUFTO et al. 1996, SAÏD et al. 2005), der intra- (FRUZINSKI et al. 1983, PEGEL & THOR 2000, KJELLANDER et al. 2004) und interspezifischen Konkurrenz (KRAMER et al. 2006) sowie darauf wirkenden anthropogenen Einflüssen. Darüber hinaus haben das Geschlecht der Tiere sowie die Jahreszeit einen teils erheblichen Einfluss auf die Raumnutzung der Tiere (s.u.). ELLENBERG (1978) sprach in diesem Zusammenhang vom „Pulsieren der Homeranges im Jahresverlauf“.

Unter mitteleuropäischen Verhältnissen, also in überwiegend produktiven Ökosystemen mit einer gebietsweise sehr hohen Abundanz des Rehs (für eine Übersicht s. HOLTMEIER 2002), wurden bereits relativ kleine Streifgebiete der Art ermittelt: Die mittlere jährliche Streifgebietsgröße aller von PEGEL & THOR (2000) untersuchten Rehe lag knapp über 16 ha, wobei keine wesentlichen Unterschiede zwischen Sommer (15,7 ha) und Winter (16,9 ha) oder bei-

den Geschlechtern (♀: 16,4 ha; ♂: 16,3 ha) festgestellt wurden. Die Größen waren jedoch individuell verschieden und variierten grob zwischen 6 und 30 ha. CEDERLUND (1983) gab für Ricken einen Jahresmittelwert von 19 ha an, für Böcke 37 ha. Er konnte zudem beobachten, wie sich die Streifgebietsgrößen beider Geschlechter saisonal veränderten: Männchen hatten von April bis Juni ihre größten Aktionsräume (ca. 37 ha), während dies für Weibchen von Oktober bis Dezember zutraf (ca. 27 ha). Als Ursache werden sowohl Aspekte des Sozialverhaltens (Territorialität männlicher Rehe) als auch des Energiehaushalts (Ausweitung der Streifgebiete bei geringem Nahrungsangebot) vermutet. KJELLANDER et al. (2004) zeigten experimentell, dass Ricken ihre Streifgebiete unter verschiedenen Umweltbedingungen zweier Studiengebiete im Winter stets vergrößerten (bis über 60 ha). Die Streifgebietsgröße der Böcke war dagegen im Jahresverlauf meist konstanter.

In der vorliegenden Arbeit waren die Streifgebiete weiblicher Rehe im Vergleich mit denen der erwähnten Untersuchungen zumindest monatsweise relativ hoch (bis über 100 ha, Jahresmittelwert: 70 ha), was allerdings methodisch bedingt sein könnte (s.u.). Es ergab sich für Ricken kein signifikanter Unterschied der Streifgebietsgröße zwischen den beiden Vegetationsphasen. Die Ergebnisse für die männlichen Rehe können aufgrund der sehr kleinen Stichprobengröße nicht verallgemeinert werden. Dennoch lassen sich Parallelen zu den Studien von CEDERLUND (1983) und KJELLANDER et al. (2004) erkennen: Die Jahresminima der monatlichen Streifgebietsgrößen von Ricken lagen im Sommerhalbjahr. In der Setzzeit von Mai bis Juni waren die Werte zudem besonders gering, was auf eine eingeschränkte Raumnutzung in der frühen Phase der Jungenaufzucht hinweist (ELLENBERG 1978, KURT 1991). Zwischen Dezember und März wurden dagegen relativ große Streifgebiete genutzt. Offenbar müssen die Tiere in dieser Zeit zur Nahrungssuche ein größeres Areal durchstreifen, um ihren Nahrungsbedarf zu decken. Interessanterweise traf dies nicht für die Böcke zu, deren Winterstreifgebiete im Vergleich zu den Ricken sehr klein waren. Vermutlich schränken sie die Fortbewegung ein, um so ihren Energiebedarf zu senken (CEDERLUND 1983). TURNER (1979) bezog sich in einer Untersuchung der winterlichen Aktivität von Rehen zwar nicht explizit auf die Raumnutzung der Tiere, seine Befunde deuten jedoch eher auf das Gegenteil dieser Feststellung hin: Demnach sind vor allem männliche Rehe im Winter aktiv (höhere Nahrungsaufnahme) während Ricken ihre Aktivität eher verringern (weniger Bewegung). Unabhängig davon weiteten die wenigen Böcke, deren Daten im Rahmen dieser Arbeit ausgewertet wurden, mit

dem Beginn ihres territorialen Verhaltens nach dem Ende des Winters ihre Streifgebietsgrößen aus.

Zum angewandten Vorgehen müssen abschließend einige kritische Anmerkungen erfolgen: Die Methode, mit der Streifgebietsgrößen berechnet werden, der Zeitbezug sowie die Stichprobengröße wirken sich erheblich auf das Ergebnis aus (HARRIS et al. 1990, WHITE & GARROTT 1990, POWELL 2000, BÖRGER et al. 2006). Dies führt dazu, dass die Resultate verschiedener Untersuchungen oft nur bedingt miteinander vergleichbar sind (FRUZINSKI et al. 1983, PEGEL & THOR 2000, PELLERIN et al. 2008). Insbesondere die gewählte MCP-Methode gilt als sehr ungenau, da die Berechnung Areale mit einschließt, die effektiv nie vom untersuchten Tier genutzt wurden, und die Streifgebietsgröße somit systematisch überschätzt (HARRIS et al. 1990, WHITE & GARROTT 1990, POWELL 2000). Angesichts heute verfügbarer Alternativen wird vom Einsatz der Methode zunehmend abgeraten (BURGMAN & FOX 2003, BÖRGER et al. 2006, NILSEN et al. 2008). Der Schwerpunkt dieser Arbeit lag jedoch eindeutig auf der Analyse der Aktivitätsdaten - nicht zuletzt deshalb, weil sie bisher selten in dieser Form erhoben wurden (KROPP-BENESCH et al. 2013). Für die Auswertung der Ortungsdaten wurde daher mit der MCP-Methode ein Verfahren gewählt, das sich relativ einfach anwenden ließ und dessen Genauigkeit für die Fragestellungen der Untersuchung als ausreichend angesehen wurde. Das Ziel war nicht die möglichst exakte Berechnung von Streifgebietsgrößen, sondern die Beobachtung von Veränderungen dieses Parameters im Lauf des Jahres.

Darüber hinaus ist anzumerken, dass der Interpretation der Ergebnisse aufgrund der relativ geringen Stichprobengröße gewisse Grenzen gesetzt sind. BÖRGER et al. (2006) veranschaulichen, wie die Ergebnisse von Streifgebietsanalysen in solchen Fällen durch individuell verschiedene Verhaltensweisen beeinflusst werden können. Unter derartigen Umständen erscheint es schwierig, generell gültige Muster der Raumnutzung aufzudecken. Dies ist auch insofern interessant, als dass die Autoren ihre Aussagen unter anderem auf Grundlage einer Untersuchung treffen, die ebenfalls an Rehen durchgeführt wurde. Die bereits erwähnte Feststellung, dass das Verhalten der Tierart selbst nach Individuen stark variiert und offensichtlich an die unterschiedlichsten Lebensbedingungen angepasst werden kann, gewinnt dadurch zusätzlich an Bedeutung.

#### 4.2.2 Wegstrecken zwischen den Ortungen im Jahresverlauf

Wie bereits zur MCP-Methode angedeutet wurde, ist die Berechnung von Streifgebietsgrößen stets mit gewissen Schwierigkeiten verbunden (GAUTESTAD & MYSTERUD 1995). Mehrere Autoren halten die Fehlerquellen der verschiedenen verfügbaren Methoden für derart groß, dass sie stattdessen alternative Verfahren wie die Berechnung der Wegstrecken zwischen einzelnen Ortungen empfehlen (WHITE & GARROTT 1990, POWELL 2000, KIE et al. 2010).

Auch PEGEL & THOR (2000) berechneten für Rehe neben der Streifgebietsgröße die mittlere zurückgelegte Entfernung zwischen Einzelortungen und untersuchten deren Veränderung im Jahresverlauf. Sie stellten neben großen individuellen Unterschieden einen generellen Anstieg der Laufstrecken im Winter fest (eine Unterscheidung der Geschlechter nahmen sie dabei nicht vor). Mit dem Beginn der Vegetationsentwicklung im Frühjahr sanken die Werte wieder. Als Ursache für die schwankende Mobilität vermuteten sie daher Zusammenhänge mit der Nahrungssuche der Tiere. Die geringsten Laufstrecken verzeichneten sie etwa von April bis Juni.

Zumindest für die Ricken lässt sich feststellen, dass diese Aussagen in hohem Maße mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit übereinstimmen. Betrachtet man die berechneten Wegstrecken und deren Entwicklung im Jahresverlauf, so werden zudem Parallelen zur Streifgebietsgröße sichtbar. Die Jahregänge beider Parameter lassen sich demnach auch sehr ähnlich interpretieren und wohl in erster Linie mit dem Nahrungsangebot in Verbindung bringen (s. Abschnitt 4.2.1.). Obwohl die Unterschiede zwischen den Vegetationsphasen nicht signifikant waren, fällt auf, dass sich die Tiere in den meisten Monaten mit einem hohen Nahrungsangebot eher über geringe Entfernungen bewegten. Minimalwerte der Wegstrecken fallen wie auch bei der Streifgebietsgröße auf die Setzzeit. Warum allerdings die mittlere monatliche Wegstrecke nach dem Ende des Winters auf sehr hohe Werte im März und April ansteigt und erst danach abfällt, ist nicht vollständig klar. Dieses Verhalten könnte mit dem Wechsel vom Winter- zum Sommerstreifgebiet zusammenhängen (s. Abbildung 10). Offenbar vollzieht sich diese räumliche Veränderung nach dem Ende des Winters nur allmählich und die Tiere legen in den ersten Frühlingsmonaten noch größere Strecken zwischen beiden Teilen des Jahresstreifgebiets zurück. Die mittleren monatlichen Wegstrecken zwischen den Ortungen machen diesen Übergang gut sichtbar, da bei der Berechnung des Parameters im Gegensatz zur monatlichen Streifgebietsgröße keine Ausreißer entfernt wurden.

### 4.3 Verhalten des Rehs unter dem Einfluss des Wolfs

Eine Tatsache, auf die bislang nicht eingegangen wurde, ist, dass im Untersuchungsgebiet seit wenigen Jahren Hinweise auf ein Vorkommen des Wolfs (*Canis lupus*) bestehen. Im Februar 2013 konnte mit Hilfe einer Fotofalle schließlich der erste Nachweis für die Art im Naturpark Hoher Fläming erbracht werden (BERGER 2013, persönliche Mitteilung). Im südwestlichen Teil Brandenburgs sind derzeit vier Wolfsrudel bekannt, darunter auch eines im Umfeld des nahegelegenen Truppenübungsplatzes Altengrabow im Bundesland Sachsen-Anhalt, das erstmals im Jahr 2009 mit Sicherheit bestätigt werden konnte (<[www.wolfsregion-lausitz.de](http://www.wolfsregion-lausitz.de)>, 11.04.2013). Daneben liegen auch in weiteren Teilen Brandenburgs außerhalb der Niederlausitz zahlreiche Nachweise der Art aus den letzten Jahrzehnten vor (REINHARDT & KLUTH 2007). Auch das Untersuchungsgebiet könnte bereits während der Datenaufnahme von 2007 bis 2012 Teil des Aktionsraums von einem oder mehreren Wölfen gewesen sein. Allerdings liegen darüber zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine detaillierten Informationen vor (REINHARDT 2012, persönliche Mitteilung). Es ist beispielsweise nicht bekannt, seit wann genau bzw. ob das Gebiet dauerhaft besiedelt ist oder nur von einzelnen Tieren nahe lebender Rudel durchwandert wird. Untersuchungen jeglicher Art, die Aufschluss über die Populationsgröße, die Raumnutzung oder weitere ökologische Parameter der Tiere geben könnten, wurden vor Ort bislang nicht durchgeführt (das LUGV gab Anfang 2013 eine Bestandsaufnahme der Wolfspopulation im Raum Werbig in Auftrag, die aktuell durchgeführt wird).

Es ist anzunehmen, dass sich ein stets vorhandenes Risiko der Prädation durch Beutegreifer unter anderem auf das räumliche und zeitliche Verhalten ihrer Beutetierarten auswirkt (BROWN et al. 1999, BENHAIEM et al. 2008): Die Verlagerung der Aktivität auf bestimmte Teile des Habitats oder auch auf Zeiträume im Tages- und Jahresverlauf, die von Prädatoren nicht bzw. wenig genutzt werden, ist eine mögliche Folge davon. Insbesondere Jäger befürchten zuweilen, dass die Anwesenheit des Wolfs in einem Gebiet die Jagdausübung dort deutlich erschwert und stehen daher seiner aktuellen Ausbreitungstendenz in Deutschland negativ gegenüber. Die Tatsache, dass die illegale Bejagung hierzulande als ein relevanter Mortalitätsfaktor für Wölfe eingestuft wird (REINHARDT & KLUTH 2007), macht deutlich, wie die weitere Ausbreitung großer Carnivoren in Mitteleuropa von ihrer Akzeptanz unter den Jägern abhängt (für das Beispiel des Luchses s. HERDTFELDER 2012).

Wie gezeigt wurde, lässt sich mit der in dieser Arbeit angewandten Methode sowohl die Raumnutzung als auch die Aktivität von Rehen detailliert untersuchen. Damit bietet sich eine Möglichkeit, in weiteren Studien den Einfluss des Wolfs auf das Verhalten von Arten seines Beutespektrums zu quantifizieren. Dies kann einerseits für die Erforschung der Auswirkung großer Beutegreifer auf verschiedene Ökosysteme von Interesse sein (BROWN et al. 1999, RIPPLE & BESCHTA 2004), andererseits aber auch Bedeutung für konkrete naturschutzfachliche Fragestellungen haben. Ob der Wolf tatsächlich einen erschwerenden Einfluss auf die Jagd von Rehen und anderen Schalenwildarten hat, könnte mit Hilfe der genutzten Technik genauer untersucht werden. Antworten auf derartige Fragen sind dringend nötig, um die bislang sehr emotional geführte Diskussion um die Ausbreitung des Wolfs in Deutschland zu versachlichen und Entscheidungen zum Management der Art auf Basis wissenschaftlich abgesicherter Erkenntnisse zu treffen.

## 5 Schlussfolgerungen

Rehe verfügen über ein sehr plastisches Raum-Zeit-Verhalten, das an verschiedenste Lebensbedingungen angepasst werden kann. Zahlreiche Untersuchungen, zu denen auch diese gehört, bestätigen dies. KURT (1991) fasste den Kenntnisstand zur Ökologie der Art sehr eindrücklich zusammen: „Die Ergebnisse aus den vielen Rehstudien erscheinen häufig so, als stammten sie nicht von einer, sondern von verschiedenen Tierarten, so grundlegend verschieden sind sie voneinander.“

Angesichts der gegenwärtigen Bestände in der Kulturlandschaft Mitteleuropas ist das Reh aus artenschutzfachlicher Sicht keine relevante Art. Im Gegenteil: Aufgrund von verbreiteten Wildschäden in der Forstwirtschaft, die überwiegend auf Rehe zurückgehen (ROTH 1996, PRIEN & MÜLLER 2010), wird eher eine Reduktion ihrer Populationsdichte gefordert (AMMER et al. 2010). Dennoch ist es anzustreben, dass die Art auch unter diesen Verhältnissen einer möglichst natürlichen und ungestörten Lebensweise nachgehen kann. Es wird angenommen, dass sich dadurch bestehende Konflikte mit menschlichen Landnutzungen verringern lassen: Ansätze dafür sind etwa die Ausweisung von Ruhezeiten für Wildtiere (KURT 1991, GUTHÖRL 1994), die Verkürzung der Jagdzeit (BÜKER et al. 1999, PEGEL & THOR 2000, STUBBE 2008), eine geregelte Besucherlenkung in stark von Menschen frequentierten Gebieten (GUTHÖRL 1994) oder eine umfassende „wildökologische Raumplanung“, wie sie von REIMOSER & GOSSOW (1996) gefordert wird.

Welche der erwähnten Möglichkeiten am effektivsten dafür geeignet ist, die Beeinträchtigung des natürlichen Verhaltens von Rehen durch menschliche Aktivitäten zu verringern, ist bisher nur unzureichend erforscht (für das Beispiel der Wildruhezeiten s. etwa WIESMAYR et al. 2005). Wie sich die Anwesenheit großer Prädatoren wie der des Wolfs auf verhaltensbezogene Parameter des Rehs auswirkt, ist ebenfalls nicht genauer bekannt. Die in dieser Arbeit angewandte Methode bietet das Potenzial, Antworten auf derartige Fragen zu finden und somit einen Beitrag zur Entschärfung bestehender Mensch-Wildtier-Konflikte zu leisten.

## 6 Literaturverzeichnis

- AMMER, C., VOR, T., KNOKE, T., WAGNER, S. (2010): Der Wald-Wild-Konflikt - Analyse und Lösungsansätze vor dem Hintergrund rechtlicher, ökologischer und ökonomischer Zusammenhänge, Universitätsverlag Göttingen, Göttingen.
- ANDĚL, J. (1984): Statistische Analyse von Zeitreihen, Akademie Verlag, Berlin.
- ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG (2005): Beschreibung der waldökologischen Naturräume. In: GAUER, J., ALDINGER, E. (Hrsg.), Waldökologische Naturräume Deutschlands. Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke, Verein für Forstliche Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung (VFS), Freiburg, 51-314.
- ARNOLD, W. (2005): Neue Erkenntnisse zur Winterökologie des Rotwildes - der verborgene Winterschlaf. In: REDDEMANN, J. (Hrsg.), Rotwild in Bayern - heute und morgen. Symposium des Landesjagdverbandes Bayern e. V. und der Bayerischen Akademie für Tierschutz, Umwelt- und Jagdwissenschaft, Landesjagdverband Bayern, Feldkirchen, 15-20.
- ASCHOFF, J. (1958): Tierische Periodik unter dem Einfluß von Zeitgebern. Zeitschrift für Tierpsychologie 15, 1-30.
- ASCHOFF, J. (1962): Spontane lokomotorische Aktivität. In: BEIER, M. et al. (Hrsg.), Handbuch der Zoologie. Eine Naturgeschichte der Stämme des Tierreichs, De Gruyter, Berlin, 1-76.
- ASCHOFF, J. (1989): Temporal orientation - Circadian clocks in animals and humans. Animal Behaviour 37, 881-896.
- ASCHOFF, J., GERKEMA, M. (1985): On diversity and uniformity of ultradian rhythms. In: SCHULZ, H., LAVIE, P. (Hrsg.), Ultradian rhythms in physiology and behavior, Springer, Berlin, 321-334.
- BÄRTSCHI, R. (1983): Einfluss von Dunkelheit und Störfaktoren auf die Aktivität, Sprunggröße und Gebietsausnutzung des Rehwildes (*Capreolus capreolus*). In: MERTENS, C., TURNER, D. C. (Hrsg.), Das Rehprojekt in Staffelbach und Zizers, Zoologisches Institut der Universität Zürich, Zürich, 208-219.
- BEIER, P., MCCULLOUGH, D. (1990): Factors influencing white-tailed deer activity patterns and habitat use. Wildlife Monographs 109, 1-51.
- BENHAIEM, S., DELON, M., LOURTET, B., CARGNELUTTI, B., AULAGNIER, S., HEWISON, A., MORELLET, N., VERHEYDEN, H. (2008): Hunting increases vigilance levels in roe deer and modifies feeding site selection. Animal Behaviour 76, 611-618.
- BENJAMINI, Y., HOCHBERG, Y. (1995): Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. Journal of the Royal Statistical Society B 57, 289-300.

- BERG, F.-C. VON (1978): Zum Raum-Zeit-System des Rehes. Allgemeine Forstzeitschrift 33, 48-50.
- BERG, F.-C. VON, HAUSER, G. (1976): Ein telemetrisches System für Rehwild und seine Anwendung in Raum-/Zeit-Studien. Zeitschrift für Jagdwissenschaft 22, 214-226.
- BERGER, A., SCHEIBE, K., BRELURUT, A., SCHÖBER, F., STREICH, W. (2002): Seasonal variation of diurnal and ultradian rhythms in red deer. Biological Rhythm Research 33, 237-253.
- BERGER, A., SCHEIBE, K., EICHHORN, K., SCHEIBE, A., STREICH, W. (1999): Diurnal and ultradian rhythms of behaviour in a mare group of Przewalski horse (*Equus ferus przewalskii*), measured through one year under semi-reserve conditions. Applied Animal Behaviour Science 64, 1-17.
- BERGER, A., SCHEIBE, K., MICHAELIS, S., STREICH, W. (2003): Evaluation of living conditions of free-ranging animals by automated chronobiological analysis of behavior. Behavior Research Methods, Instruments, & Computers 35, 458-466.
- BIANCHI, A., GRASSI, B., REDAELLI, W., PASINI, C., PIROLA, A., BOTACCHI, L., QUADRIO, V., MATTIELLO, S. (1998): A mechanical system for capturing wild red deer. In: ZOMBORSKI, Z. (Hrsg.), Advances in Deer Biology. Proceedings of the 4th International Deer Biology Congress, Pannon University of Agriculture, Keszthely, 334-337.
- BISSOLLI, P., MÜLLER-WESTERMEIER, G., POLTE-RUDOLF, C. (2007): Aufbereitung und Darstellung phänologischer Daten. Promet 33, 14-19.
- BOER, H. DE, BREUKELLEN, L. VAN, HOOTSMANS, M., WIEREN, S. VAN (2004): Flight distance in roe deer *Capreolus capreolus* and fallow deer *Dama dama* as related to hunting and other factors. Wildlife Biology 10, 35-41.
- BÖRGER, L., FRANCONI, N., MICHELE, G. DE, GANTZ, A., MESCHI, F., MANICA, A., LOVARI, S., COULSON, T. (2006): Effects of sampling regime on the mean and variance of home range size estimates. Journal of Animal Ecology 75, 1393-1405.
- BORTZ, J., BOEHNKE, K., LIENERT, G. (2008): Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik, Springer, Heidelberg. 3. Aufl.
- BROWN, J., LAUNDRÉ, J., GURUNG, M. (1999): The ecology of fear: optimal foraging, game theory, and trophic interactions. Journal of Mammalogy 80, 385-399.
- BRUNNER, E., DOMHOF, S., LANGER, F. (2002): Nonparametric analysis of longitudinal data in factorial experiments, Wiley, New York.
- BÜKER, A., SCHEIBE, K., STREICH, W., EICHHORN, K., SCHEIBE, A. (1999): Reaktionen von freilebenden Rehen (*Capreolus capreolus*) auf anthropogene Aktivitäten in Abhängigkeit von der Landschaftsstruktur. In: GERKEN, B., GÖRNER, M. (Hrsg.), Europäische Landschaftsentwicklung mit großen Weidetieren. Geschichte, Modelle und Perspektiven, Universität Paderborn, Paderborn, 298-309.

- BURGMAN, M., FOX, J. (2003): Bias in species range estimates from minimum convex polygons: implications for conservation and options for improved planning. *Animal Conservation* 6, 19-28.
- BURT, W. (1943): Territoriality and home range concepts as applied to mammals. *Journal of Mammalogy* 24, 346-352.
- CAGNACCI, F., FOCARDI, S., HEURICH, M., STACHE, A., HEWISON, A., MORELLET, N., KJELLANDER, P., LINNELL, J., MYSTERUD, A., NETELER, M., DELUCCHI, L., OSSI, F., URBANO, F. (2011): Partial migration in roe deer: migratory and resident tactics are end points of a behavioural gradient determined by ecological factors. *Oikos* 120, 1790-1802.
- CEDERLUND, G. (1981): Daily and seasonal activity pattern of roe deer in a boreal habitat. *Swedish Wildlife Research* 11, 313-347.
- CEDERLUND, G. (1983): Home range dynamics and habitat selection by roe deer in a boreal area in central Sweden. *Acta Theriologica* 28, 443-460.
- CEDERLUND, G. (1989): Activity patterns in moose and roe deer in a north boreal forest. *Holarctic Ecology* 12, 39-45.
- CEDERLUND, G., BERGQVIST, J., KJELLANDER, P., GILL, R., GAILLARD, J., BOISAUBERT, B., BALLON, P., DUNCAN, P. (1998): Managing roe deer and their impact on the environment: maximising the net benefits to society. In: ANDERSEN, R. et al. (Hrsg.), *The European roe deer. The biology of success*, Scandinavian University Press, Oslo, 337-372.
- COURSEY, P. DE (2004): The behavioral ecology and evolution of biological timing systems. In: DUNLAP, J. C. et al. (Hrsg.), *Chronobiology. Biological timekeeping*, Sinauer Associates, Sunderland, 27-65.
- DAAN, S., ASCHOFF, J. (1975): Circadian rhythms of locomotor activity in captive birds and mammals: their variations with season and latitude. *Oecologia* 18, 269-316.
- DOBIÁŠ, K., SEWERON, V. (2011): *Jagdbericht des Landes Brandenburg 2010/2011*, Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft (MIL) Brandenburg, Potsdam.
- DUNCAN, P., TIXIER, H., HOFMANN, R., LECHNER-DOLL, M. (1998): Feeding strategies and the physiology of digestion in roe deer. In: ANDERSEN, R. et al. (Hrsg.), *The European roe deer. The biology of success*, Scandinavian University Press, Oslo, 91-116.
- ELLENBERG, H. (1978): Zur Populationsökologie des Rehes (*Capreolus capreolus* L., Cervidae) in Mitteleuropa. *Spixiana Supplement* 2, 1-211.
- ENRIGHT, J. (1970): Ecological aspects of endogenous rhythmicity. *Annual Review of Ecology and Systematics* 1, 221-238.
- FISCHER, A. (1999): Die Waldbodenvegetation unter dem Einfluss des Schalenwildes. In: REDDEMANN, J. (Hrsg.), *Rehwild in der Kulturlandschaft. Symposium des Landesjagdverbandes*

- Bayern e. V. und der Bayerischen Akademie für Tierschutz, Umwelt- und Jagdwissenschaft, Landesjagdverband Bayern, Feldkirchen, 157-170.
- FORMAN, R., ALEXANDER, L. (1998): Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29, 207-231.
- FREVERT, W. (1992): Wörterbuch der Jägerei - Ein Nachschlagewerk fachsprachlich jagdlicher Ausdrücke, Parey, Hamburg. 5. Aufl.
- FREY, R., HENDRICH, H., ZACHOS, F. (2010): Cetartiodactyla - Paarhufer inkl. Wale. In: WESTHEIDE, W., RIEGER, R. (Hrsg.), *Spezielle Zoologie. Teil 2: Wirbel- oder Schädeltiere*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 631-671.
- FRUZINSKI, B., ŁABUDZKI, L., WLAZEŁKO, M. (1983): Habitat, density and spatial structure of the forest roe deer population. *Acta Theriologica* 28, 243-258.
- GAUTESTAD, A., MYSTERUD, I. (1995): The home range ghost. *Oikos* 74, 195-204.
- GEORGII, B., SCHRÖDER, W. (1983): Home range and activity patterns of male red deer (*Cervus elaphus* L.) in the Alps. *Oecologia* 58, 238-248.
- GILSA, H. VON (2008): Waldbau und Klima - was tun? In: FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERGS (FVA) (Hrsg.), *Wald und Klima*, FVA, Freiburg, 44-45.
- GROOT BRUINDERINK, G., HAZEBROEK, E. (1996): Ungulate traffic collisions in Europe. *Conservation Biology* 10, 1059-1067.
- GUTHÖRL, V. (1994): Aktivitätsmuster von Rehen (*Capreolus capreolus* Linné, 1758) in einem Stadtwald mit starkem Erholungsverkehr. *Zeitschrift für Jagdwissenschaft* 40, 241-252.
- HARRIS, S., CRESSWELL, W., FORDE, P., TREWHELLA, W., WOOLLARD, T., WRAY, S. (1990): Home-range analysis using radio-tracking data - a review of problems and techniques particularly as applied to the study of mammals. *Mammal Review* 20, 97-123.
- HASEL, K., SCHWARTZ, E. (2002): *Forstgeschichte - Ein Grundriss für Studium und Praxis*, Kessel, Remagen. 2. Aufl.
- HEINZE, E., BOCH, S., FISCHER, M., HESSENMÖLLER, D., KLENK, B., MÜLLER, J., PRATI, D., SCHULZE, E.-D., SEELE, C., SOCHER, S., HALLE, S. (2011): Habitat use of large ungulates in northeastern Germany in relation to forest management. *Forest Ecology and Management* 261, 288-296.
- HERBOLD, H. (1995): Anthropogener Einfluss auf die Raumnutzung von Rehwild (*Capreolus capreolus*). *Zeitschrift für Jagdwissenschaft* 41, 13-23.
- HERDTFELDER, M. (2012): Natur- und sozialwissenschaftliche Analysen anthropogen bedingter Mortalitätsfaktoren und deren Einfluss auf die Überlebenswahrscheinlichkeit des Luchses (*Lynx lynx*), Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg.

- HOFMANN, R. (1978): Die Stellung der europäischen Wiederkäuer im System der Äsungstypen. In: HOFMANN, R. (Hrsg.), *Wildbiologische Informationen für den Jäger*, Ferdinand Enke, Stuttgart, 9-18.
- HOFMANN, R. (1989): Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system. *Oecologia* 78, 443-457.
- HOLAND, Ø., MYSTERUD, A., WANNAG, A., LINNELL, J. (1998): Roe deer in northern environments: physiology and behaviour. In: ANDERSEN, R. et al. (Hrsg.), *The European roe deer. The biology of success*, Scandinavian University Press, Oslo, 117-137.
- HOLTMEIER, F.-K. (2002): *Tiere in der Landschaft - Einfluss und ökologische Bedeutung*, Ulmer, Stuttgart. 2. Aufl.
- HOOGENBOOM, I., DAAN, S., DALLINGA, J. (1984): Seasonal change in the daily timing of behaviour of the common vole, *Microtus arvalis*. *Oecologia* 61, 18-31.
- JENSSEN, M. (2009): Der klimaplastische Wald im Nordostdeutschen Tiefland - forstliche Anpassungsstrategie an einen zu erwartenden Klimawandel. In: LANDESKOMPETENZZENTRUM FORST EBERSWALDE (LFE) (Hrsg.), *Wald im Klimawandel. Risiken und Anpassungsstrategien*, Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft (MIL) Brandenburg, Potsdam, 101-117.
- JENSSEN, M., HOFMANN, G. (2005): Waldbewirtschaftung zwischen Waldnatur und Forstkultur - Beiträge der ökologischen Forschung zur waldbaulichen Optimierung von Naturabweichungen in nordostdeutschen Wäldern. In: LANDESFORSTANSTALT EBERSWALDE (Hrsg.), *Ökologischer Waldumbau im nordostdeutschen Tiefland*, Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg, Potsdam, 33-49.
- JEPPESEN, J. (1989): Activity patterns of free-ranging roe deer (*Capreolus capreolus*) at Kalø. *Danish Review of Game Biology* 13, 1-29.
- KAPPELER, P. (2012): *Verhaltensbiologie*, Springer, Heidelberg. 3. Aufl.
- KIE, J., MATTHIOPOULOS, J., FIEBERG, J., POWELL, R., CAGNACCI, F., MITCHELL, M., GAILLARD, J.-M., MOORCROFT, P. (2010): The home-range concept: are traditional estimators still relevant with modern telemetry technology? *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 365, 2221-2231.
- KJELLANDER, P., HEWISON, A., LIBERG, O., ANGIBAULT, J.-M., BIDEAU, E., CARGNELUTTI, B. (2004): Experimental evidence for density-dependence of home-range size in roe deer (*Capreolus capreolus* L.): a comparison of two long-term studies. *Oecologia* 139, 478-485.
- KLINK, H.-J. (1998): *Vegetationsgeographie*, Westermann, Braunschweig. 3. Aufl.
- KLÖTZLI, F. (1965): *Qualität und Quantität der Rehäsung in Wald- und Grünland-Gesellschaften des nördlichen Schweizer Mittellandes*, Hans Huber, Bern.

- KOHNLE, U., HEIN, S., MICHIELS, H.-G. (2008): Waldbauliche Handlungsmöglichkeiten angesichts des Klimawandels. In: FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERGS (FVA) (Hrsg.), Wald und Klima, FVA, Freiburg, 52-55.
- KÖLLING, C., ZIMMERMANN, L. (2007): Die Anfälligkeit der Wälder Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 6, 259-268.
- KRAMER, K., GROOT BRUINDERINK, G., PRINS, H. (2006): Spatial interactions between ungulate herbivory and forest management. Forest Ecology and Management 226, 238-247.
- KROP-BENESCH, A., BERGER, A., HOFER, H., HEURICH, M. (2013): Long-term measurement of roe deer (*Capreolus capreolus*) (Mammalia: Cervidae) activity using two-axis accelerometers in GPS-collars. Italian Journal of Zoology 1, 1-13.
- KROP-BENESCH, A., BERGER, A., STREICH, W., SCHEIBE, K. (2011): Activity Pattern - User's manual, VECTRONIC Aerospace, Berlin.
- KURT, F. (1991): Das Reh in der Kulturlandschaft - Sozialverhalten und Ökologie eines Anpassers, Parey, Hamburg.
- LANGBEIN, J., SCHEIBE, K., EICHHORN, K. (1998): Untersuchungen zur Aktivitätsrhythmik beim europäischen Wildschaf (*Ovis ammon musimon*) - Möglichkeiten der Indikation von „Störungen“. Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg 1, 38-42.
- LIBERG, O., JOHANSSON, A., ANDERSEN, R., LINNELL, J. (1998): Mating system, mating tactics and the function of male territoriality in roe deer. In: ANDERSEN, R. et al. (Hrsg.), The European roe deer. The biology of success, Scandinavian University Press, Oslo, 221-256.
- LINDROTH, P. (2005): Reh - *Capreolus capreolus* (Linnaeus, 1758). In: BRAUN, M., DIETERLEN, F. (Hrsg.), Die Säugetiere Baden-Württembergs, Ulmer, Stuttgart, 588-604.
- LINNELL, J., WAHLSTRÖM, K., GAILLARD, J.-M. (1998): From birth to independence: birth, growth, neonatal mortality, hiding behaviour and dispersal. In: ANDERSEN, R. et al. (Hrsg.), The European roe deer. The biology of success, Scandinavian University Press, Oslo, 257-283.
- LÖTTKER, P., RUMMEL, A., TRAUBE, M., STACHE, A., ŠUSTR, P., MÜLLER, J., HEURICH, M. (2009): New possibilities of observing animal behaviour from a distance using activity sensors in GPS-collars: an attempt to calibrate remotely collected activity data with direct behavioural observations in red deer *Cervus elaphus*. Wildlife Biology 15, 425-434.
- MADSEN, A., STRANDGAARD, H., PRANG, A. (2002): Factors causing traffic killings of roe deer *Capreolus capreolus* in Denmark. Wildlife Biology 8, 55-61.
- MANSFELD, W. (2004): Satellitenortung und Navigation - Grundlagen und Anwendung globaler Satellitennavigationssysteme, Vieweg, Wiesbaden. 2. Aufl.
- MOEN, A. (1978): Seasonal changes in heart rates, activity, metabolism, and forage intake of white-tailed deer. Journal of Wildlife Management 42, 715-738.

- MÜRI, H. (1999): Veränderungen im Emigrationsverhalten von Rehen anhand von Untersuchungen in der Schweiz. In: REDDEMANN, J. (Hrsg.), Rehwild in der Kulturlandschaft. Symposium des Landesjagdverbandes Bayern e. V. und der Bayerischen Akademie für Tierschutz, Umwelt- und Jagdwissenschaft, Landesjagdverband Bayern, Feldkirchen, 61-66.
- NESSING, G., ZERBE, S. (2002): Wild und Waldvegetation - Ergebnisse des Monitorings im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin (Brandenburg) nach 6 Jahren. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 173, 177-185.
- NILSEN, E., PEDERSEN, S., LINNELL, J. (2008): Can minimum convex polygon home ranges be used to draw biologically meaningful conclusions? Ecological Research 23, 635-639.
- NITZ, B. (1991): Das Altmoränenland. In: BRAMER, H. (Hrsg.), Physische Geographie. Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen, Haack, Gotha, 453-553.
- PARTL, E., SZINOVATZ, V., REIMOSER, F., SCHWEIGER-ADLER, J. (2002): Forest restoration and browsing impact by roe deer. Forest Ecology and Management 159, 87-100.
- PEGEL, M., THOR, G. (2000): Rehwildprojekt Borgerhau - Untersuchungen zur Ökologie einer freilebenden Rehwildpopulation und zu den Auswirkungen von Managementmaßnahmen, Wildforschungsstelle des Landes Baden-Württemberg, Aulendorf.
- PELLERIN, M., SAÏD, S., GAILLARD, J.-M. (2008): Roe deer *Capreolus capreolus* home-range sizes estimated from VHF and GPS data. Wildlife Biology 14, 101-110.
- PETRAK, M. (1993): Beäsung als Standortfaktor unter besonderer Berücksichtigung des Rehwildes. In: HOFMANN, R. R., PIELOWSKI, Z. (Hrsg.), Deutsch-Polnisches Rehwild-Symposium, Neumann-Neudamm, Melsungen, 105-111.
- PETRAK, M. (1999): Feindverhalten des Rehwilds - Herausforderungen für den Jäger. In: REDDEMANN, J. (Hrsg.), Rehwild in der Kulturlandschaft. Symposium des Landesjagdverbandes Bayern e. V. und der Bayerischen Akademie für Tierschutz, Umwelt- und Jagdwissenschaft, Landesjagdverband Bayern, Feldkirchen, 15-36.
- POWELL, R. (2000): Animal home ranges and territories and home range estimators. In: BOITANI, L., FULLER, T. K. (Hrsg.), Research techniques in animal ecology. Controversies and consequences, Columbia University Press, New York, 65-103.
- PRIEN, S., MÜLLER, M. (2010): Wildschäden im Wald - Ökologische Grundlagen und integrierte Schutzmaßnahmen, Neumann-Neudamm, Melsungen. 2. Aufl.
- PUTMAN, R. (1997): Deer and road traffic accidents: options for management. Journal of Environmental Management 51, 43-57.
- REICHHOLF, J. (1993): Comeback der Biber - Ökologische Überraschungen, C. H. Beck, München.

- REIF, A., COCH, T., KNOERZER, D., SUCHANT, R. (2001): Wald. In: KONOLD, W. et al. (Hrsg.), Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege, Ecomed, Landsberg, 1-88.
- REIMOSER, F., GOSSOW, H. (1996): Impact of ungulates on forest vegetation and its dependence on the silvicultural system. *Forest Ecology and Management* 88, 107-119.
- REINHARDT, I., KLUTH, G. (2007): Leben mit Wölfen - Leitfaden für den Umgang mit einer konfliktträchtigen Tierart in Deutschland, Bundesamt für Naturschutz (BfN), Bonn.
- REMMERT, H. (1969): Tageszeitliche Verzahnung der Aktivität verschiedener Organismen. *Oecologia* 3, 214-226.
- RIPPLE, W., BESCHTA, R. L. (2004): Wolves and the ecology of fear: can predation risk structure ecosystems? *BioScience* 54, 755-766.
- ROENNEBERG, T. (1993): Zeit als Lebensraum. In: HELD, M., GEIBLER, K. A. (Hrsg.), Ökologie der Zeit. Vom Finden der rechten Zeitmaße, Hirzel, Stuttgart, 41-51.
- ROTH, R. (1996): Der Einfluß des Rehwildes auf die Naturverjüngung von Mischwäldern. *Zeitschrift für Jagdwissenschaft* 42, 143-156.
- RUDOLF, M., KUHLSCH, W. (2008): Biostatistik, Pearson Studium, München.
- SAÏD, S., GAILLARD, J.-M., DUNCAN, P., GUILLON, N., GUILLON, N., SERVANTY, S., PELLERIN, M., LEFEUVRE, K., MARTIN, C., VAN LAERE, G. (2005): Ecological correlates of home-range size in spring-summer for female roe deer (*Capreolus capreolus*) in a deciduous woodland. *Journal of Zoology* 267, 301-308.
- SCHÄFER, M., JANSEN, M., DÖRING, C., ROTHENBÜCHER, J. (2006): Artenvielfalt und Naturnähe im ökologischen Waldumbau. In: FRITZ, P. (Hrsg.), Ökologischer Waldumbau in Deutschland, Oekom, München.
- SCHEIBE, K., BERGER, A., EICHHORN, K., STREICH, W. (2001): Zeit und Rhythmen - Umweltfaktor und biologische Struktur. *KTBL-Schrift* 407, 64-75.
- SCHEIBE, K., BERGER, A., LANGBEIN, J., STREICH, W., EICHHORN, K. (1999): Comparative analysis of ultradian and circadian behavioural rhythms for diagnosis of biorhythmic state of animals. *Biological Rhythm Research* 30, 216-233.
- SCHEIBE, K., BÜKER, A., EICHHORN, K., FASSBENDER, M., KALZ, B., HESLER, N. (2003): Erfahrungen mit dem Einsatz neuer Hilfsmittel zu Beobachtung und Fang von Wildtieren. In: STUBBE, M. (Hrsg.), Methoden feldökologischer Säugetierforschung. Materialien des 2. Internationalen Symposiums Methoden Feldökologischer Säugetierforschung, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle/Saale, 73-82.
- SCHEIBE, K., SCHLEUSNER, T., BERGER, A., EICHHORN, K., LANGBEIN, J., DAL ZOTTO, L., STREICH, W. (1998): ETHOSYS (R) - new system for recording and analysis of behaviour of free-ranging domestic animals and wildlife. *Applied Animal Behaviour Science* 55, 195-211.

- SCHEIBE, K., EICHHORN, K. (2001): Wildtiertelemetrie - Ihre Möglichkeiten, Methoden und Verfahren. *Studium Generale* 12, 79-101.
- SCHERZINGER, W. (1996): Naturschutz im Wald - Qualitätsziele einer dynamischen Waldentwicklung, Ulmer, Stuttgart, 447 S.
- SCHÖBER, F. (1986): Telemetrische Ortungsverfahren und ihre Grenzen in der wildbiologischen Forschung. *Zeitschrift für Jagdwissenschaft* 32, 65-75.
- SCHOLZ, E. (1962): Die naturräumliche Gliederung Brandenburgs, Märkische Volksstimme, Potsdam.
- SEMPÉRÉ, A., MAUGET, R., MAUGET, C. (1998): Reproductive physiology of roe deer. In: ANDERSEN, R. et al. (Hrsg.), *The European roe deer. The biology of success*, Scandinavian University Press, Oslo, 161-188.
- SINZ, R., SCHEIBE, K. (1976): Systemanalyse der multioszillatorischen Funktionsordnung im circadianen und ultradianen Frequenzbereich und ihr Indikationswert für Belastungswirkungen, dargestellt am Beispiel verschiedener Licht-Dunkel-Verhältnisse bei der Intensivhaltung von Schafen. *Acta Biologica et Medica Germaniae* 35, 465-477.
- SPATHELF, P., KÄTZEL, R., IBISCH, P. (2009): Die Risiken des Klimawandels für die künftige Waldbewirtschaftung - Eine Einführung. In: LANDESKOMPETENZZENTRUM FORST EBERSWALDE (LFE) (Hrsg.), *Wald im Klimawandel. Risiken und Anpassungsstrategien*, Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft (MIL) Brandenburg, Potsdam, 7-10.
- STUBBE, C. (2008): *Rehwild - Biologie, Ökologie, Hege und Jagd*, Kosmos, Stuttgart. 5. Aufl.
- SUCHANT, R., ROTH, R. (1996): Gefährdet der Rehwildverbiss unsere waldbaulichen Ziele? In: FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERGS (FVA) (Hrsg.), *Waldwirtschaft und Waldökologie. Beiträge aus der Betriebsforschung*, Ulmer, Stuttgart, 217-230.
- TIXIER, H., DUNCAN, P. (1996): Are European roe deer browsers? A review of variations in the composition of their diets. *La Terre et la Vie - Revue d' Ecologie* 51, 3-17.
- TUFTO, J., ANDERSEN, R., LINNELL, J. (1996): Habitat use and ecological correlates of home range size in a small cervid: the roe deer. *Journal of Animal Ecology* 65, 715-724.
- TURNER, D. (1978): Aktivitätsmuster freilebender Rehe im Verlauf des Frühjahrs: optimale Ausnützung der Tageszeit. *Revue Suisse de Zoologie* 85, 710-718.
- TURNER, D. (1979): An analysis of time-budgeting by roe deer (*Capreolus capreolus*) in an agricultural area. *Behaviour* 71, 246-290.
- TURNER, D. (1980): A multi-variate analysis of roe deer (*Capreolus capreolus*) population activity. *Revue Suisse de Zoologie* 87, 991-1002.

- UNSELT, C., HAACK, S., DREGER, F., GEBAUER, D., BRUNK, I. (2006): Pflege- und Entwicklungsplan Naturpark Hoher Fläming, Institut für Ökologie und Naturschutz, Eberswalde.
- VICTOR, A., ELSÄßER, A., HOMMEL, G., BLETNER, M. (2010): Wie bewertet man die p-Wert-Flut? Hinweise zum Umgang mit dem multiplen Testen. Deutsches Ärzteblatt 107, 50-56.
- WHITE, G., GARROTT, R. (1990): Analysis of wildlife radio-tracking data, Academic Press, San Diego.
- WIESMAYR, M., SCHONERT, B., KALZ, B., BERGER, A., BÜKER, A., EICHHORN, K., SCHEIBE, A., SCHEIBE, K. (2005): Ableitung von Richtlinien und Kriterien für Wildruhezonen auf Grundlage indirekter und direkter Verfahren. Jahresbericht 2005 und abschließender Bericht für die Jahre 2002-2005, Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung (IZW), Berlin.
- WOLFF, B., ERHARD, M., HOLZHAUSEN, M., KUHLOW, T. (2003): Das Klima in den forstlichen Wuchsgebieten und Wuchsbezirken Deutschlands, Wiedebusch, Hamburg.
- ZIMMERMANN, H., WEIGERT, A. (1995): ABC-Lexikon Astronomie, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. 8. Aufl.

## **Internet-Quellen:**

Deutscher Wetterdienst: Daten Deutschland, online unter URL:

<[http://www.dwd.de/sid\\_xlfYPOgCH8ZQSNnYytr0h5Fcvjn1PGLvsyXpM98sv1wvCYRs8pxk!1059251998!925973068!1329602754483/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?\\_nfpb=true&\\_pageLabel=dwdwww\\_result\\_pge&portletMasterPortlet\\_i1gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FKlima\\_\\_Umwelt%2FKlimadaten%2FKlDaten\\_\\_kostenfrei%2FKlDat\\_\\_D\\_\\_phaeno\\_\\_jahresz\\_\\_daten\\_\\_node.html%3F\\_\\_nnn%3Dtrue](http://www.dwd.de/sid_xlfYPOgCH8ZQSNnYytr0h5Fcvjn1PGLvsyXpM98sv1wvCYRs8pxk!1059251998!925973068!1329602754483/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_result_pge&portletMasterPortlet_i1gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FKlima__Umwelt%2FKlimadaten%2FKlDaten__kostenfrei%2FKlDat__D__phaeno__jahresz__daten__node.html%3F__nnn%3Dtrue)>  
(10.12.2012)

Deutscher Wetterdienst: Klimadaten, online unter URL:

<[http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?\\_nfpb=true&\\_pageLabel=\\_dwdwww\\_klima\\_\\_umwelt\\_klimadaten\\_deutschland&T82002gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FKlima\\_\\_Umwelt%2FKlimadaten%2FKlDaten\\_\\_kostenfrei%2FKlDat\\_\\_D\\_\\_mittelwerte\\_\\_node.html%3F\\_\\_nnn%3Dtrue](http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=_dwdwww_klima__umwelt_klimadaten_deutschland&T82002gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FKlima__Umwelt%2FKlimadaten%2FKlDaten__kostenfrei%2FKlDat__D__mittelwerte__node.html%3F__nnn%3Dtrue)>  
(06.02.2013)

Wolfsregion Lausitz: Verbreitung in Deutschland, online unter URL:

<<http://www.wolfsregion-lausitz.de/verbreitung/verbreitung-in-deutschland>>  
(11.04.2013)

## **Persönliche Mitteilungen:**

BERGER, A. 2013 (Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung (IZW), Berlin)

REINHARDT, I. 2012 (Wildbiologisches Büro LUPUS (Reinhardt & Kluth GbR), Spreewitz)

## Anhang

Bezugsquellen für die zur Aktivitätsanalyse genutzten Rechnerprogramme:

- VECTRONIC Aerospace GmbH (2011):  
***Activity Pattern (Version 1.2.3)***  
***ADF Merge for Activity Pattern***

Frei verfügbar unter:

<<http://www.vectronic-aerospace.com/wildlife.php?p=software>> (10.12.2012)

- BEYER, H. L. (2004):  
***Hawth's Analysis Tools for ArcGIS***

Frei verfügbar unter:

<<http://www.spatial ecology.com/htools/>> (19.02.2013)

- HECKMANN, I. (2011):  
***Python-Scripts timebudget und lspot***

Für die Berechnung des „diurnality index“ der Aktivität nach HOOGENBOOM et al. (1984), die Durchführung der „peak analysis“ (KROP-BENESCH et al. 2011) sowie der Rhythmikanalyse nach SINZ & SCHEIBE (1976) und BERGER et al. (2003).

Auf Nachfrage verfügbar beim Autor:

Ilja Heckmann

Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung (IZW)

Alfred-Kowalke-Str. 17, 10315 Berlin

<[heckmann@izw-berlin.de](mailto:heckmann@izw-berlin.de)>

<<https://bitbucket.org/elpres>> (14.02.2013)

## Danksagung

Prof. Dr. Ilse Storch und Prof. Dr. Heribert Hofer danke ich für die Übernahme des Referats bzw. Korreferats der Arbeit.

Für die Bereitstellung des Themas und die Betreuung der Arbeit bedanke ich mich ganz besonders bei Dr. Anne Berger. Mein Dank gilt daneben Dr. Alexandre Courtiol für seine unschätzbare Hilfe bei der statistischen Datenauswertung sowie Ilja Heckmann für die Unterstützung bei Fragen rund um die Programmiersprache *Python*. Weitere Mitarbeiter des IZW, die mir auf unterschiedliche Weise geholfen haben, sind Knut Eichhorn, Robert Hagen und Dr. Stephanie Kramer-Schadt.

Danken möchte ich auch Ingrid Böhmer für die Korrektur des Abstracts, der LGB für den kostenlosen Bezug der benötigten Geodaten und dem Naturparkzentrum Hoher Fläming für Quellen und Informationen zum Untersuchungsgebiet. Für ihre Gastfreundschaft während meiner Aufenthalte in Berlin bedanke ich mich zudem bei Sabine Reichert, Mark Praznik, Simon Fratte und Sebastian Schuster.

Meiner Familie Gertrud, Walter und Timo Wolf sowie Sabrina Roy danke ich für jede nur denkbare Unterstützung während der Arbeit und darüber hinaus, ohne die mein Studium nicht möglich gewesen wäre.

## **Eigenständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, die vorliegende Arbeit ohne unerlaubte Hilfe, ohne andere als die angegebenen Hilfsmittel und selbstständig angefertigt zu haben. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht. Darüber hinaus habe ich keine Arbeit mit ähnlichem Inhalt an keiner anderen Stelle eingereicht.

.....