



# Untersuchungen zur Flugbiologie und Habitatnutzung von Gänsegeiern



Untersuchungen zur  
Flugbiologie und Habitatnutzung  
von Gänsegeiern  
(*Gyps fulvus*, HABLIZL 1783)  
unter Verwendung  
telemetrischer Meßverfahren

Ralf Bögel

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades  
Dr. rer. nat. der Naturwissenschaften.  
Angefertigt unter Leitung von Prof. Dr. W. Funke,

Fachbereich Ökologie und Morphologie der Tiere an der Universität Ulm  
(leitender Dekan: Prof. Dr. Witschel)



mit freundlicher Unterstützung der  
Zoologischen Gesellschaft Frankfurt e.V. von 1858

**Impressum:**

Nationalpark Berchtesgaden  
Forschungsbericht 33/1996

Herausgeber:

Nationalparkverwaltung Berchtesgaden, Doktorberg 6,  
D-83471 Berchtesgaden, Telefon 0 86 52/96 86-0, Telefax 0 86 52/96 86 40,  
im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums  
für Landesentwicklung und Umweltfragen

Alle Rechte vorbehalten!

ISSN 0172-0023  
ISBN 3-922325-35-1

Druck: Berchtesgaderner Anzeiger, Berchtesgaden

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier

Fotos:  
R. Bögel

# Inhaltsverzeichnis

## Untersuchungen zur Flugbiologie und Habitatnutzung von Gänsegeiern von Ralf Bögel

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Methodischer Hintergrund</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>10</b>
3.1	Untersuchungsgebiet	10
3.2	Untersuchte Gänsegeierkolonie	12
3.3	Fang der Gänsegeier	13
3.4	Sendermontage	13
3.5	Flughöhensender	14
3.6	Radio-Tracking	17
3.7	Doppler-Telemetriesystem	18
3.8	Geografisches Informationssystem und Datenauswertung	29
3.9	Aktionsraumabgrenzung und Home-Range-Modell	29
3.10	Habitatbewertung und Modelle zur Habitateignung	32
3.11	Bestimmung von flugmechanischen Kenngrößen und Energie-Umsätzen	36
3.12	Populationsmodell zur Beurteilung der Überlebensfähigkeit der Kolonie	42
3.13	Meteorologische Daten	42
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>42</b>
4.1	Ressourcenverteilung und Habitatnutzung	42
4.2	Flugmechanische Kenngrößen	45
4.3	Flugbiologie und Flugverhalten	48
4.4	Thermoregulatorische Aspekte	67
4.5	Energie-Budget	67
4.6	Alterspezifische Unterschiede	67
4.7	Flugbedingungen im Tages- und Jahresverlauf	67
4.8	Populationsentwicklung und Überlebensfähigkeit der Population	87
4.9	Integrationsprozesse freigelassener Individuen	91
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>91</b>
5.1	Raumnutzung und Habitatwahl	91
5.2	Ökoethologische Anpassungen	92
5.2.1	Flugbiologische Anpassungen	92
5.2.2	Thermoregulatorische Anpassungen	95
5.2.3	Energie- und Zeit-Budgets	96

5.2.4	Soziale Organisationsform	97
5.3	Ökologische Einnischung und physiologische Anpassungen	98
5.4	Überlebensfähigkeit der Population	99
5.5	Methodendiskussion	101
5.5.1	Home-Range-Modelle	101
5.5.2	Modelle zur Habitateignung und deren Übertragbarkeit	102
5.5.3	Flugmechanische Modelle	104
5.5.4	Telemetriesender und dessen Einfluß auf flugrelevante Parameter	105
5.5.5	Telemetriesystem	105
5.6	Datenqualität	106
5.6.1	Genauigkeit der Temperatur- und Luftdruckmessung	106
5.6.2	Peilgenauigkeit	109
5.6.2.1	Systembedingte Peilgenauigkeit (Peilsystemfehler)	110
5.6.2.2	Symmetriefehler der Antenne	112
5.6.2.3	Topografisch bedingte Peilfeiler	112
5.6.2.4	Einfluß der Signalstärke und der Entfernung auf die Peilgenauigkeit	113
5.6.2.5	Bestimmung der Standortkoordinaten aus den Peilstrahlen	113
5.6.2.6	Zusammenfassende Diskussion der Peilgenauigkeit	114
5.6.3	Weiterentwicklungen des Telemetriesystems	116
5.6.4	Datenqualität des Geografischen Informationssystems (GIS)	117
5.6.5	Qualität der Wetterdaten	117
<b>6</b>	<b>Ausblick</b>	117
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	118
<b>8</b>	<b>Literatur</b>	119
<b>9</b>	<b>Anhang</b>	127
9.1	Individuen der Geierkolonie	127
9.2	Ableitung der Formel zur Berechnung der Flughöhe	128
9.3	Eichdiagramme der Flughöhensender	129
9.3.1	Regressionsfunktionen und Kennlinien der Temperaturübertragung	129
9.3.2	Regressionsfunktionen und Kennlinien der Luftdruckübertragung	137
9.4	Höhenlinienprofile der Richtfunkstrecken	152
9.5	Telemetrie-Geräte	153
9.5.1	Allgemeine Daten	153
9.5.2	Flughöhensender	153
9.5.3	Mobile Peilanlage	153
9.5.4	Automatisches Telemetriesystem	153
9.5.4.1	Doppler-Peiler	153
9.5.4.2	Datenfunk	153
9.5.4.3	Hardware zur Systemsteuerung und Datensichtung	154
9.6	Rechenvorschriften (AMLs) für die Habitatbewertung mit dem GIS	154
9.6.1	Orografische Sonnenscheindauer	154
9.6.2	Thermikpotential	156
9.6.3	Dynamischer Hangaufwind	158

9.6.4	Gesamtes Aufwindpotential	158
9.6.5	Nahrungsangebot	158
9.6.5.1	Potentiell Nahrungangebot	158
9.6.5.2	Anthropogenes Störpotential	158
9.6.5.3	Nutzbares Nahrungsangebot	159
9.6.6	Brutnischenangebot	159
9.6.6.1	Bewertung der relativen Höhenlage	159
9.6.6.2	Anthropogenes Störpotential	159
9.6.6.3	Nutzbare Brutnischen	159
9.6.7	Home-Range-Berechnung	160
9.7	Setup-File zur Steuerungssoftware des Telemetriesystems	162
9.8	Datenstruktur und Übertragungsprotokolle des Datenfunks	166
9.8.1	Datenstruktur der Freiland-Protokolle	166
9.8.2	Datenübertragungsprotokoll Zentrale zum Peilempfänger	167
9.8.3	Datenübertragungsprotokoll Peilempfänger zur Zentrale	167
9.8.4	Datenstruktur der Erfassungsdatei und der plausibilisierten Datenfiles	168
9.8.5	Datenstruktur der exportierten Datenfiles	168



## Danksagung

*Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Dr. Werner Funke für die Vergabe des Themas und die Geduld, die er aufgrund der langwierigen Methodenentwicklung aufbringen mußte. Dank auch an Herrn Prof. Dr. Peter Berthold sowie Herrn Prof. Dr. Detlef Bückmann für die bereitwillige Übernahme des Korreferats.*

*Bei Herrn Dr. Werner d'Oleire-Oltmanns möchte ich mich herzlich für seine Bemühungen um die Finanzierung des Projekts bedanken und für den Rückhalt, der er mir immer war.*

*Vielen Dank auch dem Bundesamt für Naturschutz und den zuständigen Sachbearbeitern Frau Dr. Schell und Herrn Dr. Schäfer für die Finanzierung der gesamten Methodenentwicklung, sowie dem Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen für die Übernahme der Personalkosten.*

*Herrn Dr. Faust und Frau Koberstein von der Zoologischen Gesellschaft Frankfurt e.V. danke ich für die reibungslose Zusammenarbeit bei der Projektabwicklung und für Ihren finanziellen Beitrag.*

*Mein herzlicher Dank gilt allen Mitarbeitern des Salzburger Tiergartens „Hellbrunn“, welche die Arbeit ermöglicht und in vielerlei Hinsicht unterstützt haben. Dr. Rainer Revers, Dr. Christian Walzer, Peter Phillip und Christine Graininger möchte ich an dieser Stelle stellvertretend erwähnen. Auch allen Kollegen in der Nationalparkverwaltung Berchtesgadens sei herzlich gedankt, besonders Herrn Dr. Zierl für sein Interesse am Projekt und Herrn H.P. Franz für die Hilfe bei der Einarbeitung in das Geografische Informationssystem.*

*Herr Ing. Walter Bugnar mußte unzählige, immer wieder neue Programmiervorgaben umsetzen, um dem Peilsystem zu seinem vollen Leistungspotential zu verhelfen. Mein besonderer Dank gilt auch Dr. Ing. Franz Schober vom Forschungsinstitut für Wildtierkunde in Wien für das Einbringen seines außergewöhnlichen fachlichen Know Hows und für die Durchsicht des technischen Teils des Manuskripts. Dank auch an die Herren Dipl. Ing. Rohde, Burchard und Vlasits für ihre Kooperationsbereitschaft bei der produktions-technischen Umsetzung des Telemetriesystems.*

*Herr Baron Mayr-Melnhof und die Firma Leube haben durch die Erlaubnis, Telemetrieanlagen auf Ihrem Gelände zu installieren, das Projekt unterstützt.*



*Herr Oberamtsrat Biebl vom Amt der Salzburger Landesregierung und Herr Dr. Mahringer vom Salzburger Wetteramt haben unbürokratisch umfangreiche Wetterdaten zur Verfügung gestellt.*

*Mein Dank gilt schließlich allen Praktikanten, die bei der Freilandarbeit mitgeholfen haben, allen voran Bernhard Kurz, Ulrich Brendel und Rolf Eberhardt.*

*Ralf Bögel*

# Untersuchungen zur Flugbiologie und Habitatnutzung von Gänsegeiern am Alpennordrand

Ralf Bögel

## 1 Einleitung

Gänsegeier sind wie alle Großvögel in ihrer Flugbiologie auf Gleitflug angewiesen. Aus energetischen Gründen sind sie nur für kurze Zeitintervalle zu kräftezehrendem Schlagflug in der Lage (McGAHAN 1973b, PENNYCUICK 1975, 1989). Schwerpunktmäßig konzentriert sich ihr Verbreitungsgebiet auf Südeuropa (ARROYO et al. 1990, DONÁZAR 1993, FISCHER 1968, 1974, GENSBÖL & THIEDE 1986, GLUTZ et al. 1971, MUNDY et al. 1992), auf Bereiche also, die klimatisch in warmen und thermikbegünstigten Lebensräumen liegen. Es stellt sich deshalb die Frage, wie Gänsegeier mit den klimatisch ungünstigen Verhältnissen in den Alpen zurechtkommen, ob sie flugbiologische Anpassungsmechanismen entwickelt haben und in wieweit sie möglicherweise klimatisch in ihrer Verbreitung nach Norden hin begrenzt sind. Zur Beantwortung dieses Fragenkomplexes sollte die Raumnutzung verschiedener Individuen der Gänsegeierkolonie des Salzburger Tiergartens „Hellbrunn“ erfaßt und deren Flugaktivitäten auf Zusammenhänge mit den jeweils lokal herrschenden Flugbedingungen untersucht werden. Hierbei stand die dreidimensionale Nutzung des Lebensraums und der mit den Flugaktivitäten korrelierte Energieaufwand im Vordergrund. Um den Einfluß klimatischer Faktoren abzuschätzen, wurden die Ergebnisse auf mögliche Korrelationen mit verschiedenen Wittersituationen untersucht. Neben den flugbiologischen Fragestellungen sollte die langfristige Überlebensfähigkeit dieser kleinen Geierkolonie abgeschätzt und Managementmaßnahmen durch Bestandsstützungen evaluiert werden. Da zur Beantwortung dieses Fragenkomplexes geeignete Methoden der Datenerhebung nicht verfügbar waren, sollten entsprechende Methodenentwicklungen die notwendigen Voraussetzungen schaffen. Die vorliegende Studie baut auf zwei Diplomarbeiten über dieselbe Geierkolonie auf (MÄCK & BÖGEL 1989). Zur Vermeidung von inhaltlichen Überschneidungen wurden analoge Auswertungsschritte nur in soweit vollzogen, als es zum Verständnis der Flugbiologie und Raumnutzung unerlässlich war.

## 2 Methodischer Hintergrund

Wie in allen systematischen Studien über die Raumnutzung freilebender Tiere nimmt in der vorliegenden

Arbeit die Methode der Radiotelemetrie eine zentrale Stellung ein. Bei der gegebenen Fragestellung waren allerdings methodische Grenzen gesetzt, die nach neuen Lösungswegen verlangten. Zwar hat sich die Radiotelemetrie im Verlauf der letzten dreißig Jahre zu einem unverzichtbaren Hilfsmittel in der zoologischen Freilandforschung entwickelt und ihr Einsatzspektrum auch im ornithologischen Bereich durch immer kleinere und leistungsfähigere Sendertypen erheblich erweitert (AMLANER & MACDONALDS 1980, BRANDER & COCHRAN 1969, COCHRAN 1972, FULLER 1994, KENWARD 1987, LONG 1977, 1979, 1981, PINCOCK 1983, PRIEDE & SWIFT 1992, STONEHOUSE 1978, WEEK & LONG 1985). Andererseits hat die Entwicklung der Empfangsanlagen mit diesen Fortschritten auf der Senderseite nicht Schritt gehalten und sich im wesentlichen auf die Entwicklung programmierbarer, mikroprozessorgesteuerter Empfänger beschränkt. Diese Empfangssysteme ermöglichen zwar eine EDV-gestützte und kontinuierliche Aufzeichnung von Aktivitäts- oder auch physiologischen Daten (SCHOBER & OEHRICH 1987, HOWEY et al. 1987, EXO et al. 1992, SCHOBER 1992); sie sind jedoch entweder gar nicht in der Lage, die Standorte der Tiere zu bestimmen oder liefern nur grobe Richtungsangaben (HOWEY et al. 1989). Gerade der Ortsbezug bestimmter Verhaltensweisen ist aber im ökologischen Kontext von ganz entscheidender Bedeutung, insbesondere bei der Frage nach flugbiologischen Anpassungsmechanismen. Die Satellitentelemetrie (FANCY et al. 1988, NOWAK & BERTHOLD 1987) gestattet eine Lokalisation der Tiere und hat inzwischen auch im Einsatz an Vögeln z.T. spektakuläre Ergebnisse geliefert (BERTHOLD et al. 1992, BERTHOLD et al. 1995, MEYBURG et al. 1993, WEIMERSKIRCH et al. 1993). Sie wird aber aus Gewichtsgründen auf größere Vogelarten oder relativ kurze Untersuchungsperioden beschränkt bleiben (BENVENUTI 1993). Zudem erlaubt sie aufgrund geringer Datenraten und eingeschränkter Genauigkeit keine detaillierte Beschreibung raumzeitlicher Verhaltensmuster (KEATING et al. 1991) und benötigt spezielle Sender (PTTs), die vom Bearbeiter im Feld nicht ortbar sind. Dieses Handicap vermeiden manche bodengebundenen Empfangsanlagen zur automatischen Standortbestimmung (ADF-Systeme: Automatic Direction Finding). Erste Prototypen solcher Systeme kamen 1964 zum Einsatz (COCHRAN et al. 1964, 1965, FULLER & TESTER 1973). Seither gab es technisch recht unterschiedliche Lösungsansätze: Von der amplitudenabhängigen Maximum-

oder Nullpunktpeilung mittels Richtantennen (BÖGEL 1991a, COCHRAN et al. 1964, DEAT et al. 1980, IKE-DA et al. 1980) über netzförmige Antennenanordnungen (COLIN et al. 1983), Dopplersysteme (ANGERBJÖRN & BECKER 1992, JANSEN et al. 1991a) bis hin zu Laufzeitmessungen über Transponder (LEMNELL et al. 1983). Manche dieser Systeme kamen nur in topografisch unproblematischen Untersuchungsgebieten zum Einsatz (DEAT et al. 1980, SASAKI et al. 1991) oder deckten nur sehr kleine Gebiete ab (IKEDA et al. 1980); andere setzten spezielle Sendertypen mit hoher Sendeleistung voraus und blieben deshalb auf große Tierarten, kurze Markierungsdauer oder geringe Datenraten beschränkt. Letztere waren zudem inkompatibel zu mobilen Trackingempfängern und ließen deshalb keine direkte Lokalisation im Feld zu (ANGERBJÖRN & BECKER 1992, JANSEN et al. 1991a, 1991b, BALENDONCK 1991, LEMNELL et al. 1983).

Im Rahmen einer Studie an Gänse- und Bartgeiern (MÄCK & BÖGEL 1989) konnte gezeigt werden, daß ADF-Systeme bei vertretbarem Aufwand eine effiziente Datenregistrierung auch in topografisch schwierigem Gelände ermöglichen (BÖGEL 1987, BÖGEL et al. 1990). Andererseits deckten diese Studien aber auch deutlich die Grenzen der Methodik und das bestehende Entwicklungsdefizit auf (BÖGEL & MÄCK 1989, BÖGEL 1991b, d'OLEIRE-OLTMANNIS et al. 1989):

- unbefriedigende Peilgenauigkeit (keine Abgrenzung von Flugkorridoren und keine Korrelationsanalyse zwischen Flugaktivitäten und Wettersituationen möglich).
- Keine ökophysiologischen Meßparameter erfaßbar.
- Kein aktueller Zugriff auf Peildaten (Datenspeicherung vor Ort).
- Eingeschränkte Standortwahl der Peilstationen durch Abhängigkeit von Netzstrom.

Auch bezüglich der Senderbefestigung waren methodische Weiterentwicklungen wünschenswert: Die gängigen Verfahren (DUNSTAN 1972, KENWARD 1980, KENWARD 1987) waren entweder nicht für Langzeitstudien bzw. die Besenderung von flüggen Nestlingen geeignet (Stoßfederbefestigung: MÄCK & BÖGEL 1989, DUNSTAN 1973, KENWARD 1978), oder sie waren mit Beeinträchtigungen der Vögel verbunden (Rucksackgeschirre: HIRONS & OWEN 1982, HINES & ZWICKEL 1985). Auch bezüglich des Senderabwurfs nach Erschöpfung der Batterien bestanden Defizite (BOSHOF et al. 1984, KARL & CLOUT 1987).

Somit ergaben sich klare Zielvorgaben für die Entwicklung eines automatischen Telemetriesystems mit folgendem Leistungsumfang:

- Unabhängigkeit von vorhandenen Infrastrukturen wie Strom- und Kommunikationsnetzen zur Optimierung der Standortwahl.
- Direkter Zugriff auf aktuelle Meßdaten durch Datenfernübertragung per Funk.
- Minimierung der Fehlerquellen gegenüber bisherigen Peilverfahren.

- Optimierung der Peilgenauigkeit, insbesondere von lokomotorisch aktiven Tieren.
- Ausbaufähigkeit zu einem flächendeckenden Erfassungsnetz.
- Erfassung zusätzlicher, ökophysiologischer Meßparameter wie Temperatur und Luftdruck zur Bestimmung der Flughöhe (dreidimensionale Raumerfassung).
- Kompatibilität zu konventionellen Telemetrieempfängern zur direkten Lokalisation besonderer Tiere im Feld (Verhaltensstudien, Datenverifizierung).
- Hohes zeitliches Auflösungsvermögen zur Darstellung raumzeitlicher Verhaltensmuster.
- Entwicklung eines Telemetriesenders zur Flughöhenmessung (dreidimensionale Ortsbestimmung).
- Adaptierbarkeit der Methode an unterschiedliche Tierarten, Fragestellungen und Untersuchungsgebiete.
- Entwicklung eines Rucksackgeschirrs, das ein langfristiges und behinderungsfreies Anbringen des Senders ermöglicht, einen fristgerechten Senderabwurf sicherstellt und für Jungvögel geeignet ist.

## 3 Material und Methoden

### 3.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt am Rand der nördlichen Kalkalpen und erstreckt sich in Form einer, durch urbane und rurale Einflüsse geprägten Ebene um den Stadtbereich von Salzburg (425 m über NN). Es öffnet sich in nordwestlicher Richtung in eine weite Ebene, den Flachgau, und wird im Westen und Osten durch Hügelketten (dem Högel mit 872 m bzw. dem Gaisberg mit 1287 m), bzw. nach Süden durch die Alpenkette mit Höhen bis 2713 m begrenzt (alle Höhenangaben über NN). Die Temperaturen liegen im Jahresmittel bei 8,2°C und die jährlichen Niederschläge betragen 1282 mm (Quelle: Zentralanstalt für Meteorologie in Wien). Die untere und mittlere Höhenstufe werden landwirtschaftlich genutzt. Aufgrund der klimatischen Situation herrscht Dauergrünland vor. Die steileren und höheren Lagen sind bewaldet. Die Waldzusammensetzung wurde durch menschliche Bewirtschaftung stark verändert: auf Standorten, wo Bergmischwälder standortheimisch waren, überwiegen heute Wälder mit hohem Fichtenanteil. Besonders hervorzuheben ist der Untersberg. Es handelt sich um einen Kalkblock in Ausprägung eines Tafelberges (1972 m). Im oberen Bereich herrschen Dachsteinkalke vor, die auf stark zerklüftetem Ramsaudolomit aufliegen. An seinem nordöstlichen Ausläufer liegen in nordost- und ostexponierter Lage und ca. 500 m über dem Talgrund die Rast- und Brutwände der Gänsegeier. Die Entfernung zum nordöstlich gelegenen Salzburger Tiergarten „Hellbrunn“ beträgt ca. 4 km. Dieser liegt am Fuß eines von Nordwesten nach Südosten verlaufenden Nagelfluhrückens, der etwa 60 m aus dem Salzburger Becken herausragt und eine Größe von etwa 800 x 400 m hat

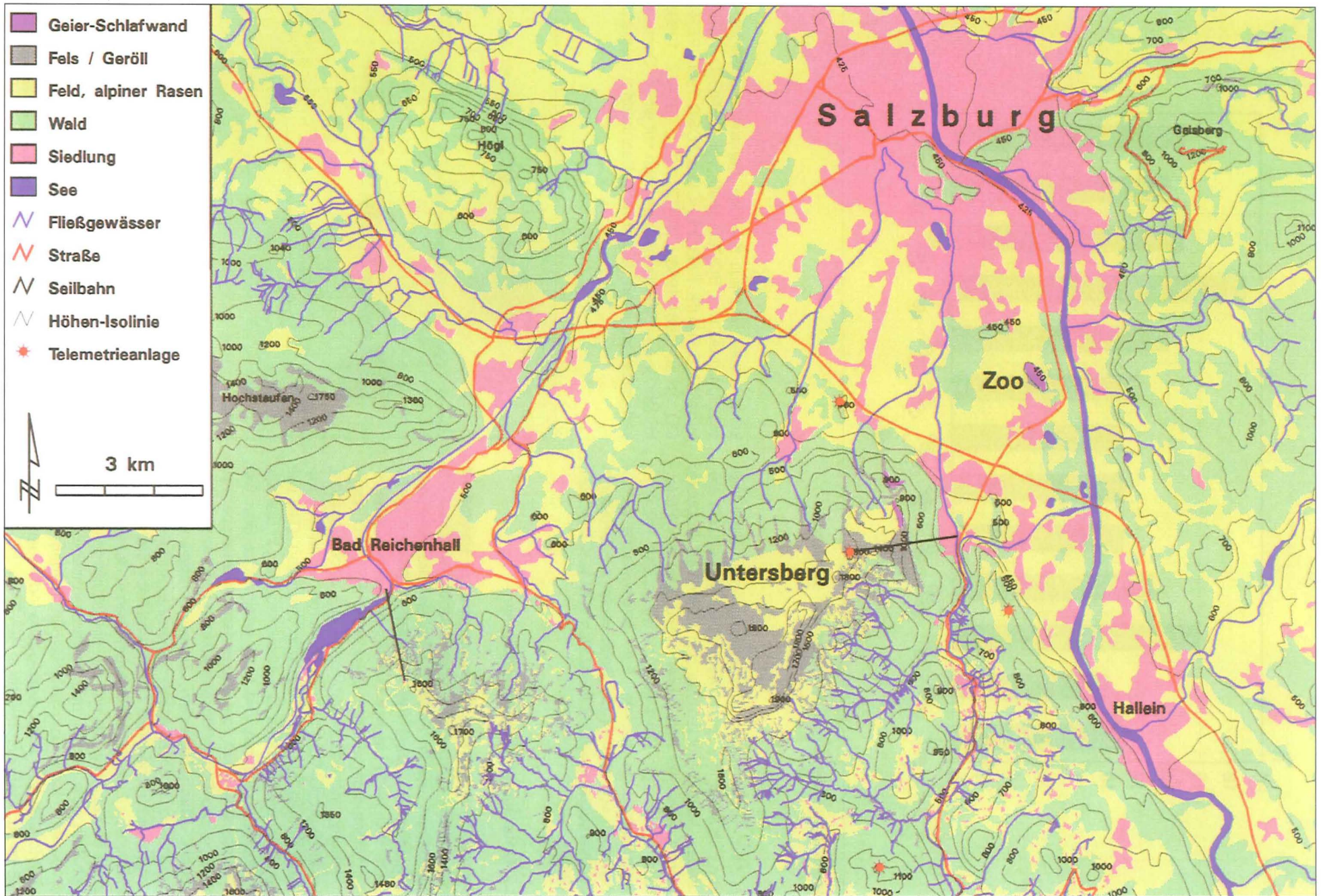


Abb. 1: Untersuchungsgebiet.

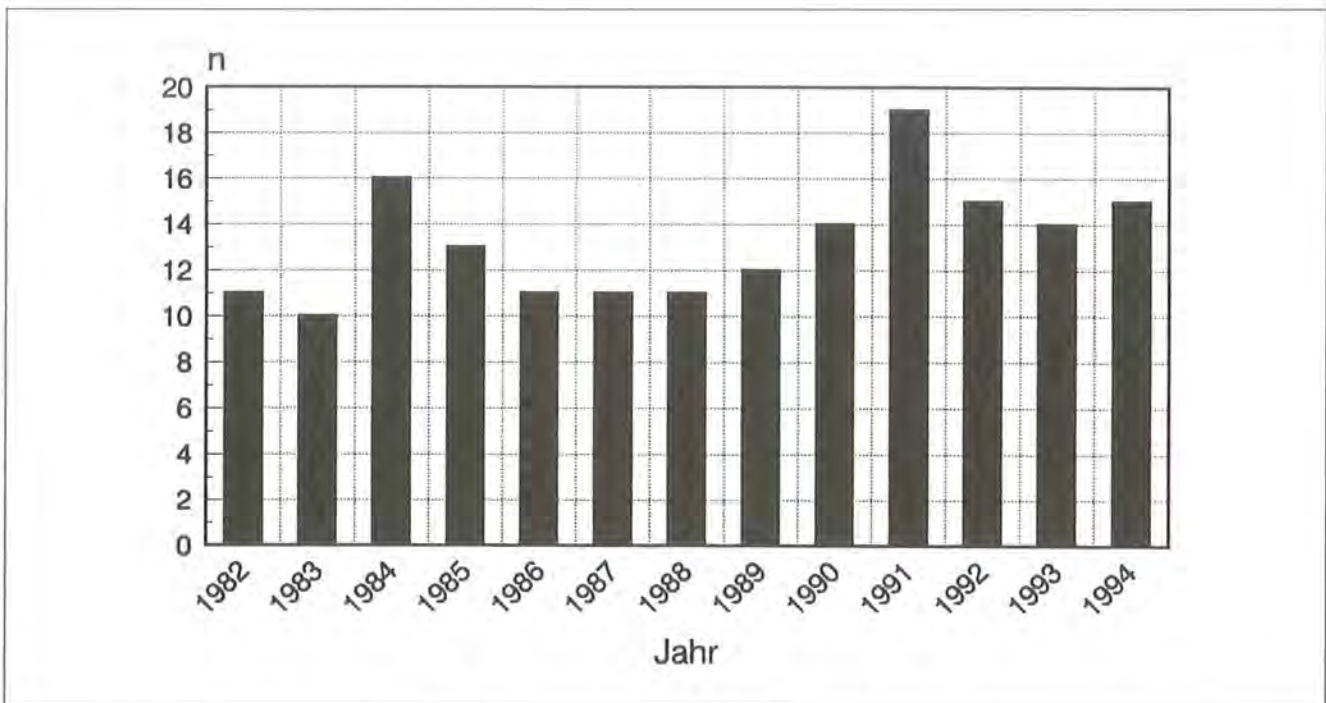


Abb. 2: Bestandsentwicklung der untersuchten Geierkolonie.

(s. Abb. 1). An seiner südwest-exponierten Seite liegt eine Felswand, die zusammen mit einigen einzeln stehenden, lichten Fichten von den Geiern als Sitzwarte genutzt wird. Am Fuß dieser Wand liegt der Futterplatz, an dem die Geier den überwiegenden Teil ihres Nahrungsbedarfs decken. Eine fotografische Dokumentation von den für die Geier wichtigen Strukturen im Untersuchungsgebiet findet sich in MÄCK & BÖGEL (1989).

### 3.2 Untersuchte Gänsegeierkolonie

Bei der untersuchten Gänsegeiergruppe handelt es sich um eine kleine Kolonie des Salzburger Tiergartens „Hellbrunn“, die im Freiflug gehalten wird. Seit ihrer Gründung im Jahre 1961 (WINDISCHBAUER 1976, LACCHINI 1982) hat sich die Gruppe durch Bestandsstützungen (Integration zoogeborener Junggeier sowie immaturer und adulter Individuen aus Zoobeständen), durch Reproduktion, aber auch durch vereinzelte Zuwanderungen aus freier Wildbahn vergrößert. Dies war mit einer zunehmenden Aktivitätsverlagerung in die freie Wildbahn verbunden. Die erste erfolgreiche Brut war 1982 am etwa 4 km vom Zoo entfernten Untersberg zu belegen. Die Populationsentwicklung ist in Abb. 2 dargestellt. Durch Bruterfolg, Zuwanderungen und Bestandsstützungsmaßnahmen einerseits und Abwanderungen, natürlichen Tod, Unfälle und Fang andererseits kommt es zu deutlichen Fluktuationen in der Gruppengröße (s. Kap. 4.8). Ob sich Zu- und Abgänge die Waage halten oder ob ein, den Bestand limitierender Faktor besteht, kann nicht entschieden werden. Einzelne verstrichene oder auch zugeflogene Individuen zeigen, daß es zu Kontakten mit der in den Zentralalpen über-

sommernden und aus Kroatien stammenden Wildpopulation (MÄCK & BÖGEL 1989, vgl. GENERO 1985, HERREN & HAURI 1963, PERCO & TOSO 1980, PERCO et al. 1981/1983, TRATZ 1954, TRATZ 1969) kommt. In wieweit dieser Austausch mit einem Genfluß verbunden ist, kann derzeit nicht beantwortet werden.

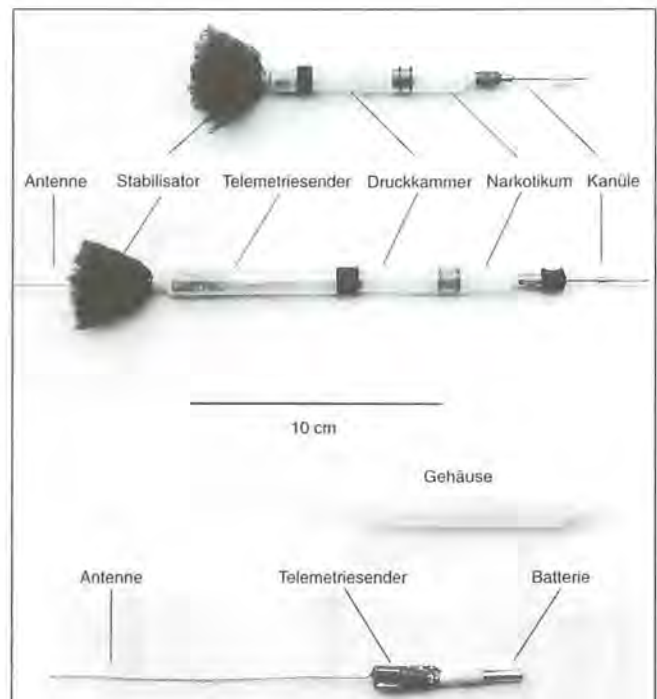


Abb. 3: Narkosespritze (TELINJECT S 100 V3) mit Senderaufsatz, oben: im Vergleich zur unmodifizierten Narkosespritze, unten: Sender (Austec KG 80, modifiziert) mit Batterie (National BR 425)

Hier könnte nur eine breit angelegte genetische Untersuchung, die auch Proben von Individuen der Wildpopulationen einschließt, weiterhelfen. Im Anhang 9.1 sind alle Individuen der Kolonie dokumentiert.

Angaben zu Verbreitung, systematischer Stellung, Rasengliederung und Zugverhalten von *Gyps fulvus* finden sich in BERNIS (1983), GLUTZ et al. (1971), FISCHER (1974), MÄCK & BÖGEL (1989), SCHWAB (1994) und WEICK (1980).

### 3.3 Fang der Gänsegeier

Beim Fang der Gänsegeier kamen verschiedene Methoden zum Einsatz. Die Mehrzahl der Vögel wurde von Hand im Umfeld des Futterplatzes gefangen. Abgelenkt durch größere Gruppen von Passanten im Umfeld des Futterplatzes und in ihrer Aufmerksamkeit auf das ausgebrachte Futter und ihre Artgenossen konzentriert, gelingt es immer wieder, einzelne Vögel zu überraschen, überfallartig am Nacken zu packen und so von ihren Sitzwarten zu Boden zu ziehen und zu fixieren. Nachdem sich diese Fangmethode bedingt durch Lernprozesse als zunehmend problematisch erwiesen hat, mußte die Methode der Fernnarkotisierung mittels Betäubungsgewehr und „Hellabrunner Mischung“ (HBM, 125 mg Xylazin + 100 mg Ketamin-Hydrochlorid / ml H<sub>2</sub>O) zur Anwendung an Großgreifvögeln modifiziert werden. Insbesondere galt es, das Problem der Treffgenauigkeit (Verletzungsrisiko) zu lösen sowie die Lokalisation verstrichener und dann an nicht kontrollierbaren Orten immobilisierter Vögel sicherzustellen. Je nach Treffer muß mit sehr variablen Anflutungszeiten (Latenz) des Narkotikums von bis zu 20 min gerechnet werden. Dieses Zeitintervall nach dem Auftrefftrauma nutzen die Vögel zur Flucht. Eine sichere Lokalisierung kann deshalb nur auf telemetrischem

Wege erfolgen. Hierzu mußte in Zusammenarbeit mit den Firmen TELINJECT (Römerberg, Deutschland) und AUSTEC (Edmonton, Kanada) ein Miniatursender entwickelt werden, der auf die Projektilspritzen (10 mm Kaliber) paßt, die Wucht des Aufpralls unbeschadet übersteht und eine gute Ballistik bzw. eine ausreichende Treffsicherheit bietet (Abb. 3). Die Methode lieferte zufriedenstellende Ergebnisse auf Entfernungen von 10 – 15 m, kann aber ein gewisses Verletzungsrisiko nicht ausschließen und erreicht durch Abpraller am Gefieder nur eine Erfolgsquote von etwa 50% (REVERS & BÖGEL 1994).

### 3.4 Sendermontage

Bei den bisherigen Studien an Gänsegeiern wurden die Telemetriesender an Stoßfedern befestigt (MÄCK & BÖGEL 1989). Diese Methode hat den Vorteil einer minimalen Rückwirkung auf die Vögel, erlaubt aber häufig keine befriedigende Markierungsdauer. Sie ist zudem für eine Besenderung von flüggen Nestlingen nicht geeignet, weil die Stoßfedern noch im Wachstum und deshalb noch nicht belastbar sind. Deshalb wurden im Projekt zur Wiedereinbürgerung des Bartgeiers in den Alpen Rucksackgeschirre zur Senderbefestigung benutzt, die allerdings bezüglich ihrer Verträglichkeit nicht befriedigen konnten (BÖGEL & MÄCK 1989). Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde ein Rucksackgeschirr entwickelt, das bezüglich Verträglichkeit und Sollbruchstelle optimale Voraussetzungen bietet (Abb. 4a, b).

Das Risikopotential dieses Geschirrs ist durch folgende Ausstattungsdetails minimiert:

- Silikonschnur als Trägermaterial ist einerseits elastisch genug, um eine durch Wachstumsprozesse

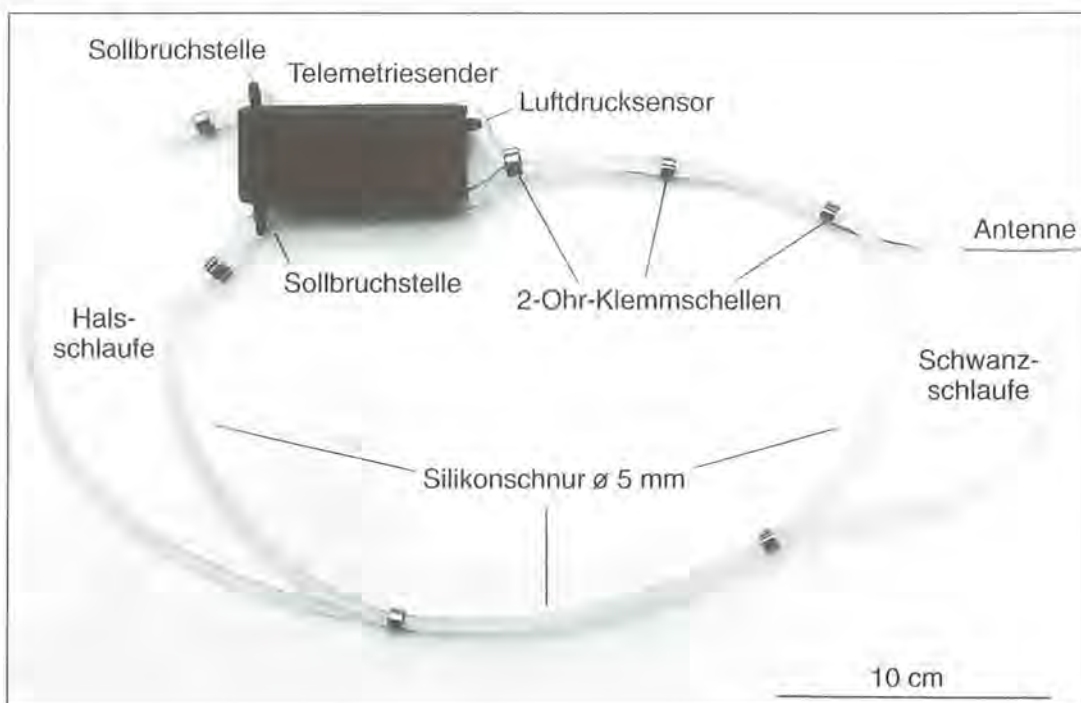


Abb. 4a: Rucksackgeschirr mit Telemetriesender.



Abb. 4b: Am Gänsegeier montierter Sender.

bedingte Zunahme des Körpervolumens zu ermöglichen; andererseits ist das Material physikalisch und chemisch so widerstandsfähig, daß es den Belastungen durch die Vögel standhält.

- Auf der Basis von Alterungsprozessen (Einwirkung atmosphärischer Gase) konnte eine Sollbruchstelle realisiert werden (PERBUNAN-Dichtungsring), die einen risikoarmen Senderabwurf nach 2 – 3 Jahren ermöglicht.
- Die Anbringung nahe am Körperschwerpunkt erlaubt ein relativ hohes Sendergewicht und somit eine große Batteriekapazität, wodurch die Entwicklung eines Senders zur Bestimmung der Flughöhe erst möglich wurde (s. Kap. 3.4.2).
- Exakte und schnelle Dimensionierbarkeit am Vogel durch 2-Ohr-Klemmschellen.

### 3.5 Flughöhensender

In Zusammenarbeit mit dem B+R Entwicklungsbüro (March bei Freiburg) konnte ein Telemetriesender entwickelt werden, der eine barometrische Bestimmung der Flughöhe ermöglicht (BÖGEL & BURCHARD 1992, BÖGEL 1994). Hierzu wird relativ zum Basisluftdruck

der Luftdruck in Senderhöhe bestimmt und aus der Druckdruckdifferenz der Höhenunterschied berechnet. Da Temperatureinflüsse Driftprozesse im Sender verursachen, muß zur Verbesserung der Meßgenauigkeit zusätzlich die Sendertemperatur bestimmt werden. Durch Ermittlung von Eichkurven im Labor wird die Luftdruck-Übertragungsfunktion für jeden Sender bei verschiedenen Temperaturen bestimmt, so daß sich über Regressionsfunktionen der Temperatureinfluß auf die Luftdruckmessung kompensieren läßt. Der Wert beider Meßgrößen wird durch Pulsintervallmodulation (**PIM**) der Sender-Trägerfrequenz codiert (Abb. 5a, b): Impulsintervalle von 200 – 1200 ms korrespondieren mit Temperatur- und Luftdruckwerten von  $-20...+60^{\circ}\text{C}$  bzw. 200...1000 mbar. Die Unterscheidung der Meßmodalitäten erfolgt durch Pulsdauermodulation (**PDM**). Kurze Impulse von 10 ms Dauer kennzeichnen den Temperatur-Meßmodus, lange Impulse von 20 ms Dauer den Luftdruck-Meßmodus.

In Abb. 6 ist der Schaltungsaufbau des Senders im Blockdiagramm dargestellt:

Zur Luftdruckmessung triggert ein piezoresistiver Druckgeber mit Vakuumreferenz (SENSYM SCX 15) über einen Spannungs-Frequenz-Konverter ein monostabiles

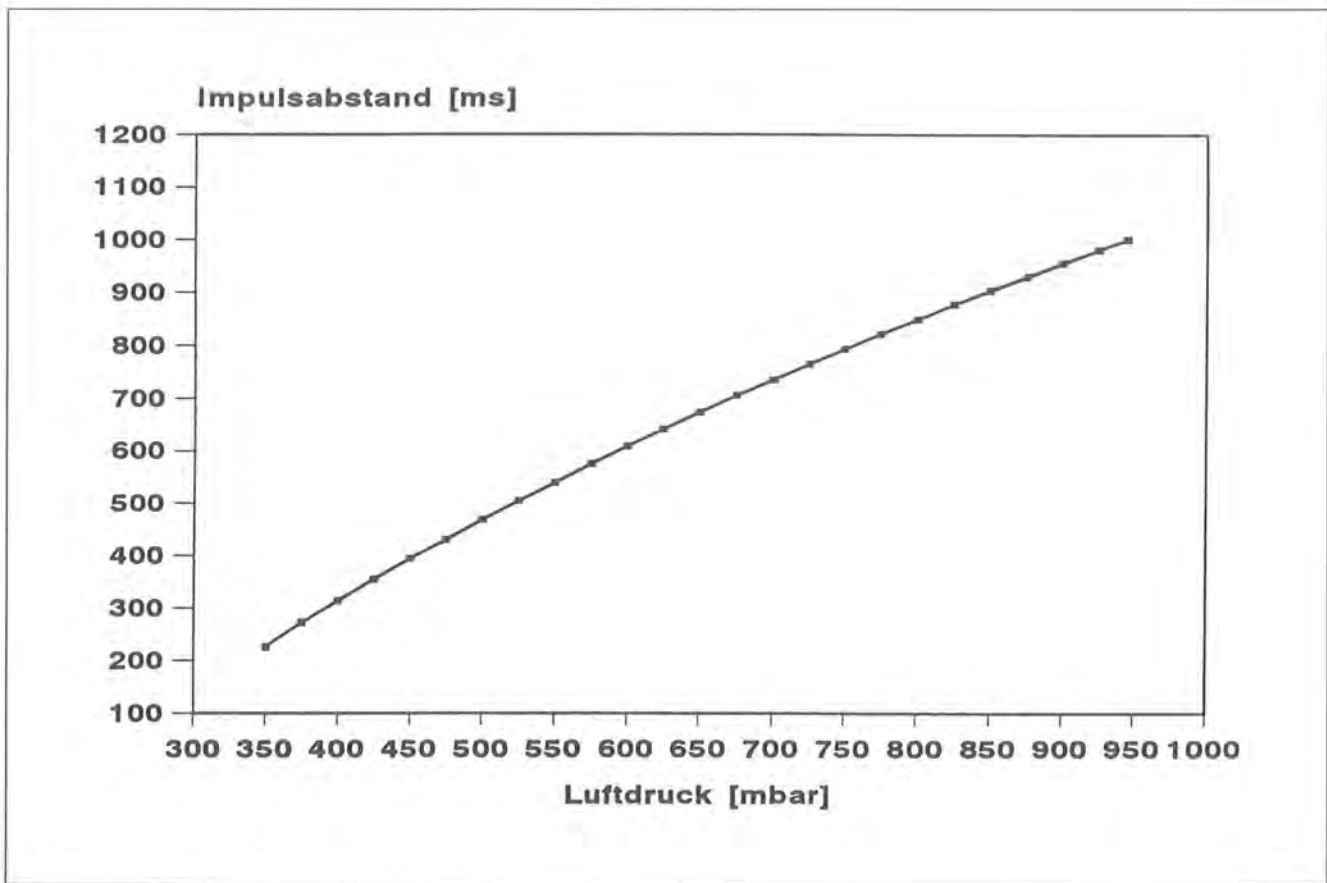


Abb. 5a: Luftdruck-Übertragungsfunktion eines Senders.

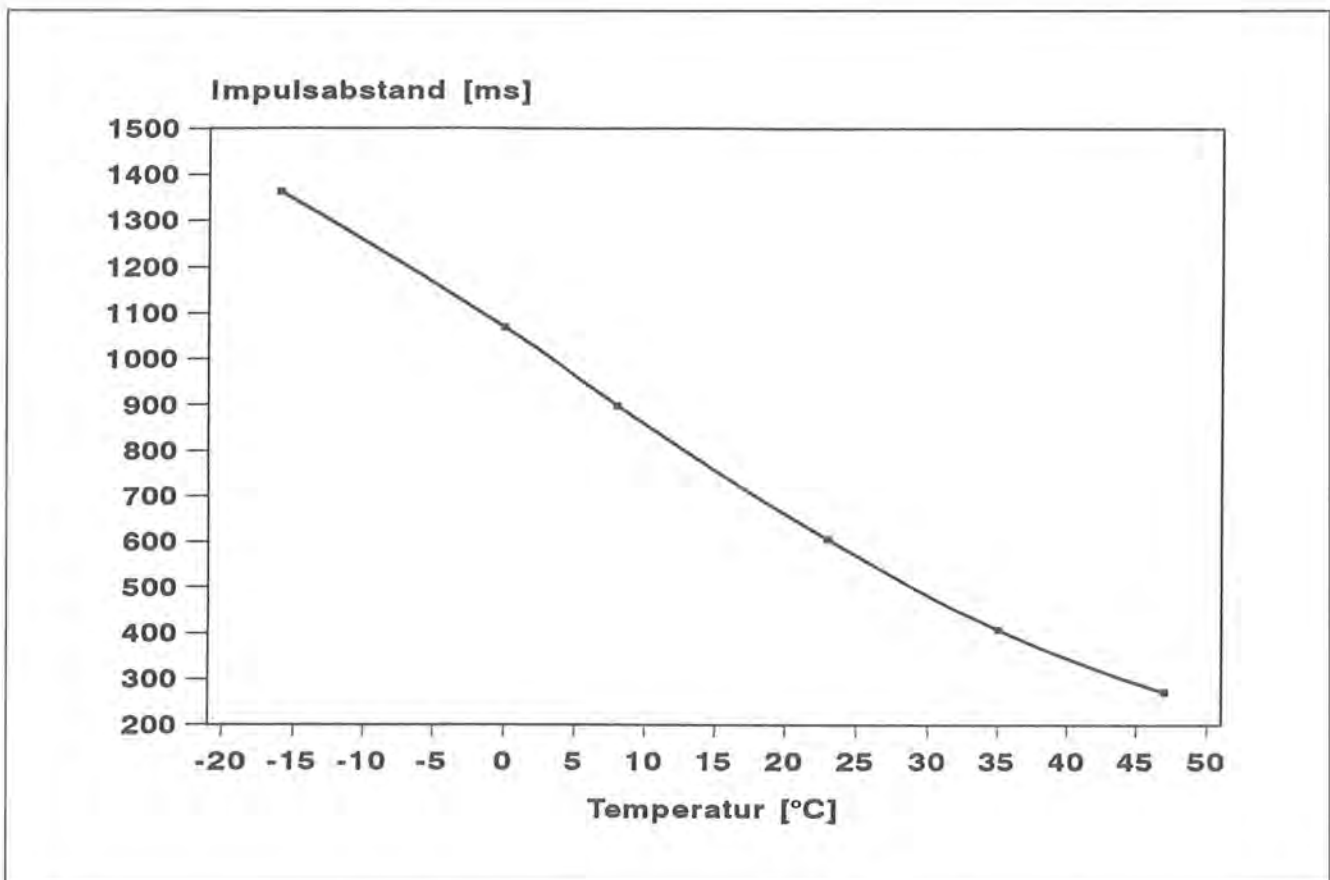


Abb. 5b: Temperatur-Übertragungsfunktion eines Senders.



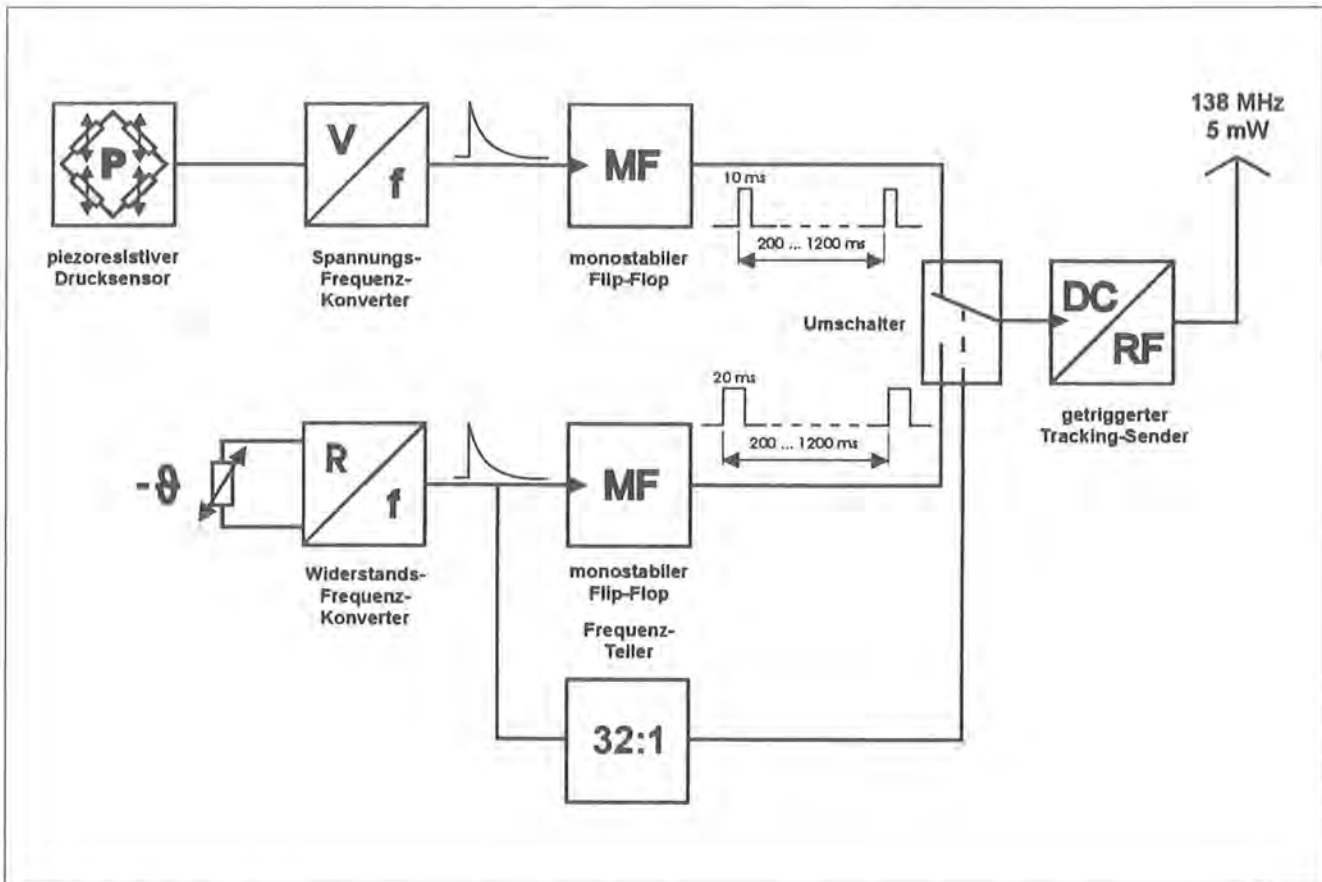


Abb. 6: Schaltungsaufbau des Flughöhensenders.

Flip-Flop, das Impulse von 20 ms Dauer erzeugt. In gleicher Weise werden über einen Thermofühler und ein monostabiles Flip-Flop Impulse von 10 ms Dauer getriggert. Das Zeitintervall zwischen zwei Impulsen kodiert in beiden Fällen die Größe des Meßwerts. Um eine Vermischung beider Impulsketten zu vermeiden, wird über einen Zeitgeber zwischen beiden Meßmodi umgeschaltet. Das Ausgangssignal des Umschalters taktet dann die HF-Sendeendstufe im entsprechenden Rhythmus. Dieses Zeitintervall für den Umschaltvorgang wird aus dem temperaturabhängigen Impulsintervall durch Multiplikation mit dem Faktor 32 gewonnen. Die Länge des Meßzyklus (Temperatur- bzw. Luftdruckmessung) variiert somit mit der Sendertemperatur und liegt zwischen 6 und 50 sec.

Die Berechnung der Flughöhe erfolgt in mehreren Schritten:

Zunächst wird die Sendertemperatur über eine Regressionsfunktion bestimmt. Aufgrund einer Kennlinie mit Wendepunkt ist ein Polynom 3. Ordnung notwendig; dadurch wird ein Korrelationskoeffizient von  $> 0,999$  erreicht:

$$\vartheta_{(T)} = a + b \cdot T + c \cdot T^2 + d \cdot T^3 \quad (1)$$

mit: T: gemessenes Impulsintervall [ms]  
a, b, c, d: Senderspezifische Regressionsparameter

Die Bestimmung des Luftdrucks in Senderhöhe erfolgt ebenfalls über eine polynomische Regressionsfunktion. Ein Polynom 2. Ordnung liefert hier bereits eine hohe Genauigkeit (Korrelationskoeffizient  $> 0,999$ ):

$$P_{(T)} = a_{(0)} + b_{(0)} \cdot T + c_{(0)} \cdot T^2 \quad (2)$$

mit: T: gemessenes Impulsintervall [ms]  
 $a_{(0)}, b_{(0)}, c_{(0)}$ : temperaturabhängige Regressionsparameter der einzelnen Sender

Dazu werden die Regressionsparameter  $a_{(0)}, b_{(0)}, c_{(0)}$  über die nach Formel (1) berechnete Sendertemperatur ermittelt. Um die Regressionsfehler klein zu halten (Korrelationskoeffizienten  $> 0,999$ ), ist wieder ein Polynom 3. Ordnung notwendig:

$$r_{(T)} = p_0 + p_1 \cdot \vartheta + p_2 \cdot \vartheta^2 + p_3 \cdot \vartheta^3 \quad (3)$$

mit:  $r_{(T)}$ : Regressionsparameter  $a_{(0)}, b_{(0)}, c_{(0)}$  (siehe oben)  
 $\vartheta$ : errechnete Sendertemperatur [°C] (siehe Formel 1)  
 $p_0, p_1, p_2, p_3$ : Senderspezifische Regressionsparameter

Im letzten Schritt kann dann die eigentliche Flughöhe relativ zu Luftdruck- und Temperatur-Referenzen berechnet werden (WEISCHET 1983):

$$\Delta h_{(P, \vartheta)} = 18400 \cdot \left( 1 + \frac{1}{273,15} \cdot \frac{\vartheta_{Ref} + \vartheta_h}{2} \right) \cdot \text{LOG} (P_{Ref} / P_{(h)}) \quad (4)$$

mit:  $\vartheta_{Ref}$ : Lufttemperatur in Referenzhöhe [°C]  
 $\vartheta_h$ : Lufttemperatur in der Höhe h [°C]  
 $P_{Ref}$ : Luftdruck in Referenzhöhe [mbar]  
 $P_{(h)}$ : Luftdruck in Flughöhe [mbar]  
 (siehe Formel 2)

Durch Eliminierung von  $\vartheta_h$  und Bezug auf Referenzhöhe erhält man:

$$h_{(P, \vartheta)} = h_{Ref} + \frac{18400 \cdot \left( 1 + \frac{\vartheta_{Ref}}{273,15} \right)}{\left( \frac{1}{\text{LOG} (P_{Ref} / P_{(h)})} + \frac{9200 \cdot \Delta \vartheta_{grad}}{273,15} \right)} \quad (5)$$

mit:  $h_{Ref}$ : Referenzhöhe [m]  
 $\vartheta_{Ref}$ : Temperatur in Referenzhöhe [°C]  
 $P_{Ref}$ : Luftdruck in Referenzhöhe [mbar]  
 $P_{(h)}$ : Luftdruck in Flughöhe [mbar]  
 (siehe Formel 2)  
 $\Delta \vartheta_{grad}$ : Temperaturgradient der Atmosphäre [°C/m]

Somit lassen sich Höhenunterschiede relativ zu Referenzsendern auf Gipfelhöhe oder im Tal bestimmen. Die Ableitung der Formel (5) ist in Anhang 9.2 dokumentiert, die Eichdiagramme und Regressionsfunktionen der Sender in Anhang 9.3.

### 3.6 Radio-Tracking

Die Standortbestimmung mit mobilen Peilanlagen erfolgte nach den bei BÖGEL (1987), FULLER (1994) und KENWARD (1987) beschriebenen Peilmethoden. Im Gegensatz zu der von KENWARD (1987) empfohlenen vertikalen Antennenorientierung wurde mit horizontaler Polarisation gearbeitet, weil dies im Untersuchungsgebiet die genaueren Peilerggebnisse lieferte. Vertikale Polarisation diente zur Feststellung von Reflexionen (Ausmaß der Diskrepanz zum horizontalen Peilerggebnis) und erbrachte teilweise höhere Reichweiten.

Die Standortbestimmung erfolgte durch Triangulation (WHITE & GARROT 1990), wobei der eigentliche Tierstandort als Inkreismittelpunkt des Peilstrahlendreiecks definiert wurde (Abb. 7). Zur Beurteilung der Güte einer Standortbestimmung wurde eine Fehlerpolygonfläche (A) aus der Streuung der X/Y-Koordinaten ( $SD_x$ ,  $SD_y$ ) abgeleitet und auf ein Konfidenzniveau von 95% bezogen (Faktor 1,96):

$$A = 1,96 SD_x \cdot 1,96 SD_y \quad (6)$$

Durch die Verwendung von Mobilempfängern mit Impulsdauer- und Impulsintervallmessung ist es möglich, die Flughöhe auch während der Feldarbeit zu berechnen bzw. anhand eines Diagramms (s. Abb. 8) zu ermitteln (BÖGEL 1994). Dies erleichtert die Standorteingrenzung des Tieres und die Dateninterpretation erheblich. So ergeben sich beispielsweise bei terrestrisch aktiven Tieren weitreichende Möglichkeiten einer Standortfindung auch in solchen Fällen, in denen simultane Kreuzpeilungen oder Triangulationen nicht möglich sind. Die im Gelände erhobenen Daten wurden in vorgefertigte Protokollblätter eingetragen und später in

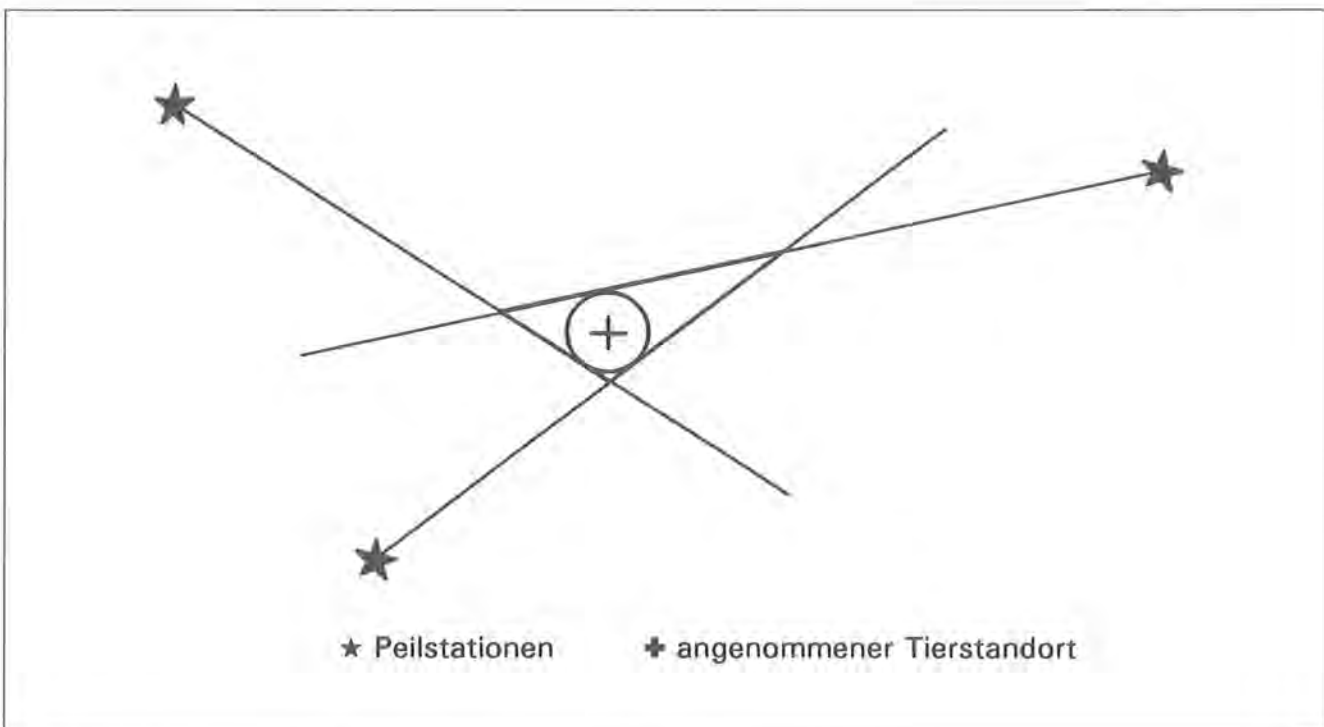


Abb. 7: Standortbestimmung des Tieres als Inkreismittelpunkt der Peilgeraden.

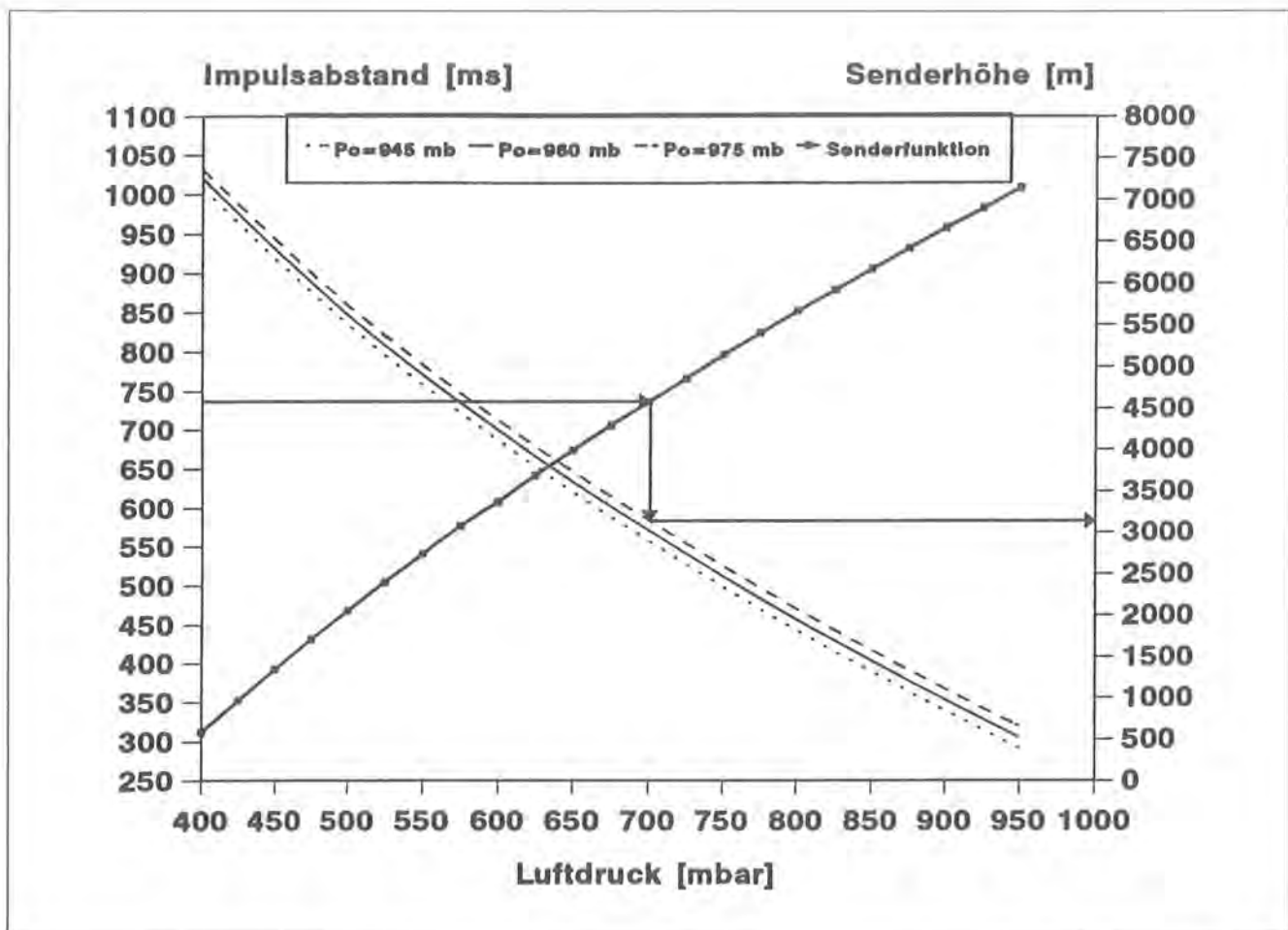


Abb. 8: Diagramm zur Bestimmung der Flughöhe während der Feldarbeit: Über das gemessene Impulsintervall erhält man gemäß der Sender-Eichkurve den korrespondierenden Luftdruckwert, der wiederum über eine von mehreren wetterabhängigen Luftdruckkurven den Höhenwert ergibt. Ein eingezeichnetes Fall-Beispiel verdeutlicht die Vorgangsweise: Das gemessene Impulsintervall von 735 ms entspricht einem Luftdruckwert von 700 mbar, welcher bei einem Basisluftdruck von 975 mb (in 440 m NN) eine Flughöhe von etwa 3200 m ergibt.

eine Datenbank überführt (ORACLE-Software). Die entsprechende Datenstruktur ist in Anhang 9.8 dokumentiert. Die zugehörigen Aufenthaltsorte der Tiere sind in Kartenblättern im Maßstab 1:25.000 dokumentiert und wurden ins Geografische Informationssystem (GIS, s. Kap. 3.8) überführt.

### 3.7 Doppler-Telemetriesystem

Bei dem Dopplertelemetriesystem handelt es sich um eine Neuentwicklung in Zusammenarbeit mit dem B+R Entwicklungsbüro (March bei Freiburg) und dem Forschungsinstitut für Wildtierkunde (Wien). Es gelang erstmals die Umsetzung eines Peilsystems für den biologischen Einsatz, welches das Doppler-Peilverfahren (BURCHARD 1989, HÄMMERLE 1989, WATSON & WRIGHT 1971) mit der Kompatibilität zu konventionellen Trackingsendern verbindet (SCHÖBER et al. 1993).

Die Einzelkomponenten eines Dopplerpeilers sind (vgl. Abb. 9 und BURCHARD 1991): Dopplerantenne, Kommutator und Dopplerempfänger. Die Dopplerantenne (vgl. Abb. 10 und 11) besteht aus einer feststehenden

kreisförmigen Anordnung von acht vertikalen  $\lambda/2$ -Dipolen (vgl. Abb. 12). Diese Konstruktion vermeidet mechanisch bewegte Teile, wodurch einerseits eine problemlose Solarstromversorgung der Anlagen möglich wird und andererseits die Zuverlässigkeit im Dauereinsatz erheblich steigt.

Durch ein schnelles Umschalten der einzelnen Dipole (Rotationsfrequenz 500 Hz, 250  $\mu$ s Umschaltintervall zwischen 2 Dipolen) wird eine, auf einer Kreisbahn rotierende Empfangsantenne simuliert, wodurch gemäß des Dopplereffekts eine periodische Frequenzverschiebung entsteht (HÄMMERLE 1989). Durch die begrenzte Zahl der Antennenelemente (8) ergibt sich keine kontinuierliche, sondern eine sprunghafte FM-Modulation (Stair Case-Phasenmodulation), aus der über eine Phasenmessung relativ zu einem geräteinternen Referenz-Zeitgeber die Senderrichtung bestimmt wird (Abb. 10). Der Dopplerempfänger unterscheidet sich demnach von einem konventionellen FM-Empfänger nur durch den Phasenmesser und die Kommutatorsteuerung des Antennensystems (s.u.). Zur Verarbeitung frequenzmodulierter Signale (FM) ist eine im Vergleich zu konventionellen Trackingempfängern (CW-Betrieb) größere Zwischenfrequenz-Bandbreite (ZF)

notwendig. Dies führt zu einem erhöhten Rauschanteil im empfangenen Signal und deshalb zu einer verminderten Eingangsempfindlichkeit. In Kombination mit den Dipolelementen der Dopplerantenne ergibt sich dadurch im Vergleich zu schmalbandigen Trackingempfängern mit Richtantennen ein Verlust an Reichweite, der nur teilweise durch hochwertige Antennenverstärker kompensiert werden kann. Durch die amplitudenunabhängige Arbeitsweise des FM-Empfängers

haben Feldstärkeschwankungen, die z. B. durch lokomotorische Aktivitäten des Tieres bedingt werden können, keinen Einfluß auf die Peilgenauigkeit. Der Umschaltvorgang des Antennensystems muß über einen Kommutator vom Dopplerempfänger gesteuert werden (vgl. Abb. 9 und 11). Zur Eliminierung von geräteinternen, thermisch bedingten Laufzeitfehlern müssen die Peilergebnisse der beiden möglichen Rotationsrichtungen der Antenne gemittelt werden.

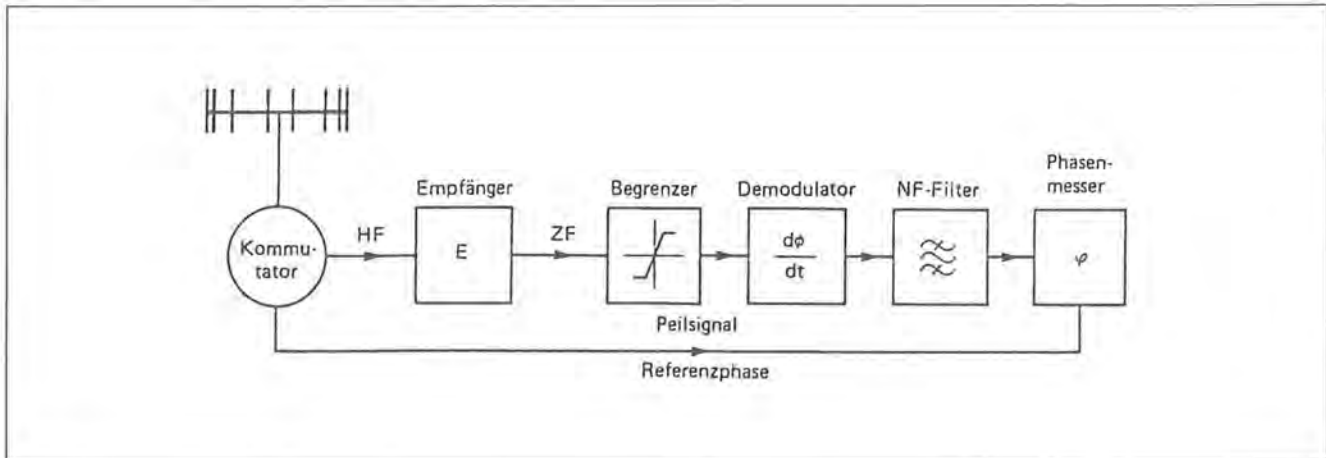


Abb. 9: Blockschaltbild eines Dopplerpeilers (aus HÄMMERLE 1989).

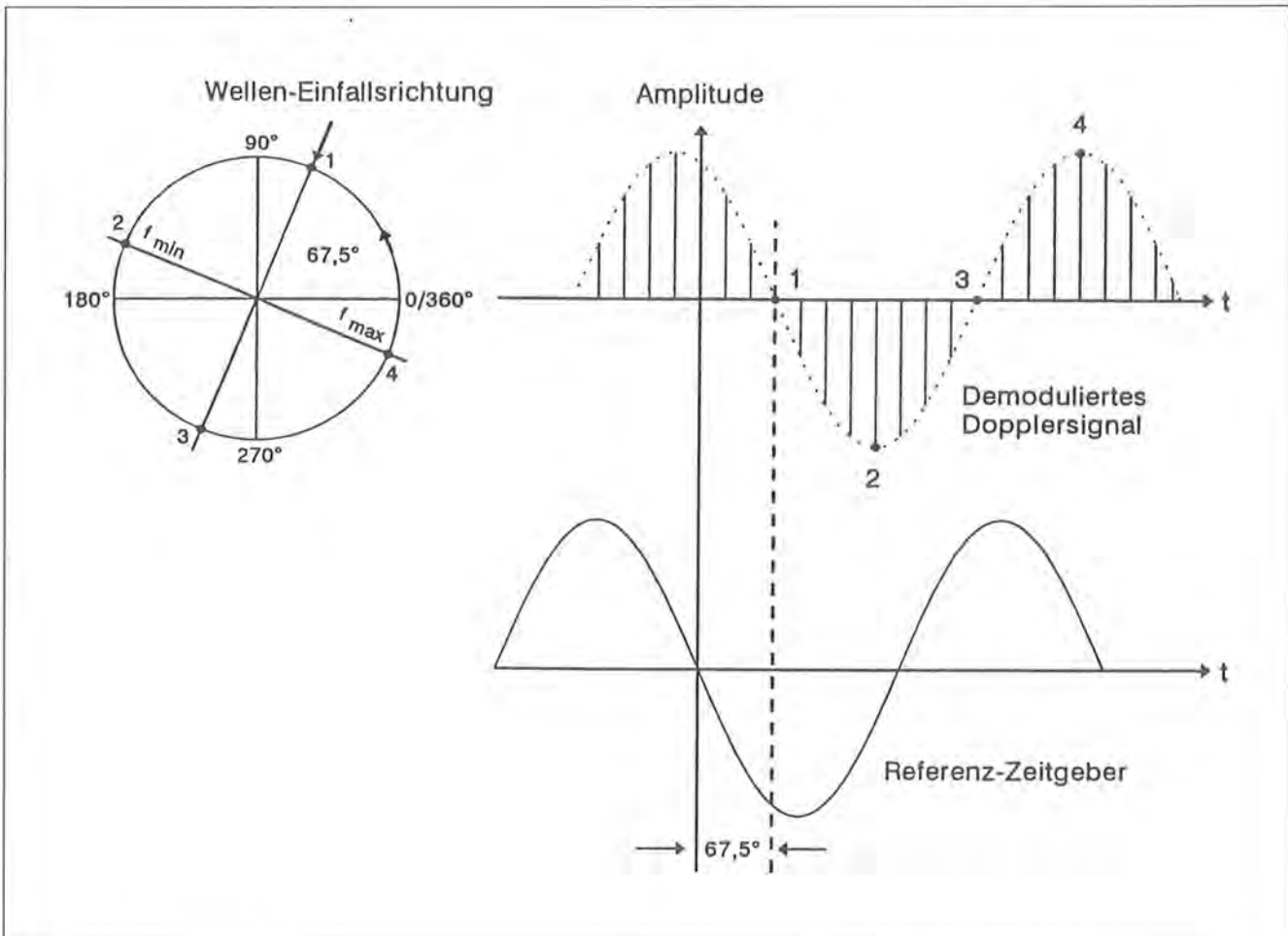


Abb. 10: Laufzeitmessung zur Richtungsbestimmung im Dopplerempfänger (angenommene Wellen-Einfallsrichtung: 67,5°).

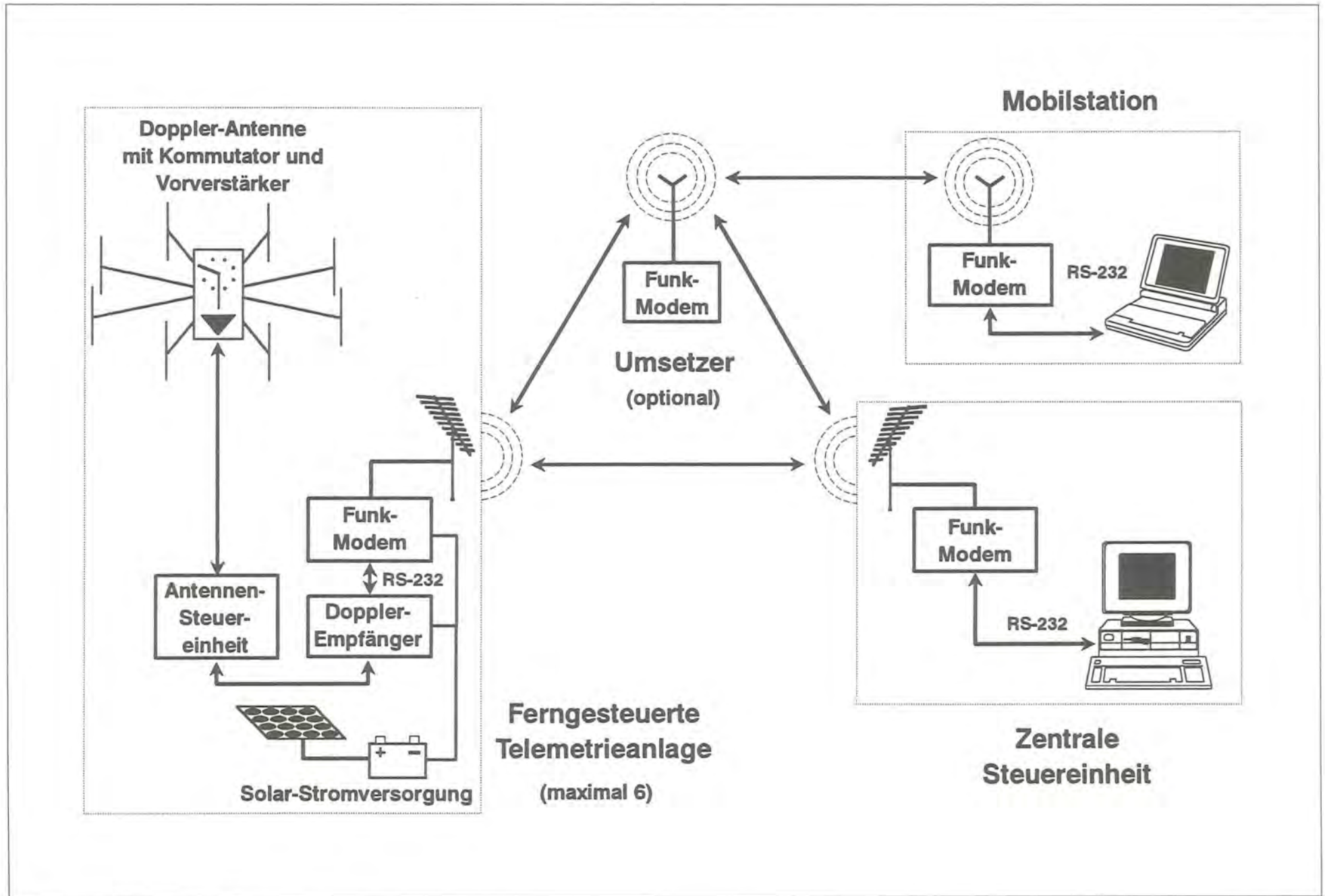


Abb. 11: Blockdiagramm des Telemetriesystems.

Neben der Richtungsbestimmung wird die Impulsdauer der Eingangssignale in vier Kategorien klassifiziert. Zusätzlich ist (alternativ zur Richtungsbestimmung) eine Messung der Impulsdauer und des Impulsintervalls für PIM- oder PDM-codierte Meßparameter möglich (Auflösung 1 ms). Dies wird in der vorliegenden Arbeit zur Luftdruck- und Temperaturmessung genutzt (s. Kap. 3.5).

Zum aktuellen Zugriff auf Peildaten wurde eine Funk-Fernübertragung eingesetzt. Die Lage der Peilanlagen und die Geländetopografie des Untersuchungsgebietes erfordern einen zentral gelegenen Umsetzer, um eine Kommunikation zwischen Zentrale und Telemetrieempfängern sicherzustellen (Die Höhenlinienprofile der einzelnen Richtfunkstrecken sind in Anhang 9.4 dokumentiert). Dieser Umsetzer arbeitet aus genehmigungsrechtlichen Gründen als Repeater im Simplexbetrieb, der den empfangenen Datenstring mit einer Zeitverzögerung von etwa 1 sec auf derselben Frequenz wiederholt.

Durch eine bidirektionale Datenübertragung und den Zugriff auf alle relevanten Empfängereinstellungen wird eine zentrale Steuerung des gesamten Telemetrie-systems möglich (Abb. 11). Dadurch können nicht nur alle Einstellungen der Telemetrieempfänger entsprechend der aktuellen Meßparameter verändert werden; es können auch bei fehlendem Empfang oder unplausiblen Daten Meßvorgänge wiederholt werden, ohne daß dadurch die Synchronität der einzelnen Peilanlagen verloren geht. Gerade durch den direkten Zugriff auf alle aktuellen Peil- und Meßdaten eröffnen sich weitreichende Möglichkeiten zur sofortigen Meßwiederholung bei negativer Plausibilitätsprüfung.



Abb. 12: Telemetrieanlage mit (von oben nach unten): Dopplerantenne, Antenne für Datenfunk, Solarpaneele, Aluschränk mit Dopplerempfänger, Funkmodem, Solarbatterie und Laderegler.



Abb. 13: Mobilstation mit Antenne (Steuerzentrale oder passive Lesestation).

Um einen direkten Zugriff auf die Daten des Peilsystems auch während der Freilandarbeit sicherzustellen, wurde eine Mobilstation entwickelt (Abb. 13), die entweder als „mobile Zentrale“ den vollen Funktionsumfang zur Systemsteuerung bietet oder als reine Lesestation den passiven Zugriff auf den Datenstrom ermöglicht. Alle Steuerkompetenzen bleiben dann beim Zentralrechner. Um ein möglichst breites Einsatzspektrum zu erreichen, kann diese Mobilstation mit Netzstrom, Kraftfahrzeugbatterie oder über einen eingebauten Akku betrieben werden.

Gemäß der oben ausgeführten Systemvorgaben ist der Funktionsumfang der Steuer-Software sehr komplex (Abb. 14 – 16). Ein hierarchischer Aufbau der Programmstruktur erlaubt eine Trennung nach Funktionsgruppen:

Die Gesamtkonfiguration mit sämtlichen System- und Sender-relevanten Parametern ist in einer *Setup*-Datei abgelegt (s. Anhang 9.7). Hier sind Anzahl und Standortkoordinaten von Peilanlagen und Referenzsendern, Nullrichtungen der Peilanlagen (Abweichung von geografisch Nord), Höhe der Referenzsender über NN, Regressionsparameter der Sender (s. Kap. 3.5), Akzeptanzkriterien für gültige Impulse, gewünschte Geländestrukturen zur Darstellung im grafischen Ausgabemodus, sowie die Definition der Pfade zu den *Setup*-, *Config*- und Erfassungsdateien (s. u.) festgelegt. Dadurch ist eine Änderung der Systemkonfiguration wie z. B. die Installierung einer zusätzlichen Peilanlage jederzeit möglich. Die Kapazität des Steuerprogramms umfaßt bis zu 6 Peilstationen. Aus Kostengründen mußte diese Studie mit drei Peilanlagen durchgeführt werden.

Alle häufiger veränderten Parameter werden in den Eingabemasken der Steuer-Software vom Benutzer als „Erfassungsauftrag“ definiert: Liste der zu überwachenden Tiere, Umschaltreihenfolge, Erfassungsintervall, tägliche Betriebszeit, Meßmodus (Winkelmessung / Impulsmessung / alternierender Meßmodus), gewünschte Mittelwertbildungen, sowie der Darstellungsmodus. Dieser Erfassungsauftrag wird in einer *Config*-Datei abgespeichert und läßt sich zur routinemäßigen Datenerhebung mit gleichbleibenden Erfassungsparametern jederzeit wieder abrufen (z. B. für einen neuen Systemstart).

Das Erfassungsintervall kann entweder mit maximaler Datenrate (ca. 1 Datensatz alle 10 Sekunden) oder in beliebigen Zeitintervallen erfolgen. Zur Untersuchung der flugbiologischen Parameter wurde eine Routine zur Meßwertbildung gewählt, die von jeder Telemetriestation jeweils 2 aufeinanderfolgende Winkel-, Temperatur- und Luftdruckwerte erhebt (vgl. Abb. 16).

Bei der Datenerfassung kommt der Meßwertanalyse und der daraus abgeleiteten Routine zur Arbeitspunktregelung der einzelnen Peilempfänger eine Schlüssel-funktion zu (Abb. 15): Liegen die Arbeitspunkte der einzelnen Peilempfänger (Frequenzfeinabstimmung und Empfängerempfindlichkeit) nicht im optimalen Bereich, so verschlechtert sich die Datenqualität bis hin zu unbrauchbaren Daten. Dabei müssen die Arbeitspunkte

dynamisch den sich verändernden Empfangsbedingungen angepaßt werden. Die jeweils zuletzt gültigen Empfängereinstellungen werden für jede Telemetrieanlage und jedes überwachte Tier abgespeichert und können nach Ablauf des Erfassungsintervalls für eine neue Meßwertbildung herangezogen werden.

Um maximale Datensicherheit zu gewährleisten und um alle Möglichkeiten zur Dateninterpretation offen zu halten, werden alle erfaßten Meßdaten ohne jede Vorverarbeitung direkt auf der Festplatte des Rechners abgespeichert. Das System eröffnet automatisch jeden Tag ein neues Datenfile mit dem vom Datum abgeleiteten Namen *tmmjnn.psy*, wobei *nn* automatisch von 01 bis 99 hochgezählt wird, falls mehrere Datenfiles am selben Tag erzeugt werden. Die Aufzeichnung erfolgt in binärem Format mit variabler Wortlänge (s. Anhang 9.6.4).

Alle Tastatureingaben werden zur Dokumentation (durch spezielle Header gekennzeichnet) zwischen die eigentlichen Meßdaten geschrieben. Dadurch herrscht bei der späteren Datensichtung bzw. -auswertung immer Klarheit über den Erfassungsauftrag des Systems oder vorgenommene Änderungen. Auch Kommentare wie z. B. Interpretationen zu den erfaßten Meßdaten können über eine Notizblock-Funktion direkt den entsprechenden Daten zugeordnet und mitabgespeichert werden.

Die Datenausgabe erfolgt entweder in Listenform oder grafisch auf einer hinterlegten Landkarte des Untersuchungsgebiets. Bei der Listendarstellung wird parallel zum Meßergebnis der Erfassungsauftrag an das Peilsystem im „Status-Fenster“ angezeigt. Die Abb. 17 und 18 zeigen die Ausgabelisten für Peildaten bzw. für PDM-/PIM-codierte Meßdaten. Der grafische Ausgabemodus ist weitgehend identisch mit dem der „Playback-Software“ (s.u.).

Eine spezielles Softwaremodul dient zum Darstellen, Plausibilisieren und Editieren der Daten („Playback“-Software, s. Abb. 19). Sie arbeitet im grafischen Ausgabemodus (Abb. 20) und greift auf die primären Datenfiles (*tmmjnn.psy*) sowie auf die *Setup*-Datei zu (s.o.). Die plausibilisierten Daten werden als Sekundärdateien im selben Format wie die Primärdateien abgelegt. Dadurch lassen sich bereits bearbeitete Datenfiles mit demselben Software-Modul nachbearbeiten, und es können jederzeit plausibilisierte Daten mit den Original-Dateien verglichen werden. Die plausibilisierten Datenfiles werden unter dem Namen *tmmjnn.edt* abgelegt.

Die eigentliche Auswertung erfolgt nach der Datenplausibilisierung auf einer SUN-Workstation mit einem Geografischem Informations-System (Unix-Betriebssystem, ARC/INFO- und ORACLE-Software, vgl. Kap. 3.8). Zum Datenexport dient ein spezielles Modul der Playback-Software, das abgeleitete Daten berechnet, die Daten zusammenfaßt und in Sekundär-Files im ASCII-Format mit der Namensgebung *tmmjnn.asc* ablegt. Diese Dateien können auch von anderen Softwareprodukten (z. B. Statistik-, Tabellenkalkulations- oder Datenbankprogrammen) eingelesen und bearbeitet werden.

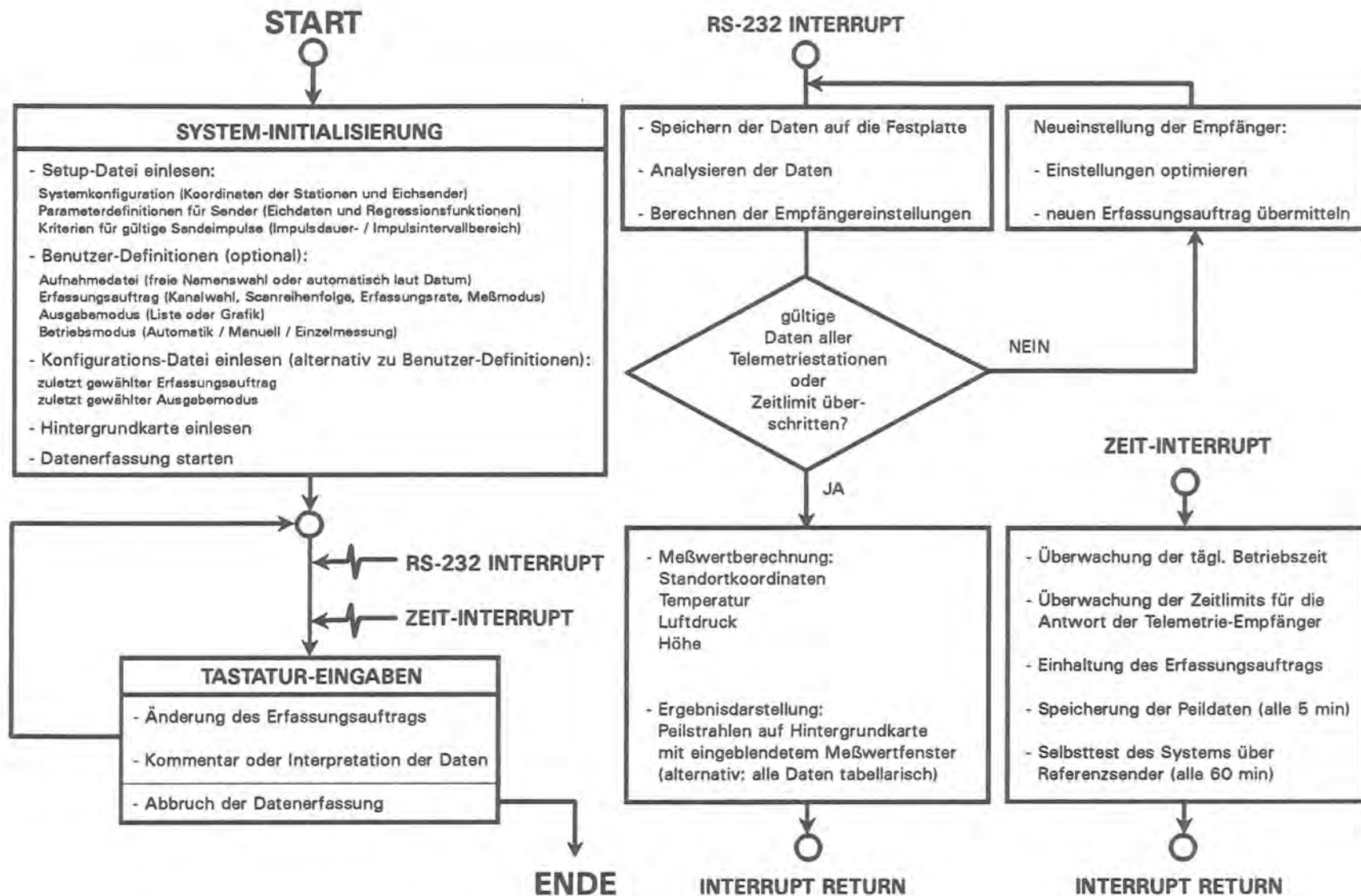


Abb. 14: Funktionsübersicht der Steuer-Software (Programmierung: Ing. W. Bugnar, Forschungsinstitut für Wildtierkunde, Wien).



**für Telemetrie-Empfänger 1...3:**

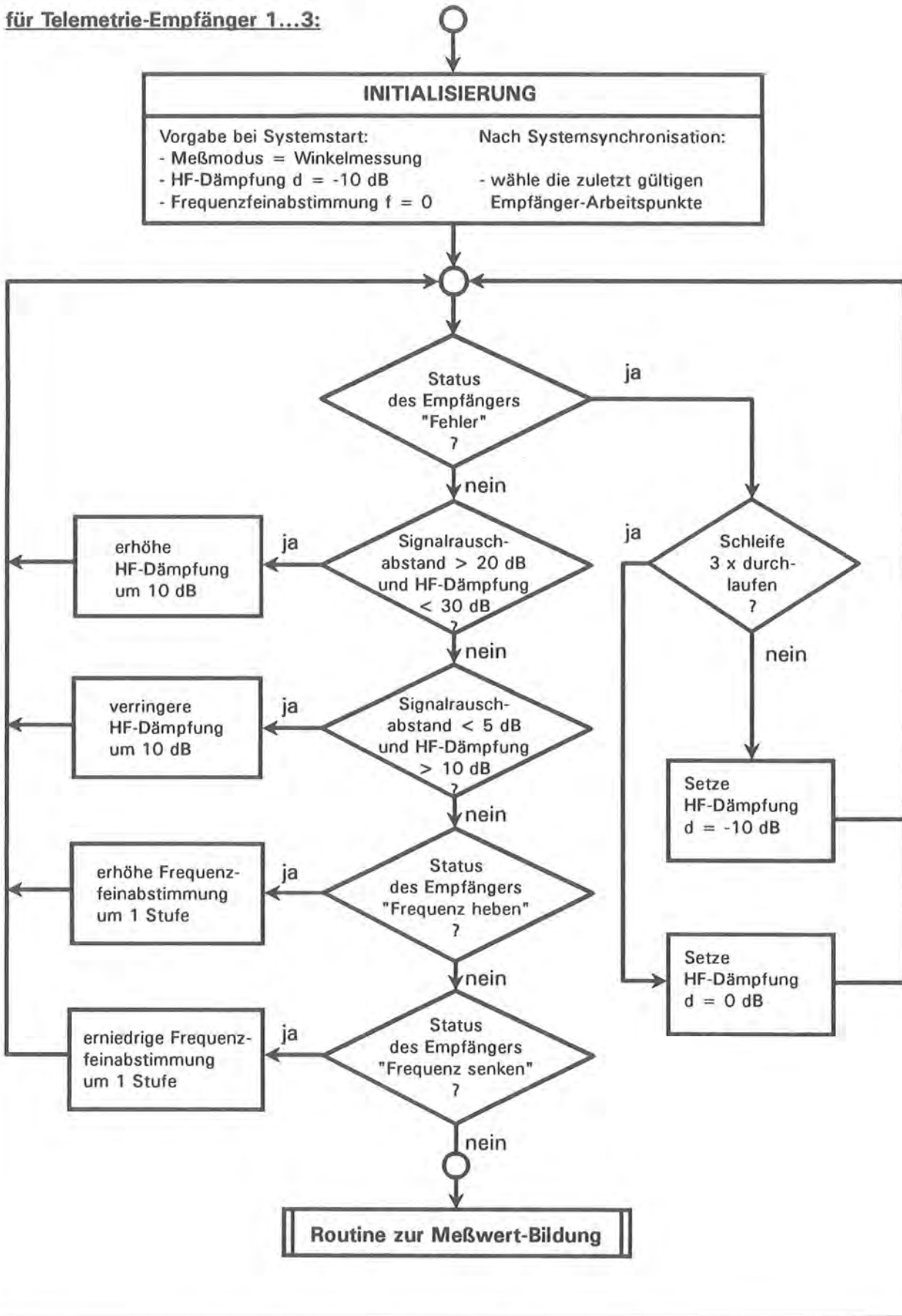


Abb. 15: Routine zur dynamischen Arbeitspunktregelung der Empfänger (Programmierung: Ing. W. Bugnar, Forschungsinstitut für Wildtierkunde, Wien).

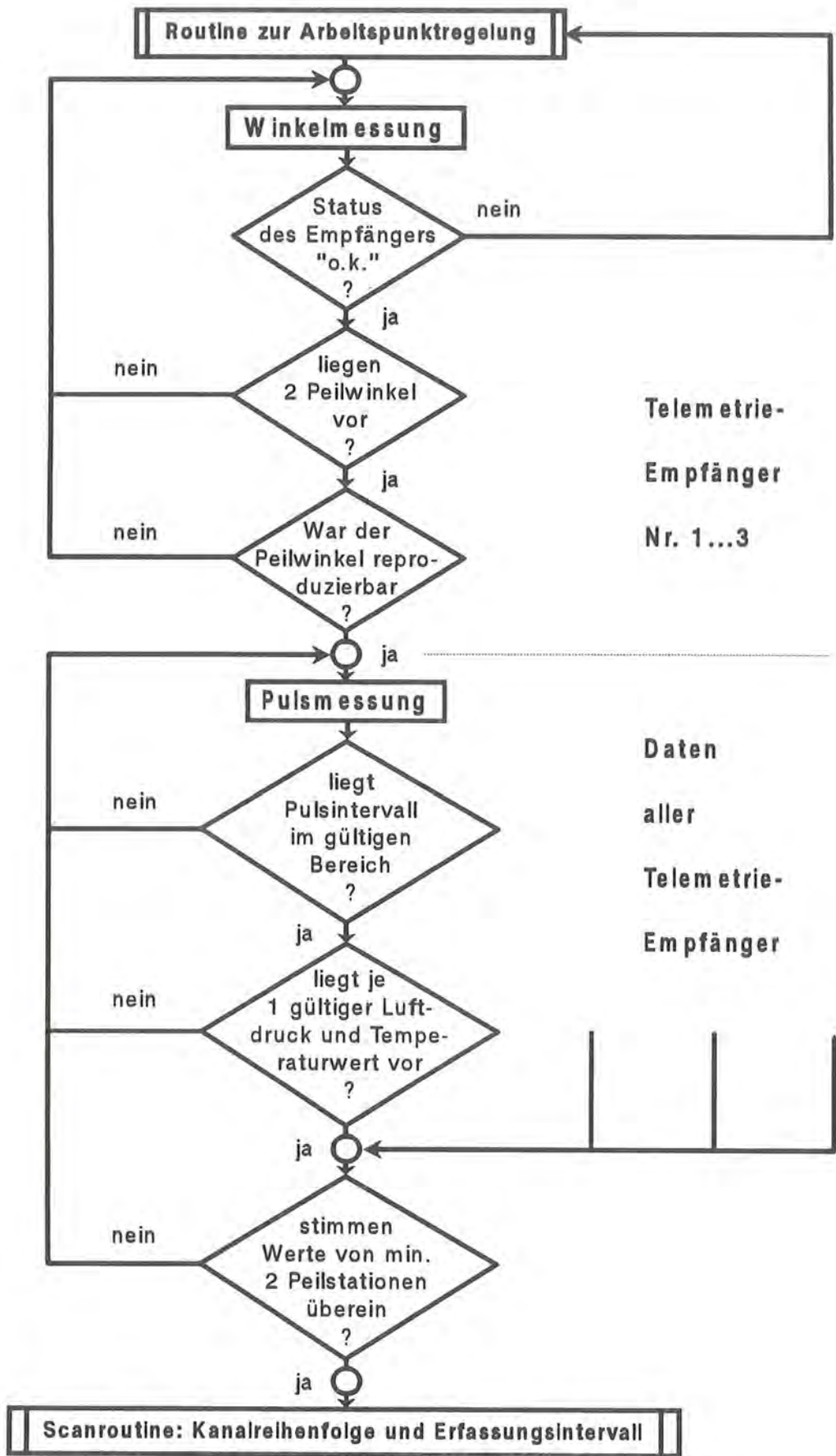


Abb. 16: Routine zur Meßwertbildung (Programmierung: Ing. W. Bugnar, Forschungsinstitut für Wildtierkunde, Wien).

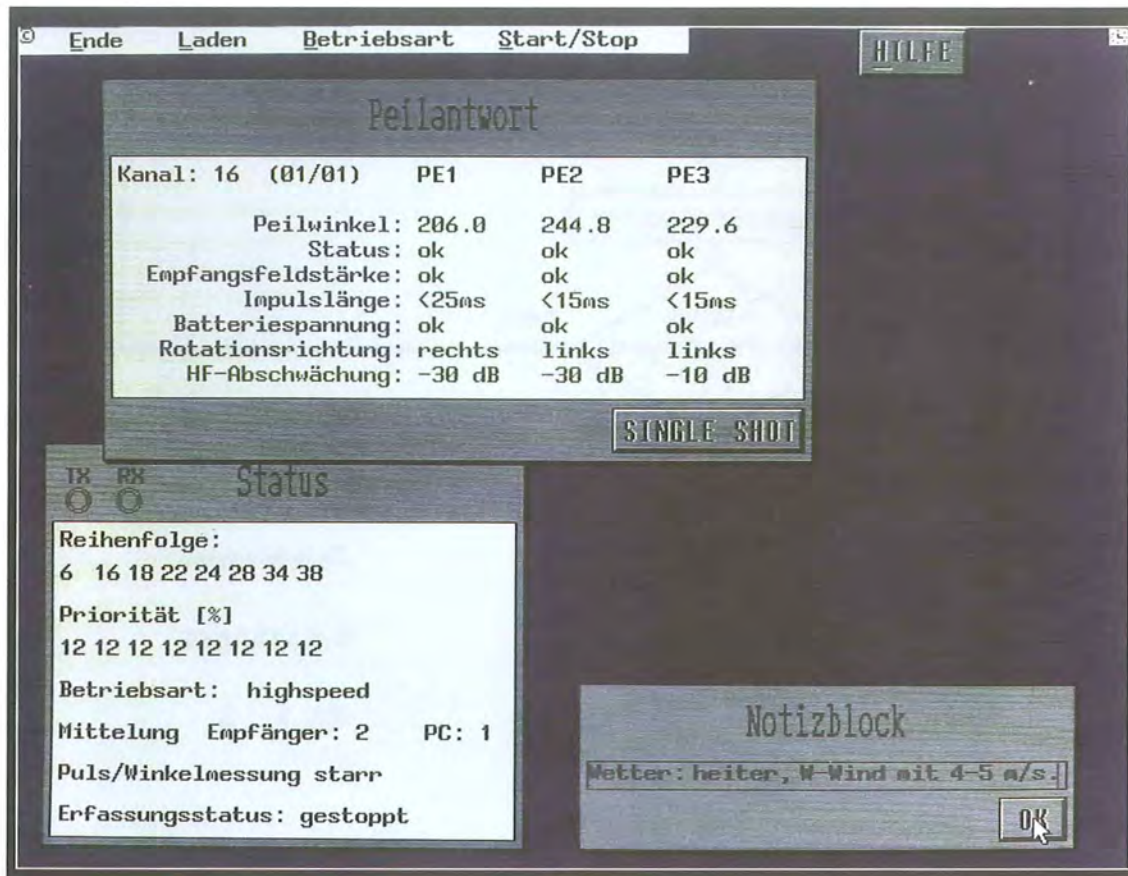


Abb. 17: Ergebnisausgabe der Peildaten in Listenform.

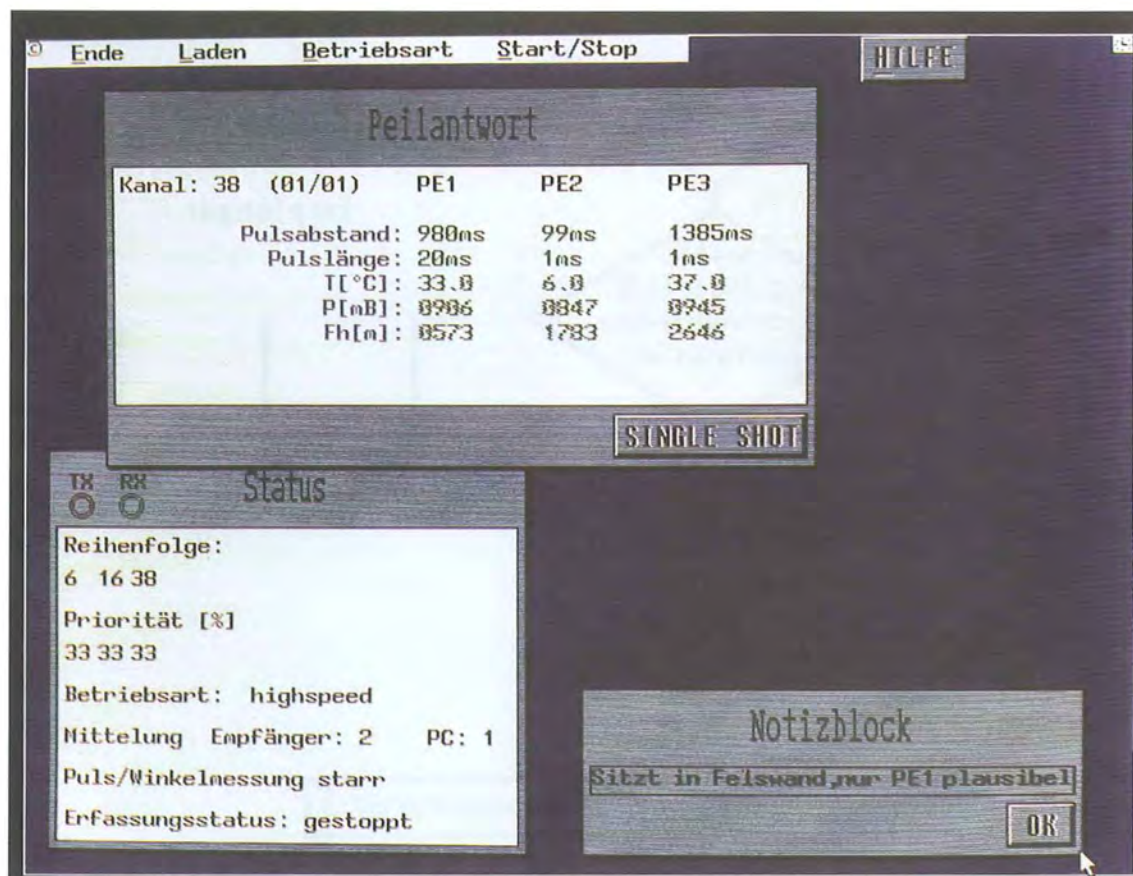


Abb. 18: Ergebnisausgabe der Impuls-Meßdaten in Listenform.

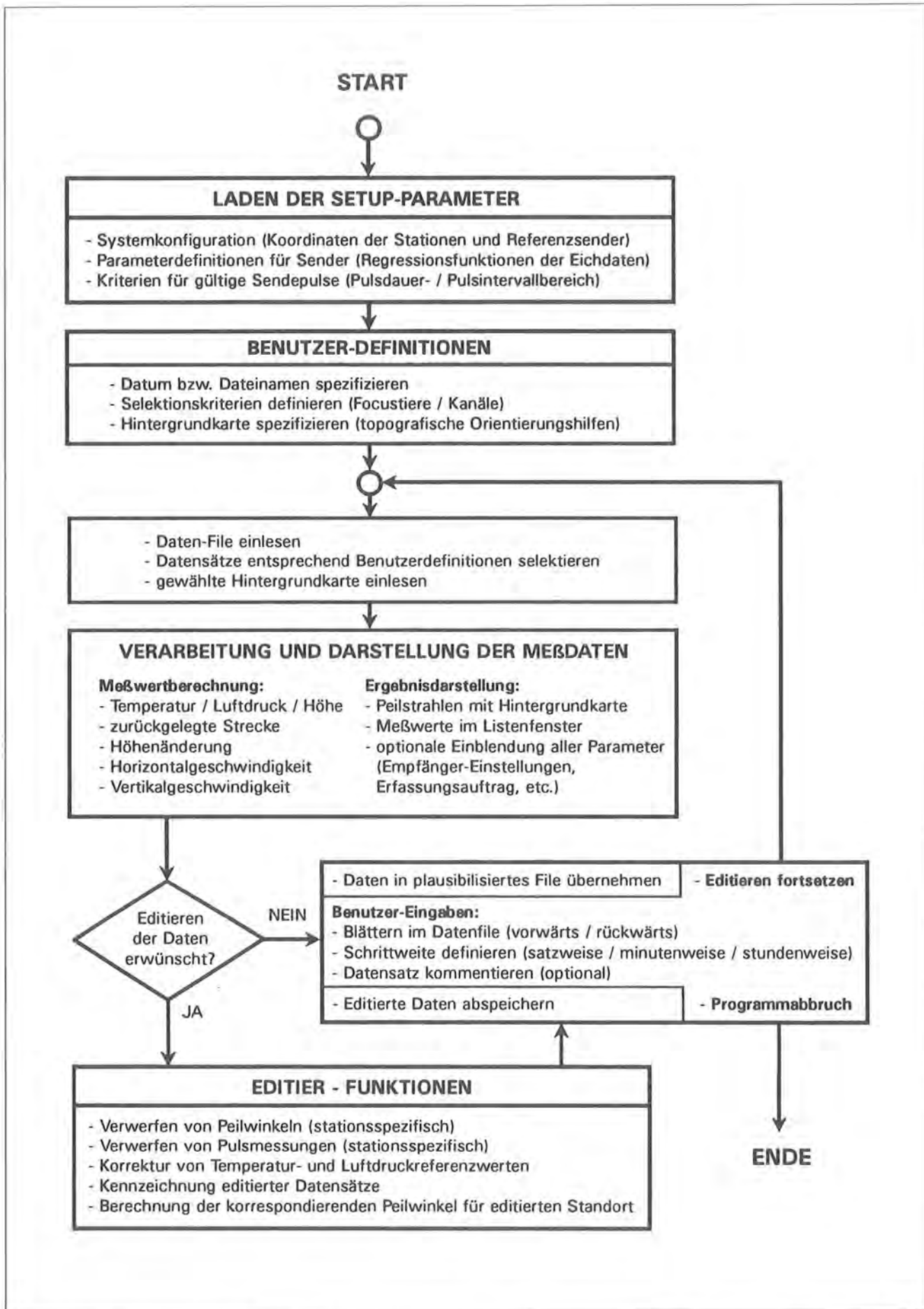


Abb. 19: Funktionsübersicht des Software-Moduls zur Datenplausibilisierung. (Programmierung: Ing. W. Bugnar, Forschungsinstitut für Wildtierkunde, Wien).

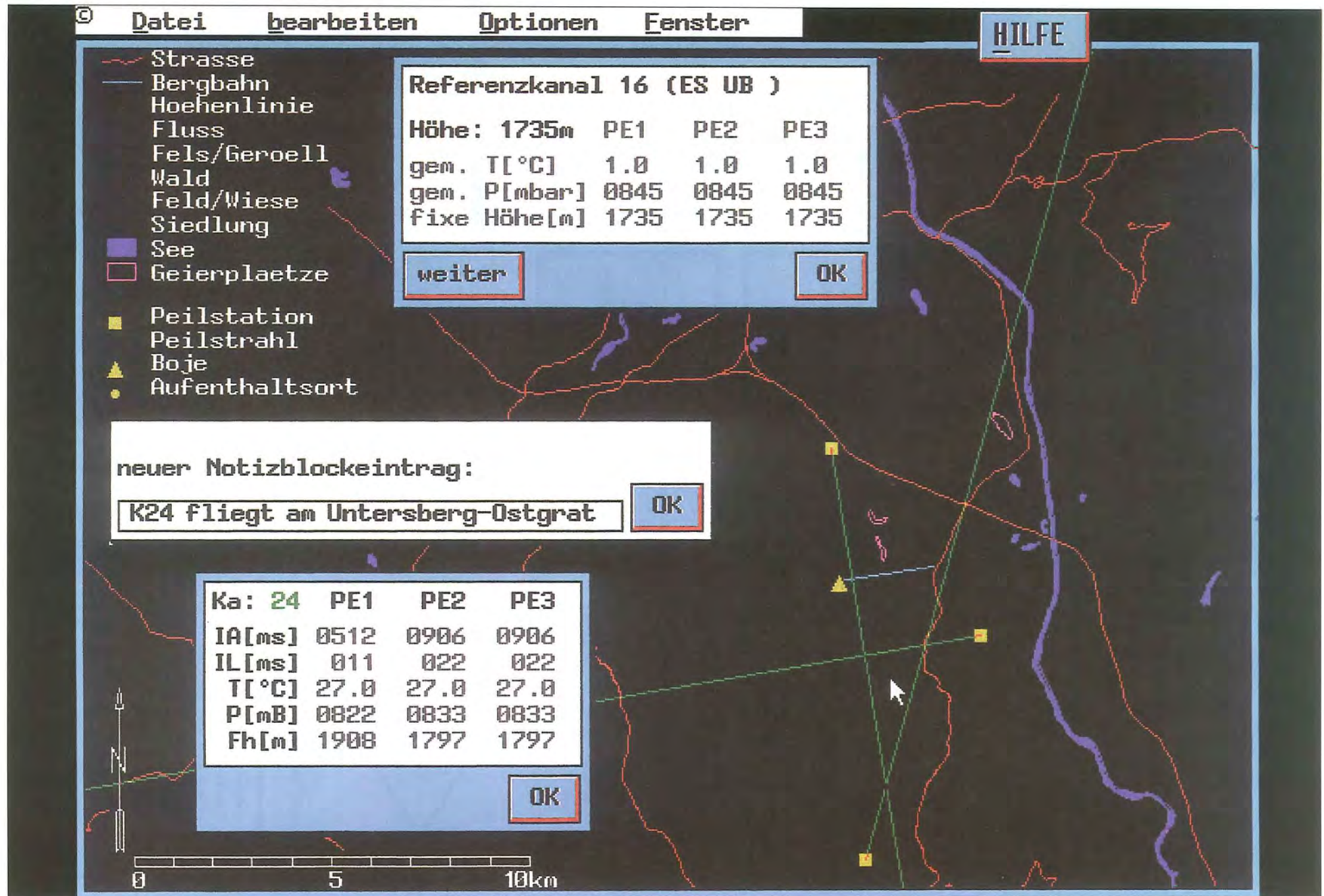


Abb. 20: Graphische Datenausgabe mit eingblendetem Ergebnisfenster für Temperatur-, Luftdruck- und Flughöhendaten.

Das Datenexport-Modul hat folgenden Funktionsumfang:

- Umrechnung der Peilwinkel in XY-Koordinaten als Inkreismitelpunkt des Peilstrahlendreiecks (s. Kap. 3.6).
- Berechnung der Fehlerpolygonfläche zur Beurteilung der Lokalisationsgüte (s. Kap. 3.6).
- Umrechnung der Impulsmessungen in Temperatur-, Luftdruck- und Höhenwerte sowie deren Standardabweichung.
- Abspeichern der aufgezählten Größen zusammen mit den Kenndaten (Datum, Uhrzeit und Tier-ID) im ASCII-Format.

Die Datenstruktur der Originaldateien (*tmmjinn.psy*), der plausibilisierten und exportierten Files (*tmmjinn.edt* bzw. *tmmjinn.asc*) sowie die Datenübertragungsprotokolle zwischen Zentralrechner und Peilanlagen sind in Anhang 9.8 dokumentiert.

### 3.8 Geografisches Informationssystem und Datenauswertung

Im Geografischen Informationssystem (GIS) des Nationalparks Berchtesgaden sind folgende Parameter des Untersuchungsgebiets flächendeckend erfaßt (Kartierungsmaßstab 1:10.000):

1) Höhenstufe (100 m-Stufen, z. T. 50 m-Zwischenwerte), 2) Hangneigung (10°-Klassen), 3) Geländeexposition (10°-Klassen) und 4) Habitat-Typ (183 Typen, Klassifizierung nach Luftbildinterpretation). Eine derart fein differenzierte Habitat-Klassifizierung war für die Auswertung der Raumnutzung des Gänsegeiers nicht notwendig. Deshalb wurden die Habitat-Typen zu folgenden Großklassen zusammengefaßt und nach ihrer „Geiertauglichkeit“ bewertet:

- 1) Eis, Fels und Geröllfelder
- 2) Wälder
- 3) Felder, Grünland und alpine Rasen
- 4) Gewässer
- 5) Siedlungsflächen

Als GIS kam das Softwarepaket ARC/INFO zum Einsatz. Dabei handelt es sich um ein Vektor-orientiert aufgebautes GIS, das Strukturen flächenscharf abbildet (exakte räumliche Abgrenzung). Dadurch ergeben sich im Gegensatz zu Raster-orientierten geografischen Informationssystemen bezüglich der Grundvariablen homogen strukturierte Flächeneinheiten, d. h. es erfolgt in jedem Fall eine inhaltlich richtige Zuordnung zum betreffenden Geländeparameter. Detaillierte Angaben zu Aufbau und Struktur des verwendeten GIS finden sich bei SPANDAU & SIUDA (1985), d'OLEIRE-OLTMANNIS et al. (1991), d'OLEIRE-OLTMANNIS & FRANZ (1991) sowie SCHALLER (1988). Abb. 1, sowie Abb. 21 – 22 zeigen die Datenbasis für das Untersuchungsgebiet gemäß obiger Differenzierung.

Die Integration des Telemetriesystems in das GIS (BÖGEL et al. 1995) und die damit verbundenen Mög-

lichkeiten der Datenanalyse waren bei der Bewertung der Habitatmodelle (s. Kap. 3.10) von ganz zentraler Bedeutung. Insbesondere die komplexen Bewertungsalgorithmen für das Thermik- und Aufwindpotential wären ohne das GIS nicht umsetzbar gewesen, da beide in besonderem Maße von topografischen Geländeparametern abhängig sind. Für beide Habitatmodelle war die Bewertung von etwa 6 Millionen Rasterzellen notwendig. Dazu mußte die relative Hangneigung und -exposition in Bezug zur gegebenen Windsituation (Windrichtung und Windgeschwindigkeit) bzw. zum Sonnenstand (Sonnenhöhe und -azimut) gebracht werden (s. Kap. 3.10). Flächen mit positiver Bewertung können dann mit der effektiven Raumnutzung der Geier verglichen und auf Korrelationen geprüft werden.

Auch die Berechnung der orografischen Sonnenscheindauer unter Berücksichtigung des topografischen Umfelds (Beschattung durch Horizontüberhöhung) wäre ohne das GIS (HILLSHADE-Funktion des GRID-Moduls) nicht möglich gewesen. Alle verwendeten Rechenvorschriften (AMLs) sind im Anhang 9.6 dokumentiert.

### 3.9 Aktionsraumabgrenzung und Home-Range-Modell

Um den Aktionsraum eines Tieres oder sozialen Verbands (Geierkolonie) zu bestimmen, muß aus der Stichprobe der Einzelnachweise (Telemetrielokalisationen und Sichtbeobachtungen) eine Fläche abgegrenzt werden, die den effektiv genutzten Raum möglichst flächentreu beschreibt. Aus den vielen gängigen Verfahren und Modellen (s. Kap. 5.5.1) wurde ein Kernel-Estimator (WORTON 1989, NAEF-DAENZER 1993) gewählt, der sich durch eine besonders genaue Formgebung und hohe räumliche Auflösung auszeichnet. Zudem gestattet das Verfahren die interne Differenzierung des Aktionsraums nach Nutzungsfrequenzen (Isoplethen-Darstellung). Dazu wird zunächst ein Gitterraster über das Untersuchungsgebiet gelegt und für jeden Gitterpunkt die Nutzungswahrscheinlichkeit bestimmt. Jede einzelne Lokalisation wird anhand einer Verteilungsfunktion in Abhängigkeit von der Entfernung zum jeweiligen Gitterpunkt gewichtet und trägt so zur Nutzungswahrscheinlichkeit des Gitterpunktes bei. Die gesamte Nutzungswahrscheinlichkeit des entsprechenden Gitterpunktes ergibt sich aus der Summe der Einzelbeiträge aller Lokalisationen. Entsprechend wird für alle Gitterpunkte verfahren. Schließlich werden aus den Bewertungen der einzelnen Gitterpunkte Isolinien abgeleitet, die Flächen gleicher Nutzungsintensität abgrenzen. Als Maschenweite des Netzes empfiehlt sich die mittlere Peilgenauigkeit. Sie wurde in der vorliegenden Studie mit 500 m festgelegt. Durch die Wahl der Verteilungsfunktion kann die räumliche Auflösung des Verfahrens modifiziert und so der Raumnutzung der untersuchten Art sowie der Datenqualität angepaßt werden (NAEF-DAENZER 1993). Für die Auswertungen wurde eine Normalverteilung mit einer Standardabweichung von 1000 m gewählt, die zur Erhöhung der

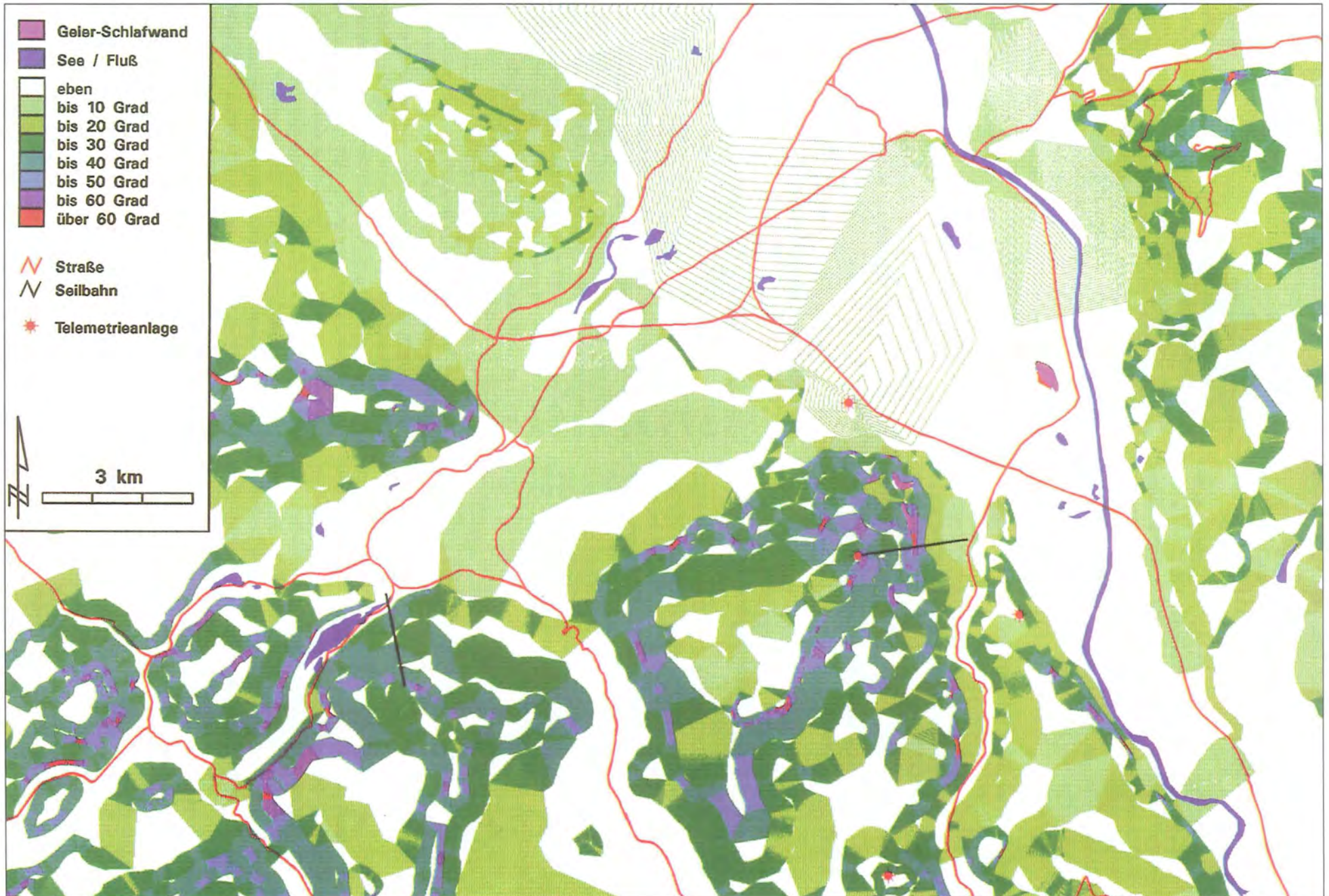


Abb. 21: Verteilung der Hangneigungen im Untersuchungsgebiet.

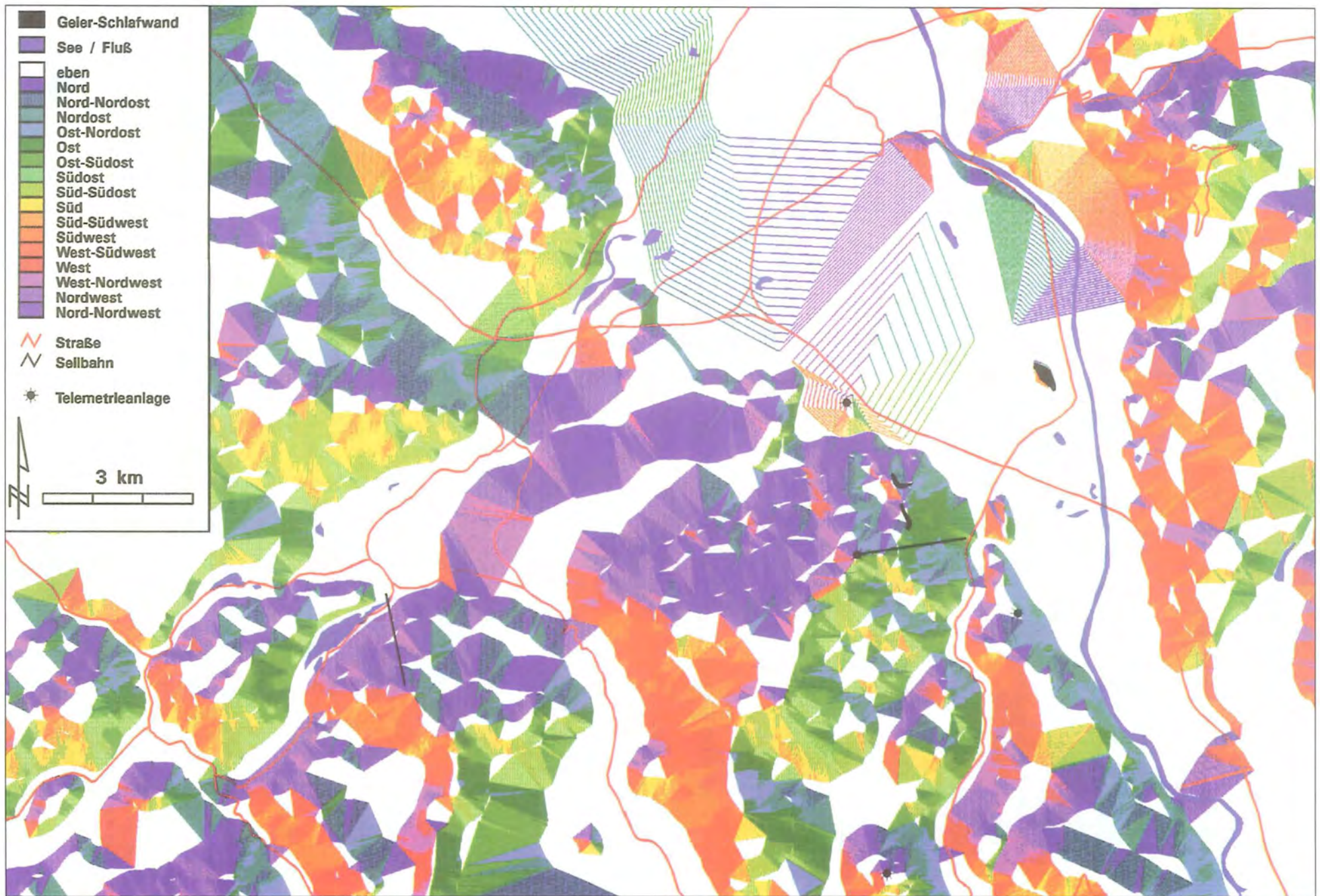


Abb. 22: Verteilung der Geländeexpositionen im Untersuchungsgebiet.



räumlichen Auflösung bei ± 1000 m beschnitten wurde. Das Verfahren wurde ins GIS implementiert (AML s. Anhang 9.6.1).

### 3.10 Habitatbewertung und Modelle zur Habitateignung

Auf der Basis der im GIS abgespeicherten Informationen (s. Kap. 3.8) erfolgte eine Habitatbewertung nach folgenden Gesichtspunkten:

- Thermikpotential
- Aufwindpotential
- Potentielles Nahrungsangebot
- Angebot an Brutnischen
- Sitzwartenangebot
- Anthropogenes Störpotential

Allen Parametern liegt eine Bewertungsskala von 0 (ungeeignet) bis 1 (optimal geeignet) zugrunde.

#### Thermikpotential:

Thermik entsteht durch Erwärmung von Luft infolge von Konvektion. Dabei spielen im wesentlichen zwei

Faktorenkomplexe eine Rolle (HÄCKEL 1985): Intensität, Auftreffwinkel und Dauer der Sonneneinstrahlung einerseits, sowie Absorptionskoeffizient, spezifische Wärme, Wärmeleitfähigkeit und Abstrahleigenschaften der Bodenbedeckung andererseits. Während sich die Geometrieverhältnisse nach dem Lambert'schen Gesetz eindeutig gewichten lassen, ist der Einfluß anderer Faktoren auf die Thermik nicht als einfache mathematische Gesetzmäßigkeit formulierbar. Deshalb wurde ein Bewertungsfaktor für die Bodenbedeckung aus den einzelnen physikalischen Kennwerten der beteiligten Stoffe abgeleitet. Die Bestimmung des wirksamen Geometrieanteils der Sonnenstrahlung erfolgte, getrennt nach horizontaler und vertikaler Achse, unter Berücksichtigung von Sonnenazimut und -höhe relativ zu Hangneigung und -exposition. Die effektive Sonnenscheindauer (d) wurde unter Berücksichtigung von Horizontüberhöhung und Schattenwurf in Halbstundenintervallen berechnet. Durch eine Gewichtung mit dem Faktor d / (d+1) wird eine Normierung auf den Wertebereich zwischen 0 und 1 erreicht. Die Quadrierung des Ausdrucks verbessert die relative Abstufung der Bewertungen mit steigender Sonneneinstrahlungsdauer und wird der kumulativen Wirkung der eingestrahlenen Energiemenge besser gerecht.

Für sonnenabgewandte Hänge ( $\alpha_s - 90^\circ < \text{expos} < \alpha_s + 90^\circ$ ):

$$P_{\text{Thermik}} = \left( \frac{k_{\text{Biotop}} \cdot \text{COS}(\text{ABS}(\alpha_s - \text{expos})) \cdot \text{SIN}(\text{POS}(\beta_s - \text{slope})) \cdot d}{d + 1} \right)^2$$

Für sonnenzugewandte Hänge:

$$P_{\text{Thermik}} = \left( \frac{k_{\text{Biotop}} \cdot \text{COS}(\text{ABS}(\alpha_s - \text{expos})) \cdot \text{SIN}(\text{POS}(180 - \beta_s - \text{slope})) \cdot d}{d + 1} \right)^2 \tag{7}$$

- mit:  $k_{\text{Biotop}}$ : Habitat-spezifischer Bewertungsfaktor ( $0 \leq k_{\text{Biotop}} \leq 1$ )  
 $\alpha_s$ : Sonneneinfallrichtung ( $0^\circ = \text{Nord}$ )  
 $\text{expos}$ : Hangexposition ( $0^\circ = \text{Nord}$ )  
 $\beta_s$ : Sonnenstand (Höhe über Horizont; Zenit =  $90^\circ$ )  
 $\text{slope}$ : Hangneigung ( $0^\circ \leq \text{slope} < 90^\circ$ )  
 $\text{ABS}(X)$ : Absolutwert von X  
 $\text{POS}(X)$ : positiver Anteil von X (für  $X < 0$  ist  $\text{POS}(X) = 0$ )  
 $d$ : orografische Sonnenscheindauer nach GIS-Analysen (HILLSHADE-Funktion von ARC/INFO) unter Berücksichtigung des Bewölkungsgrades (Daten des Wetteramts)

Tab. 1: Bewertung der Bodenbedeckung nach ihrem Thermikpotential.

Biototyp	Fels	Wald	Wiese/Feld	Siedlung	Schnee
Albedowert [%]	25	15	20	10*	80
Absorptionskoeffizient	0,75	0,85	0,8	0,9*	0,2
Wärmekapazität [ $\text{J} / \text{cm}^3 \cdot \text{K}$ ]	2,18	0,84	0,5*	2,18°	0,6
Wärmeleitfähigkeit [ $\text{W} / \text{m} \cdot \text{K}$ ]	1,93	0,17	0,1**	1,93°	0,3
Verdunstungsverlust	gering	hoch	gering-mäßig	gering	hoch
$k_{\text{Biotop}}$	<b>0,7</b>	<b>0,6</b>	<b>1,0</b>	<b>0,8</b>	<b>0,1</b>

\* Schätzwert ° Wert für Fels übernommen

Dazu wurde der Sonnenstand nach (STEIN & KUMM 1989) wie folgt berechnet:

Sonnenhöhe über Horizont:

$$h_s = \text{ARCSIN} (\text{SIN} (\varphi) \cdot \text{SIN} (\delta) + \text{COS} (\varphi) \cdot \text{COS} (\delta) \cdot \text{COS} (t)) \quad (8)$$

Sonnen-Zeit-Azimut:

$$az = \text{ARCTAN} \left( \frac{\text{SIN} (t)}{\text{TAN} (\delta) \cdot \text{COS} (\varphi) - \text{SIN} (\varphi) \cdot \text{COS} (t)} \right) \quad (9)$$

jeweils mit:  $\delta$ : Sonnendeklination (s.u.)  
 $\varphi$ : geografische Breite (47,7°)  
 $t$ : Ortsstundenwinkel  
 für das Untersuchungsgebiet (13 geografische Länge) gilt:  
 $t = 177,96^\circ + 14,995^\circ \cdot \text{MOZ}$  mit  $\text{MOZ} = \text{MEZ} - 8 \text{ min}$  (10)  
 (Zur Umwandlung des viertelkreisigen in einen vollkreisigen Azimut und bezüglich der Fallunterscheidungen bei den Ortsstundenwinkeln s. STEIN & KUMM 1989)

Um eine Aussage für jeden beliebigen Tag zu ermöglichen, wurden die Sonnen-Deklinationen jeweils für den 1. und 15. jeden Monats aus dem Nautischen Jahrbuch entnommen (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie 1993) und daraus folgende Regressionsformel abgeleitet:

$$\delta = 0,439 - 22,954 \cdot \text{COS} (0,989 \cdot d_j) + 3,773 \cdot \text{SIN} (0,989 \cdot d_j) \quad (11)$$

mit  $d_j$ : Tag des Jahres ( $0 < d_j < 366$ )

Somit konnte für beliebige Zeitpunkte des Jahres (Datum und Uhrzeit) der Sonnenstand bestimmt und zur Beurteilung der Thermiksituation herangezogen werden. Der habitatspezifische Bewertungsfaktor (Tab. 1) wurde aus Albedowert (HÄCKEL 1985, REISER 1984, WEISCHET 1983), Absorptionskoeffizient (FRANZ 1979, MALBERG 1985) sowie anderen physikalischen Kenngrößen (FRANZ 1979, WEISCHET 1983) abgeleitet. Hohe Albedowerte bewirken geringe Strahlenabsorption, also geringe Erwärmung, während hohe spezifische Wärme und hohe Wärmeleitfähigkeit energiezehrend wirken und eine Thermikentwicklung behindern. Vegetationsbestandene Flächen verbrauchen einen Teil der eingestrahelten Energie für Verdunstung. Bei Wäldern ist dieser Anteil erheblich größer als bei Wiesen und Feldern. Sie erhalten aus diesem Grund trotz der höheren Strahlenabsorption eine niedrigere Bewertung (alle Werte wurden aufgrund der Aggregation in Biotopkomplexe bzw. bei Schnee wegen großer Variationsbreite gemittelt).

Alle Flächen oberhalb der aktuellen Schneegrenze wurden mit 0,1 bewertet. Nadelwald bleibt auch im Winter im Kronenbereich i.d.R. nicht lange schneebedeckt. Er erhielt deshalb zusammen mit Siedlungen (Abwärme durch Heizen) oberhalb der Schneegrenze eine Bewertung von 0,3.

Für die Erstellung von Modellen zur Habitateignung kann die tageszeitliche Periodik der Flugbedingungen nicht berücksichtigt werden. Jahreszeitliche Einflüsse lassen sich aber insofern berücksichtigen, als für Sonnenstand und Sonnenscheindauer Minimal-, Durchschnitts- oder Maximalwerte herangezogen werden können. Entsprechend erhält man Aussagen über die minimale, durchschnittliche oder maximale Thermikintensität der einzelnen Jahreszeiten. Bezüglich der Aussagen in Kap. 4.7 wurde davon ausgegangen, daß Geier die günstigsten Bedingungen im Tagesverlauf für ihre Flugaktivitäten nutzen.

#### Aufwindpotential:

Zur Abschätzung des Hangaufwindpotentials müssen die Faktoren Windgeschwindigkeit und Windrichtung einerseits, sowie Hangneigung und Hangexposition andererseits in Beziehung zueinander gesetzt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß der erzielte Auftrieb der Flügel mit dem Quadrat der relativen Windgeschwindigkeit wächst (JANSSEN & TÄNZLER 1985). Durch den Bezug auf die maximal vorkommende Windgeschwindigkeit erfolgt eine Skalennormierung auf den Wertebereich zwischen 0 ... 1:

$$P_{\text{Hangaufwind}} = \frac{V_{\text{Wind}}^2 \cdot \text{SIN}(\text{slope}) \cdot \text{COS}(\text{ABS}(\alpha_{\text{Wind}} - \text{expos}))}{V_{\text{max}}^2} \quad (12)$$

mit: slope: Hangneigung der luvseitigen Hänge (leeseitige Hänge erhalten als Bewertung „0“)  
 $V_{\text{Wind}}$ : Windgeschwindigkeit  
 $\alpha_{\text{Wind}}$ : Windeinfallrichtung ( $0^\circ = \text{Nord}$ )  
 expos: Hangexposition ( $0^\circ = \text{Nord}$ )  
 ABS(X): Absolutwert von X

Bei der Bewertung des Hangaufwindpotentials an einzelnen Tagen wurde mit  $v_{\max} = 10$  m/s gerechnet. Beim Vergleich von Monatswerten (s. Kap. 4.7) wurde entsprechend der geringeren, mittleren Windgeschwindigkeiten mit  $v_{\max} = 5$  m/s gerechnet. Als Windgeschwindigkeiten wurden i.d.R. die Meßwerte aus mittlerer Höhe herangezogen (Meßstelle Gaisbergspitze, 1287 m NN).

Das gesamte, nutzbare Aufwindpotential ergibt sich aus der Summe von thermischen und Hindernisaufwinden. Da starke Horizontalwinde die Ausbildung thermischer Aufwinde behindern oder sogar unterbinden können, wurde bei der additiven Verknüpfung beider Aufwindquellen eine Skalenlimitierung auf 1,0 vorgenommen (theoretischer Wertebereich 0–2).

$$P_{\text{Aufwind}} = P_{\text{Thermik}} + P_{\text{Hangaufwind}}$$

mit  $P_{\text{Aufwind}} = 1,0$  falls  $(P_{\text{Thermik}} + P_{\text{Hangaufwind}}) > 1$  (13)

### Nahrungsangebot:

#### Potentieller Kadaveranfall:

Zahlen, die eine Differenzierung der Nahrungsressourcen in unterschiedlichen Bereichen des Untersuchungsgebiets zuließen, sind nicht verfügbar. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, daß Wild- und Weidetierbestände heute in praktisch allen Bereichen der Alpen eine ausreichende Nahrungsgrundlage für Geier liefern (MÜLLER & BUCHLI 1982). Der potentielle Kadaveranfall als Fallwild wurde deshalb aus der Hangneigung (slope) nach folgender Formel abgeschätzt:

$$P_{\text{Aas}} = \text{SIN}(\text{slope}) + 0,01$$
 (14)

Durch die Addition von 0,01 wird berücksichtigt, daß eine gewisse Wahrscheinlichkeit für einen Kadaveranfall auch auf ebenem Gelände existiert (natürlicher oder durch Krankheit bedingter Tod); gleichzeitig erfolgt eine Skalierung auf den Wertebereich ( $0 < P_{\text{Aas}} < 1$ ).

### Nutzbare Nahrungsressourcen:

Angefallenes Aas ist nicht grundsätzlich für Geier nutzbar. Die Einsehbarkeit aus der Luft ist eine wesentliche Voraussetzung zur Lokalisierung des Kadavers (s. Kap. 5.3). Störungen im Umfeld des Kadavers werden nicht toleriert (MÄCK 1987, KÖNIG 1974, KÖNIG 1981). In der Regel erfolgt vor dem Verzehr zunächst ein Überprüfen der Situation aus der Luft und eine eingehende Sicherung von nahegelegenen Sitzwarten aus. Das nutzbare Nahrungspotential wurde deshalb aus dem potentiellen Kadaveranfall, der Einsehbarkeit des Biotoptyps (optische Lokalisierbarkeit), dem Sitzwartenangebot im Umfeld des Kadavers (Sicherheitsbedürfnis, vgl. Kap. 5.3) sowie dem anthropogenen Störpotential abgeschätzt:

$$P_{\text{Nahrung}} = P_{\text{Aas}} * P_{\text{Sicht}} * P_{\text{Warte}} * P_{\text{Stör}}$$
 (15)

### Einsehbarkeit des Habitats:

Die Einsehbarkeit der verschiedenen Biotoptypen wird von der vertikalen Geländegliederung beeinflusst. So verbessert sich beispielsweise die Einsehbarkeit eines Hangwaldes stark mit der Hangsteilheit. Tab. 2 faßt die diesbezüglichen Bewertungen zusammen.

### Sitzwarten-/Nischenangebot:

Das Sitzwartenangebot wurde aus Strukturparametern der verschiedenen Biotoptypen abgeschätzt. Da die Datenbasis diesbezüglich wenig differenziert ist, kann nur eine Grobklassifizierung vorgenommen werden. Wie bereits bei der Einsehbarkeit spielt die vertikale Gliederung wegen ihres Einflusses auf Sehfeld und Anflugmöglichkeit eine wesentliche Rolle (Tab. 3).

### Angebot und Nutzbarkeit von Brutnischen:

Die Abschätzung des Angebots an Brutnischen erfolgte analog. Hier garantiert eine ausreichende Geländesteilheit in erster Linie eine Schutzfunktion gegenüber

Tab. 2: Bewertungsmatrix für die Einsehbarkeit des Habitats.

Biotoptyp	Hangneigung (slope)						
	<10°	<20°	<30°	<40°	<50°	<60°	>60°
Fels	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Wald	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Feld/Wiese	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Siedlung	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8

Tab. 3: Bewertungsmatrix für das Angebot an Sitzwarten.

	Hangneigung (slope)						
Biotoptyp	< 10°	< 20°	< 30°	< 40°	< 50°	< 60°	> 60°
Fels	0,2	0,35	0,5	0,65	0,8	0,9	1,0
Wald	0,1	0,25	0,35	0,45	0,55	0,6	0,7
Feld/Wiese	0,1	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
Siedlung	0,2	0,35	0,5	0,65	0,8	0,9	1,0

Tab. 4: Bewertungsmatrix für die Brutnischentauglichkeit.

	Hangneigung (slope)						
Biotoptyp	< 10°	< 20°	< 30°	< 40°	< 50°	< 60°	> 60°
Fels	0,2	0,35	0,5	0,65	0,8	0,9	1,0
Wald	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Feld/Wiese	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Siedlung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Freßfeinden. Da Gänsegeier Felsbrütern sind, erhielten alle anderen Biotoptypen eine Bewertung von 0 (Tab. 4).

Wie bereits bei der Abschätzung des nutzbaren Nahrungspotentials sind Brutnischen nur dann nutzbar, wenn das anthropogene Störpotential (s.u.) vernachlässigbar ist. Zudem ist die Lage der Nische über

Grund von Bedeutung: Aus energetischen Gründen bevorzugen Großgreifvögel relativ tief liegende Brutnischen, damit sie zur Aufzucht ihrer Jungen die Nahrung nicht oder nur wenige Höhenmeter nach oben tragen müssen. Diese Zusammenhänge wurden in Formel (16) berücksichtigt:

$$P_{(h)} = 0,00426 \cdot h - 5,759 \cdot 10^{-6} \cdot h^2 + 2,600 \cdot 10^{-9} \cdot h^3 - 3,917 \cdot 10^{-13} \cdot h^4 \quad (16)$$

Dadurch ergibt sich eine Gewichtung im Höhengradienten mit einem Maximum um 500 Höhenmeter über Talgrund und einem steilen Abfall in Richtung niedriger bzw. einem mäßig steilen Abfall in Richtung großer Höhen (Abb. 23).

Das nutzbare Angebot an Brutnischen ergibt sich dann aus dem Nischenangebot (s.o.), dem Störpotential (s.u.) und der relativen Höhenlage (s.o.) nach folgender Formel:

$$P_{\text{Brut}} = P_{\text{Nische}} \cdot P_{\text{Stör}} \cdot P_{\text{Höhe}} \quad (17)$$

#### Anthropogenes Störpotential:

Das anthropogene Störpotential (Abb. 24) wurde aus der Fluchtdistanz und der Distanz zur nächsten Siedlung abgeleitet. Bei der untersuchten Geierkolonie spielt es aufgrund der Vertrautheit mit Passanten am Zoo eine untergeordnete Rolle, obwohl dieselben Tiere in freier Wildbahn arttypische Fluchtdistanzen zeigen (MÄCK & BÖGEL 1989). Deshalb wurde dem Tiergarten der Wert  $P_{\text{Stör}} = 1$  zugeordnet.

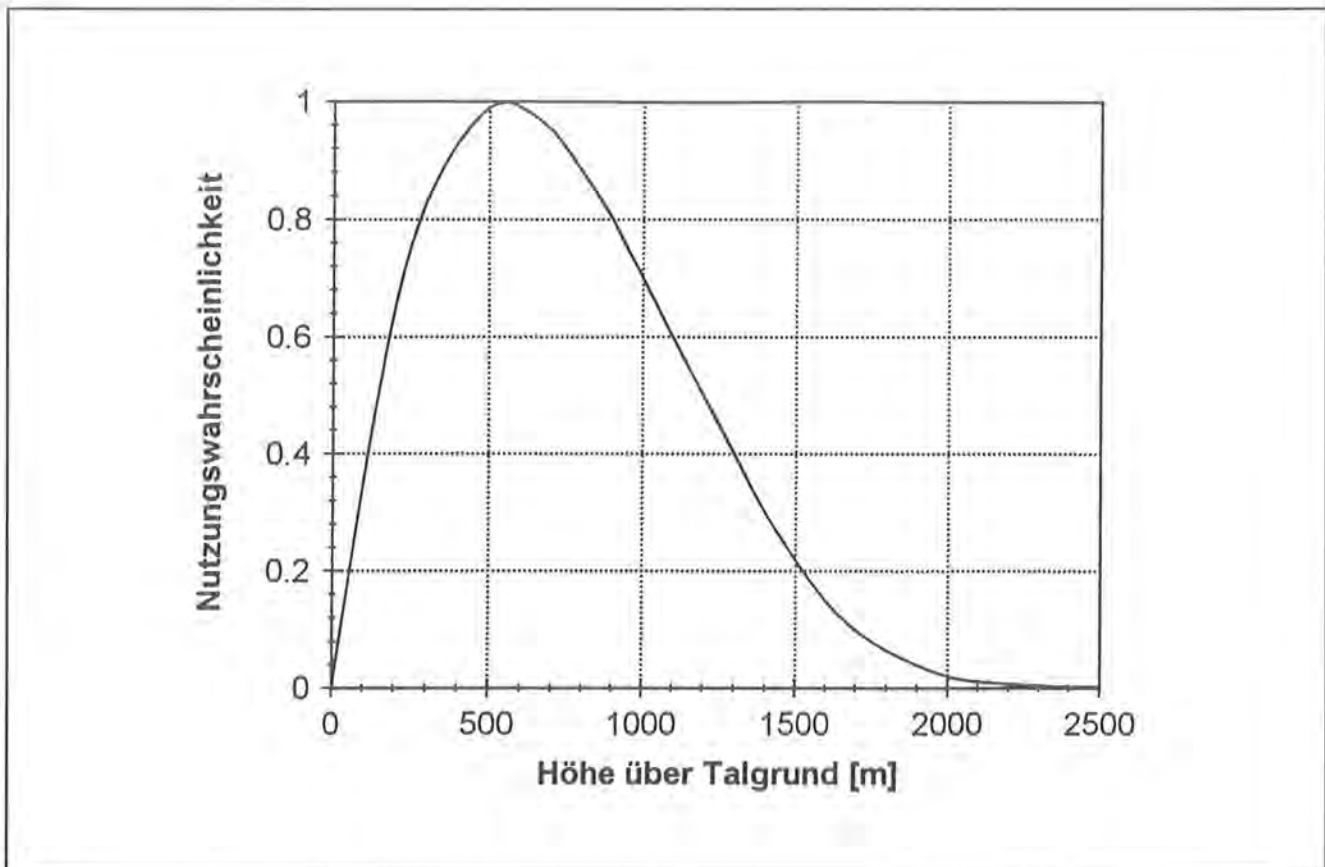


Abb. 23: Gewichtung der relativen Höhenlage bei der Wahl der Brutnische.

Folgende Formel kam zum Einsatz:

$$P_{Stör} = \left( \frac{e_{Siedlung}^2}{e_{Siedlung} + e_{Flucht}} \right) \quad (18)$$

mit:  $e_{Siedlung}$ : Entfernung zur nächsten Siedlung  
 $e_{Flucht}$ : Fluchtdistanz (100 m)

Somit war eine Bewertung des Untersuchungsgebiets nach seiner Eignung als Bruthabitat (Abb. 25), Nahrungshabitat (Abb. 26) und hinsichtlich seiner Flugbedingungen möglich. Da das Sitzwarten- und Felsenangebot bereits in die Bewertung des nutzbaaren Nahrungs- bzw. des Brutplatzpotentials einging, wurde auf eine gesonderte Habitatbewertung nach Ruhe- und Schlafplatzstrukturen verzichtet.

Die Erstellung eines pauschalen Habitatmodells für Gänsegeier ist schwierig, da einerseits jeder Einzelfaktor limitierend sein kann, andererseits aber Bereiche, die z. B. als Bruthabitat völlig ungeeignet sind, zum Fliegen hervorragend geeignet sein können. Ein optimales Habitat ist durch folgende Merkmale ausgezeichnet:

- Es besteht aus einem Mosaik von Flächen, die den unterschiedlichen, spezifischen Habitatansprüchen gerecht werden.
- Der Abstand der Flächen zueinander überschreitet keinen artspezifischen Grenzwert.

- Die Gesamtfläche weist eine artspezifische Mindestgröße auf, die in Bezug auf die formulierten Ansprüche allerdings unterschiedlich groß sein kann.

Eine entsprechende flächenhafte Analyse im GIS wäre sehr komplex und nur über verschachtelte Nachbarschaftsbeziehungen abzuarbeiten. Deshalb wurde auf eine pauschale Habitatbewertung verzichtet.

### 3.11 Bestimmung von flugmechanischen Kenngrößen und Energie-Umsätzen

Die Bestimmung von flugmechanischen Kenngrößen und der mit den Flugaktivitäten korrespondierenden Energieumsätze erfolgte nach den in PENNYCUICK (1989) ausführlich dargestellten Methoden. Im folgenden werden die benutzten Formeln wiedergegeben. Die Ableitung der Formeln findet sich in der Originalliteratur.

Zunächst müssen alle beteiligten aerodynamischen Kraftkomponenten bestimmt werden:

#### Parasitärer Widerstand:

Unter parasitären Kräften versteht man alle, durch den Luftwiderstand des Vogelkörpers bedingten Kräfteanteile, die nicht zur Auftriebserzeugung der Flügel beitragen. Sie setzen sich aus Formwiderstand, Interferen-

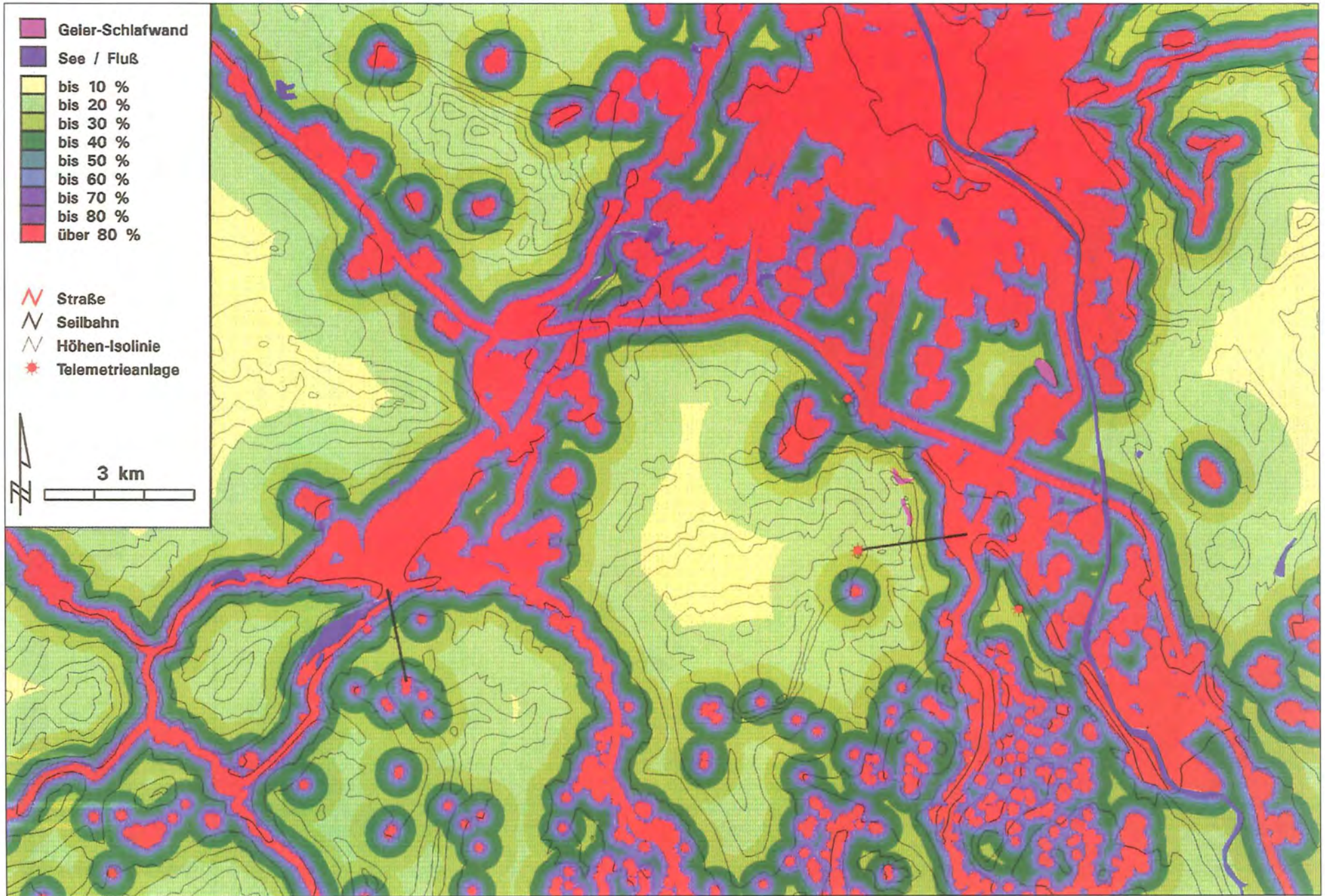


Abb. 24: Anthropogenes Störpotential.

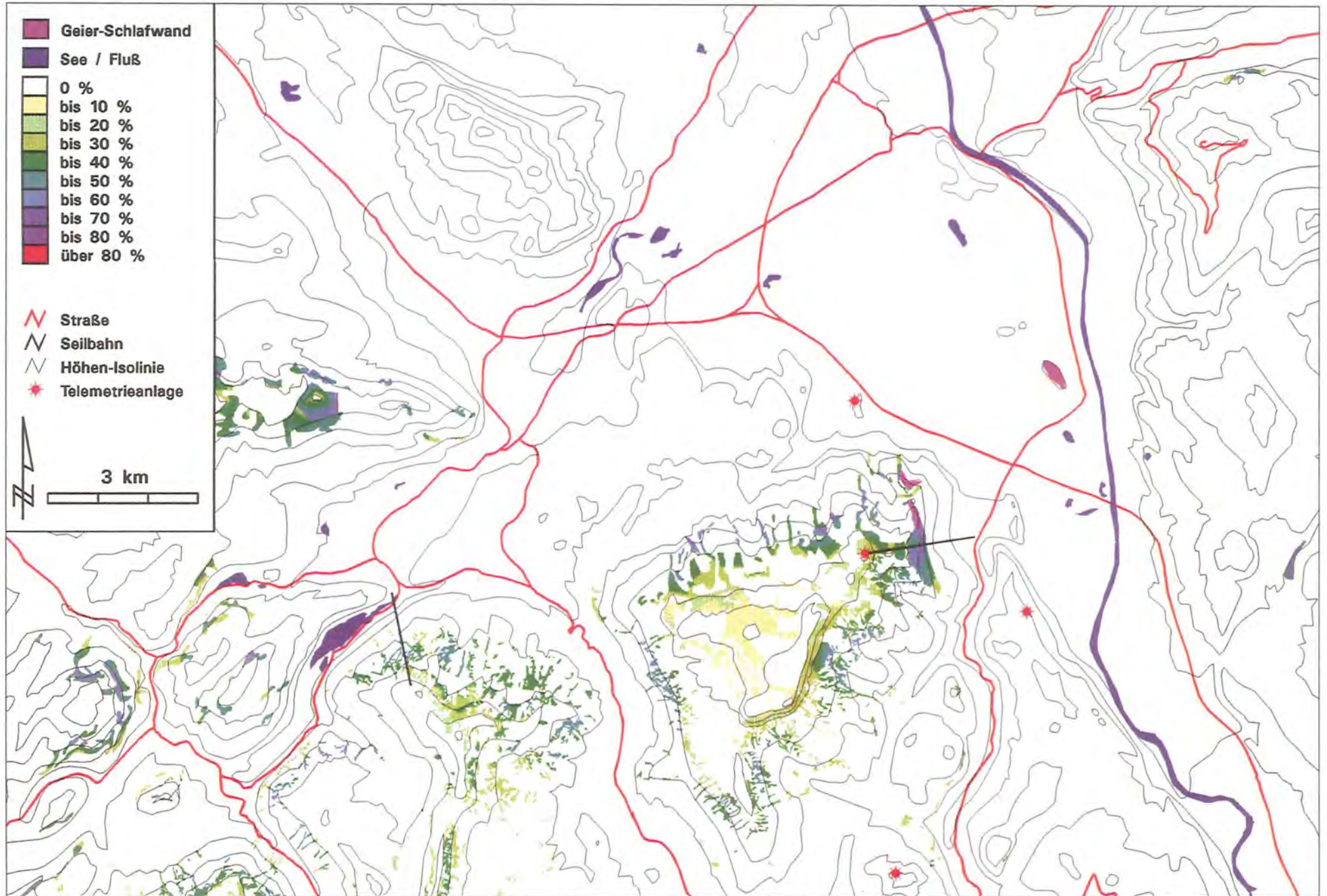


Abb. 25: Bewertung der Felswände nach ihrer Eignung als Brutplatz.

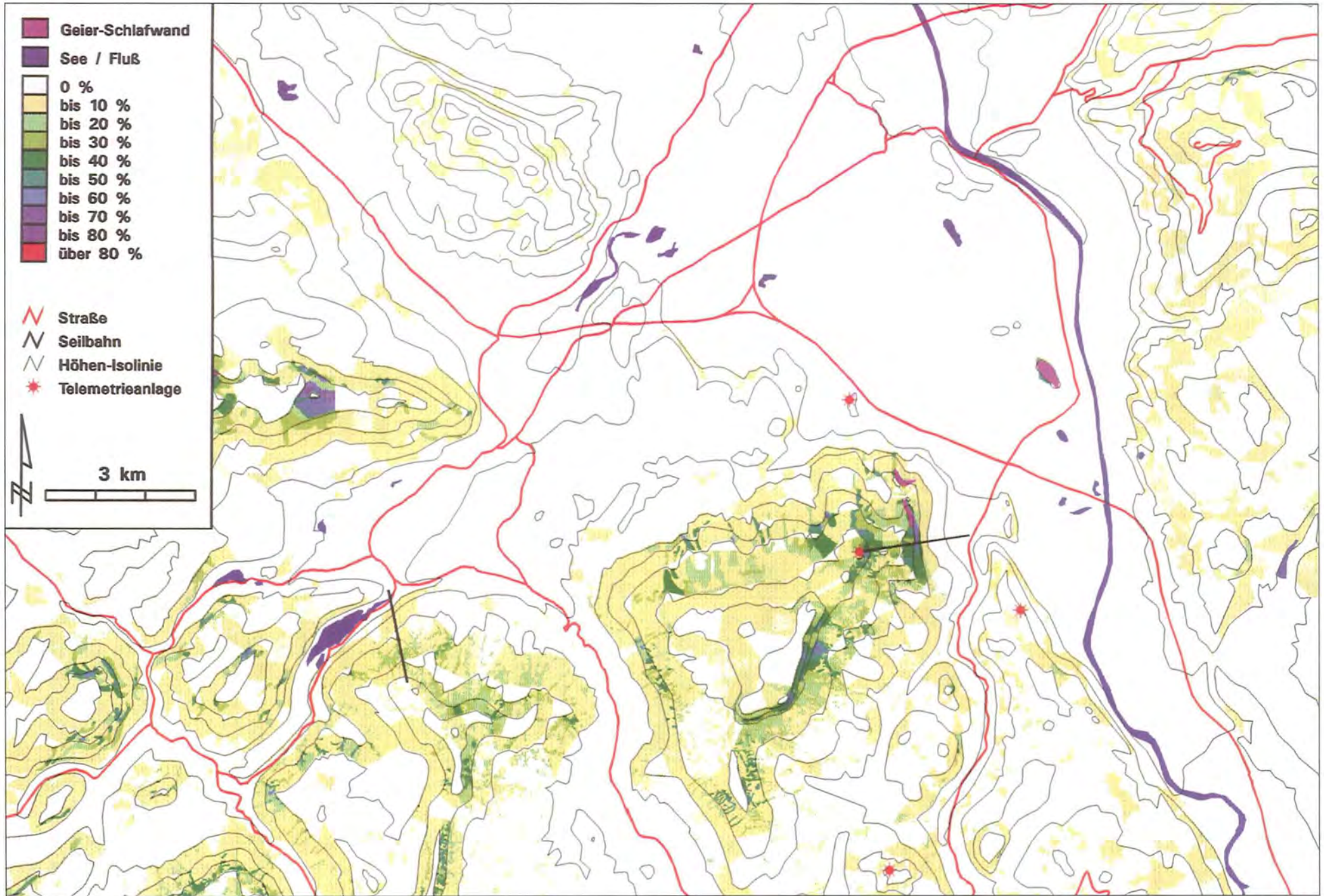


Abb. 26: Verteilung und Nutzungswahrscheinlichkeit von Aas.



renzwiderstand (Strömungsinterferenzen) und Oberflächenreibung zusammen. Der parasitäre Widerstand ( $W_{Par}$ ) ergibt sich aus dem Produkt von Staudruck ( $\frac{1}{2} \rho v^2$ ), Körperquerschnitt und Widerstands-Beiwert:

$$W_{Par} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot F_K \cdot c_{w, Par} \cdot v^2 \quad (19)$$

mit:  $\rho$ : Luftdichte  
 $v$ : Fluggeschwindigkeit  
 $F_K$ : frontale Körperquerschnittsfläche  
 $c_{w, Par}$ : parasitärer Widerstands-Beiwert

### Induzierter Widerstand:

Der induzierte Widerstand ( $W_{Ind}$ ) ergibt sich aus Auf- und Vortriebskräften, die der Vogel mit seinen Schwingen erzeugen muß, um seine Flughöhe und Fluggeschwindigkeit konstant zu halten. Sie ist abhängig von der Körpermasse, der relativen Fluggeschwindigkeit und der Flügelspannweite. Aufgrund von Verwirbelungsverlusten muß eine Konstante eingeführt werden:

$$W_{Ind} = k \cdot \frac{2 \cdot m^2 \cdot g^2}{\pi \cdot \rho \cdot b^2 \cdot v^2} \quad (20)$$

mit:  $k$ : Konstante (benutzter Wert 1,2)  
 $m$ : Körpermasse  
 $g$ : Erdbeschleunigung  
 $\rho$ : Luftdichte  
 $b$ : Flügelspannweite  
 $v$ : Fluggeschwindigkeit

### Profil-Widerstand:

Unter dem Profilwiderstand ( $W_{Pro}$ ) werden alle Kraftkomponenten zusammengefaßt, die sich durch Verwirbelungen und Oberflächenreibung bei der Erzeugung des Auf- und Vortriebs durch die Flügelprofile ergeben. Rechnerisch ergibt sich der Profilwiderstand analog zum parasitären Widerstand als:

$$W_{Pro} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot F \cdot c_{w, Pro} \cdot v^2 \quad (21)$$

mit:  $\rho$ : Luftdichte  
 $v$ : relative Luftgeschwindigkeit  
 $F$ : Flügelfläche  
 $c_{w, Pro}$ : Profil-Widerstands-Beiwert

Alle Widerstandskomponenten haben eine additive Wirkung. Der Gesamtwiderstand ( $W_{ges}$ ) ergibt sich somit als:

$$W_{ges} = W_{Par} + W_{Ind} + W_{Pro} \quad (22)$$

Entsprechendes gilt für die Widerstands-Beiwerte. Meßtechnisch ist allerdings die Gesamtwiderstandskraft und somit der Gesamtwiderstands-Beiwert ( $c_w$ ) einfacher zu bestimmen, da sich der Profilwiderstands-Beiwert  $c_{w, Pro}$  einer meßtechnischen Erfassung entzieht:

$$c_w = \frac{2 \cdot W_{ges}}{\rho \cdot F \cdot v^2} \quad (23)$$

mit:  $W_{ges}$ : Gesamtwiderstand  
 $\rho$ : Luftdichte  
 $F$ : Flügelfläche  
 $v$ : Fluggeschwindigkeit

### Auftrieb und Auftriebs-Beiwert:

Im Horizontalflug muß der erzeugte Auftrieb das Körpergewicht ausgleichen. Die Auftriebskraft ( $A$ ) ist somit identisch mit dem Körpergewicht ( $m \cdot g$ ) und entsprechend einfach zu bestimmen. Der Auftriebs-Beiwert ( $c_A$ ) ergibt sich als:

$$c_A = \frac{2 \cdot A}{\rho \cdot F \cdot v^2} \quad (24)$$

mit:  $A$ : Auftrieb (= Körpergewicht)  
 $\rho$ : Luftdichte  
 $F$ : Flügelfläche  
 $v$ : Fluggeschwindigkeit

### Gleitverhältnis:

Das Gleitverhältnis beschreibt das Verhältnis zwischen Horizontalgeschwindigkeit ( $v_H$ ) und (vertikaler) Sinkgeschwindigkeit ( $v_S$ ), also zwischen (waagrechter) Flugstrecke ( $s$ ) und Höhenverlust ( $h$ ) (TUCKER 1987). Auch die Angabe einer Gleitzahl ( $\epsilon$ ) als Kehrwert des Gleitverhältnisses ist gebräuchlich (NACHTIGALL 1979). Nach PENNYCUICK (1971a) ist das Verhältnis zwischen Gesamtwiderstand ( $W_{ges}$ ) und Auftrieb ( $A$ ) bzw. zwischen Widerstands-Beiwert ( $C_w$ ) und Auftriebs-Beiwert ( $C_A$ ) identisch zur Gleitzahl. Entsprechend ergibt sich der Gleitwinkel als:

$$\alpha = \arctan(\epsilon) = \arctan(v_S/v_H) = \arctan(h/s) \quad \text{oder:} \\ \alpha = \arctan(W_{ges}/A) = \arctan(C_w/C_A) \quad (25)$$

### Minimale Fluggeschwindigkeit:

Vögel können im Gleitflug nicht beliebig langsam fliegen. Bei einer kritischen Minimalgeschwindigkeit ( $v_{min}$ ) kommt es zum Strömungsabriß an den Flügelprofilen und der erzeugte Auftrieb bricht zusammen. Die minimale Fluggeschwindigkeit ergibt sich (näherungsweise) als:

$$v_{min} = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot g}{\rho \cdot F \cdot C_{A \max}}} \quad (26)$$

mit:  $m$ : Körpermasse  
 $g$ : Erdbeschleunigung  
 $\rho$ : Luftdichte  
 $F$ : Flügelfläche  
 $C_{A \max}$ : maximaler Auftriebs-Beiwert

### Thermikradius:

Beim Kreisen in Thermikschläuchen müssen Vögel eine Schräglage einnehmen, um die notwendige Zentripetalkraft zu erzeugen. Dadurch verkleinert sich ihre effektive Flügelfläche in Abhängigkeit vom Neigungswinkel. Kreisradius ( $r$ ) und Schräglage ( $\phi$ ) folgen nach PENNYCUICK (1989) folgender Beziehung:

$$r = \frac{2 \cdot m}{\rho \cdot F \cdot c_A \cdot \sin\phi} \quad (27)$$

mit:	$m$ :	Körpermasse
	$\rho$ :	Luftdichte
	$F$ :	Flügelfläche
	$c_A$ :	Auftriebs-Beiwert
	$\phi$ :	Neigungswinkel

Unterschiedlichste Vogelarten bevorzugen im freien Kreisen einen Neigungswinkel von  $24^\circ$  (PENNYCUICK 1989). Deshalb wurden die Kreisradien in Kap. 4.2 und Kap. 5.5.4 auf diese Schräglage und einen Auftriebs-Beiwert von 1,4 bezogen. Ersetzt man in Formel 27  $\sin \phi$  durch den Wert 1, so ergibt sich ein theoretischer Mindestradius für nutzbare Thermikschläuche.

### Flugleistungen:

Die Bestimmung von Flugleistungen und Energieumsätzen erfolgt analog aus der Summe aller beteiligten Leistungskomponenten. Die entsprechenden physikalischen Leistungen ergeben sich jeweils aus dem Produkt von Widerstandskomponente (Formeln 19 – 21) und Fluggeschwindigkeit. Bei der Bestimmung der physiologischen Gesamtleistung müssen einerseits der Wirkungsgrad des Muskelapparats von ca. 23 % (PENNYCUICK 1989), andererseits der Zusatzaufwand für Stoffwechselleistung sowie der (anteilige) Grundumsatz berücksichtigt werden.

### Parasitäre Leistung:

Die parasitäre Flugleistung ( $P_{Par}$ ) ergibt sich aus dem Produkt von Staudruck ( $1/2 \rho v^2$ ), Körperquerschnitt ( $F_K$ ), Widerstands-Beiwert ( $c_{W, Par}$ ) und Geschwindigkeit ( $v$ ):

$$P_{Par} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot F_K \cdot c_{W, Par} \cdot v^3 \quad (28)$$

### Induzierte Leistung:

Die induzierte Flugleistung ( $P_{Ind}$ ) ergibt sich aus dem Produkt von Auf- bzw. Vortriebskräften und der Fluggeschwindigkeit. Sie ist von der Körpermasse ( $m$ ), der Spannweite ( $b$ ) und der Fluggeschwindigkeit ( $v$ ) abhängig. Analog zu Formel (20) muß aufgrund von Verwirbelungsverlusten eine Konstante eingeführt werden:

$$P_{Ind} = k \cdot \frac{2 \cdot m^2 \cdot g^2}{\pi \cdot \rho \cdot b^2 \cdot v} \quad (29)$$

### Profil-Leistung:

Die Profileistung ( $P_{prot}$ ) ergibt sich aus allen Leistungsverlusten, die bei der Auf- und Vortriebserzeugung entstehen. Diese Komponente des Energieumsatzes entzieht sich einer genauen Quantifizierung, weil sich der Profil-Widerstands-Beiwert  $c_{w, Pro}$  meßtechnisch nicht bestimmen läßt (s.o.). Nach TUCKER (1987) ist die Profileistung vom erzeugten Auftrieb und den Flügeldimensionen relativ zur Fluggeschwindigkeit (Reynoldszahl, s. Kap. 5.3) abhängig. Nach Überlegungen von PENNYCUICK (1989) kann die Profilenergie im mittleren Geschwindigkeitsbereich näherungsweise als Konstante betrachtet werden. Sie ging mit einem Aufschlag von 20% des minimalen Energieaufwands für ( $P_{Ind} + P_{Par}$ ) in die Berechnungen ein.

### Stoffwechsel-Energie:

Stoffwechselphysiologisch muß einerseits der anteilige Grundumsatz berücksichtigt werden, andererseits steigt die Stoffwechselrate aber auch durch den zusätzlichen Aufwand für Kreislauf und Respiration. Der Grundumsatz wurde nach der Regressionsformel für Non-Passeriformes von LASIEWSKI & DAWSON (1967) aus der Körpermasse ( $m$ ) ermittelt:

$$P_{BMR} = 3,73 \cdot m^{0,723} \quad (30)$$

Der zusätzliche Aufwand für Kreislauf und Respiration geht nach TUCKER (1973) mit einem Aufschlag von 10 % auf die Summe aller Einzelkomponenten ein (Faktor 1,1 in Formel 31).

### Gesamter Energie-Aufwand:

Der energetische Gesamtaufwand für gleichförmige Flugaktivitäten ergibt sich aus den oben aufgeführten Einzelkomponenten als:

$$P_{aerob} = 1,1 \cdot (P_{Par} + P_{Ind} + P_{Pro} + P_{BMR}) \quad (31)$$

Für die Berechnungen wurden folgende Daten verwendet:

Körpermasse:	8,5 kg
Spannweite:	2,6 m
Flügelfläche:	1,0 m <sup>2</sup>
Körperquerschnittsfläche:	$F_K = 0,00813 \cdot m^{0,666}$ (nach PENNYCUICK 1989)
Luftdichte:	1,14 kg/m <sup>3</sup> (bei mittlerer Flughöhe von 750 m NN)

In wieweit derartige flugmechanische Modelle auf komplexe, lebende Organismen anwendbar sind, wird in Kap. 5.5.3 diskutiert.

### 3.12 Populationsmodell zur Beurteilung der Überlebensfähigkeit der Kolonie

Die Bestandsentwicklung und Überlebensfähigkeit der Geierkolonie wurde mit dem Programm VORTEX (LACY 1993) beurteilt. Dabei handelt es sich um ein Programm zur Simulation von Populationsentwicklungen, das im Auftrag der Species Survival Commission (SSC) der IUCN (International Union for Conservation of Nature) entwickelt wurde und sich an vielen Fallbeispielen mit realen Populationsdaten unterschiedlichster Tierarten bewährt hat (BUSTAMANTE et al. 1994, CLARK et al. 1991). Es handelt sich um ein sogenanntes „Monte Carlo-Simulationsprogramm“, d. h. zu allen populationsbiologisch relevanten Parametern wird neben dem Mittelwert eine Variationsbreite spezifiziert, aus der dann nach bekannten Verteilungsfunktionen

(Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktionen) ein Wert zufällig ermittelt wird. Dies berücksichtigt die Tatsache, daß z. B. Reproduktions- oder Mortalitätsraten von Faktoren wie Nahrungsangebot und Witterungsverhältnissen beeinflußt werden und deshalb von Jahr zu Jahr schwanken. Langfristig wechseln günstige und ungünstige Bedingungen zufällig ab. Dabei kann es zu einem Wechsel oder einer Verkettung günstiger bzw. ungünstiger Bedingungen kommen, was zu sehr unterschiedlichen Populationsentwicklungen führt. Dieser zufällige Prozeß wird also möglichst realistisch simuliert und durch Mittelung möglichst vieler solcher Einzelszenarien die mittlere Populationsentwicklung abgeschätzt. Ergebnis ist also nicht die möglichst fehlerfreie Vorhersage einer definitiven Populationsentwicklung, sondern vielmehr die Abschätzung des langfristigen Extinktionsrisikos einer gegebenen Population.

Folgende Parameter gingen in die Simulation ein:

- Fertilitätsperiode: 6 – 30 Jahre (♂ und ♀)
- monogames Paarungssystem, alle adulten Vögel verpaart
- Geschlechterverhältnis bei der Geburt: 1:1
- Gelegegröße: 1
- Reproduktionsrate 40 – 50 % (je nach Szenario), Variationsbreite  $\pm$  30 %
- die definitive Alterszusammensetzung der Gruppe wurde vorgegeben
- Bruterfolg NICHT dichteabhängig
- Kapazität der Kolonie 25 Individuen

Mortalitätsraten:

- Juvenile: 50 – 60 % (♂ und ♀, je nach Szenario), Variationsbreite  $\pm$  25 %
- 1 – 2 Jährige: 10 – 15 % (♂ und ♀, je nach Szenario), Variationsbreite  $\pm$  5 %
- 2 – 3 Jährige: 8 – 10 % (♂ und ♀, je nach Szenario), Variationsbreite  $\pm$  4 – 5 %
- 3 – 4 Jährige: 6 – 8 % (♂ und ♀, je nach Szenario), Variationsbreite  $\pm$  3 – 4 %
- 4 – 5 Jährige: 5 – 6 % (♂ und ♀, je nach Szenario), Variationsbreite  $\pm$  2 – 3 %
- 5 – 6 Jährige: 5 – 6 % (♂ und ♀, je nach Szenario), Variationsbreite  $\pm$  2 – 3 %
- Altvögel: 5 – 6 % (♂ und ♀, je nach Szenario), Variationsbreite  $\pm$  2 – 3 %

Alle Szenarien wurden 1000 x simuliert und über 50 Jahre hochgerechnet. Auf die Möglichkeit, Katastropheneignisse zu berücksichtigen, wurde verzichtet, da weder deren Ausmaß, noch deren Eintrittswahrscheinlichkeit näher spezifizierbar waren. Auch genetische Inzuchteffekte blieben wegen fehlender Daten zum Genom der einzelnen Individuen unberücksichtigt. Zu- und Abgänge gingen in die Simulationen ein, hielten sich aber nach den Daten zur Bestandsentwicklung (s. Kap. 4.8) die Waage.

### 3.13 Meteorologische Daten

Alle meteorologischen Daten wurden direkt im Untersuchungsgebiet erhoben und vom Wetteramt Salzburg zur Verfügung gestellt. Zur Auswertung herangezogen wurden Meßwerte über Temperatur, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Niederschlagsmenge und Sonnenscheindauer. Die Meßparameter standen in drei Höhenlagen zur Verfügung: Salzburger Flughafen (425 m NN), Gaisberg (1287 m NN), sowie Untersberg Bergstation (1780 m NN).

Luftdruckwerte werden vom Wetteramt nur am Salzburger Flughafen ermittelt. Deshalb wurde ein mit den Flughöhensendern baugleicher Meßfühler zur Ermittlung von Temperatur- und Luftdruckreferenzen sowohl an der Untersberg Bergstation (1780 m NN) als auch am Hellbrunner Berg (500 m NN) installiert.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Ressourcenverteilung und Habitatnutzung

Die Habitatnutzung einer Tierart wird von der Verteilung der verschiedenen Ressourcen (Nahrung, Deckung/Einstand bzw. Brut-/Schlafwand, Geschlechtspartner, etc.), der inter- und intraspezifischen Konkurrenz, der sozialen Organisationsform sowie von energetischen Aspekten (Energieaufwand für Fortbewegung, Territorialverteidigung, etc.) gesteuert. Bezogen auf Gänsegeier als sozial organisierte Tierart und obligate Aasverwerter treten Territorialverteidigung und im

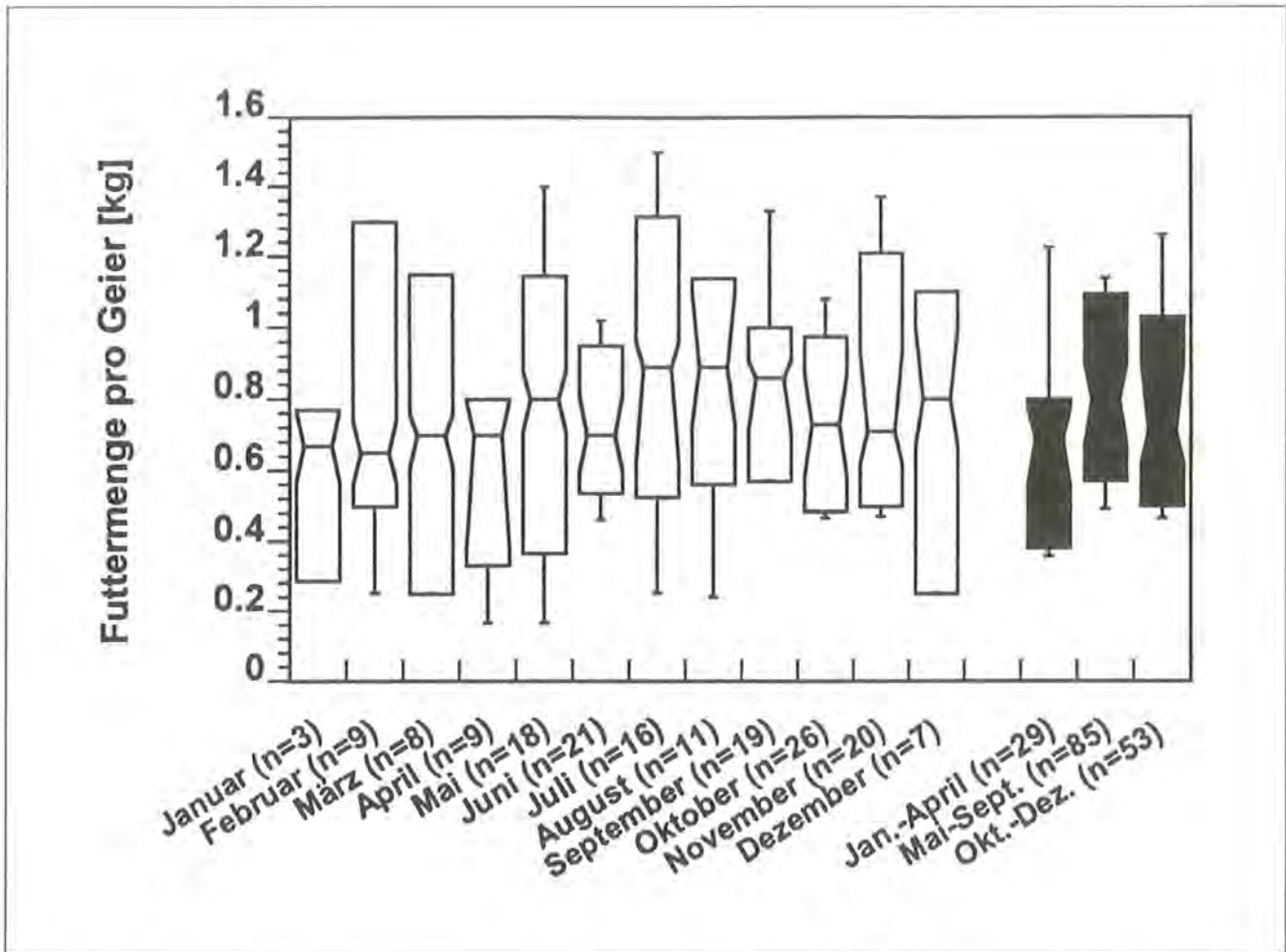


Abb. 27: Pro Fütterung verwertete Fleischmengen im Jahresverlauf. (Boxplot-Darstellung; n: Anzahl der ausgewerteten Fütterungen).

vorliegenden Fall auch interspezifische Konkurrenz praktisch nicht in Erscheinung. Entsprechend erhalten die übrigen Faktoren einen höheren Stellenwert. Aufgrund der gesicherten Nahrungsversorgung am Zoo dominieren diesbezüglich energetische Aspekte (s. Kap. 4.2 bis 4.5). So erklärt sich beispielsweise die selektive Nutzung potentieller Brutwände (Abb. 25) durch die Entfernung zum Zoo als sicherer Futterquelle. Andererseits wird aber auch natürlich anfallendes Aas außerhalb des Zoos genutzt, so daß die Verteilung der natürlichen Nahrungsressourcen (Abb. 26) zumindest zu manchen Jahreszeiten einen Einfluß auf die Habitatnutzung hat. Abb. 27 belegt, daß zwischen Januar und April signifikant ( $p < 0,05$ ) weniger Nahrung am Zoo aufgenommen wird als während der Sommer- oder Herbstmonate (Oktober – Dezember), zwischen denen ebenfalls ein signifikanter Unterschied besteht. Demnach sind am Untersberg, an dem nur ein vernachlässigbarer Alauftrieb besteht, die Nahrungsressourcen während des Sommers am knappsten.

Sowohl die Besetzung potentieller Brut- und Schlafwände als auch die Nutzbarkeit von Fallwild wird vom anthropogenen Störpotential beeinträchtigt. Die entsprechende Bewertung durch das Modell ist deshalb den Ressourcenverteilungen vorangestellt (Abb. 24).

Das Home-Range nach Abb. 28 hat eine Größe von

etwa 150 km<sup>2</sup> bezogen auf eine minimale Nutzungsintensität von 1 %. Die interne Nutzungsverteilung ist durch die überragende Bedeutung der Brut- und Schlafwände am nördlichen Untersberg sowie durch den Zoo als Hauptnahrungsquelle gekennzeichnet. In diesen Bereichen kommt es zu einer Häufung von Standortnachweisen (Clusterbildung). Statistische Tests verwerfen sowohl die Hypothese der Gleichverteilung als auch die einer Normalverteilung der Standortnachweise um diese Zentren ( $p < 0,05$ ). Die Geier nutzen verschiedene Bereiche ihres Aktionsraums also weder gleichmäßig noch gemäß der Entfernung von Zoo oder Brutwand. Die Nutzungsintensität wird vielmehr durch äußere Faktoren gesteuert. Neben der Ressourcenverteilung sind hierbei energetische Aspekte in Verbindung mit den lokalen Flugbedingungen (s. Kap. 4.3 und Kap. 4.5) entscheidend. Durch die räumlich und zeitlich starke Variation der Flugbedingungen (s. Kap. 4.3 und Kap. 4.7) werden die Muster, die allen Bewertungen der Ressourcenverteilung und der Flugbedingungen zu eigen sind, verwischt. Sie finden sich deshalb in der internen Nutzungsverteilung des Aktionsraums in dieser Form nicht wieder.

Neben den, in Kap. 4.6 behandelten altersspezifischen Unterschieden sind intraspezifisch keine statistisch signifikanten Unterschiede nachweisbar.

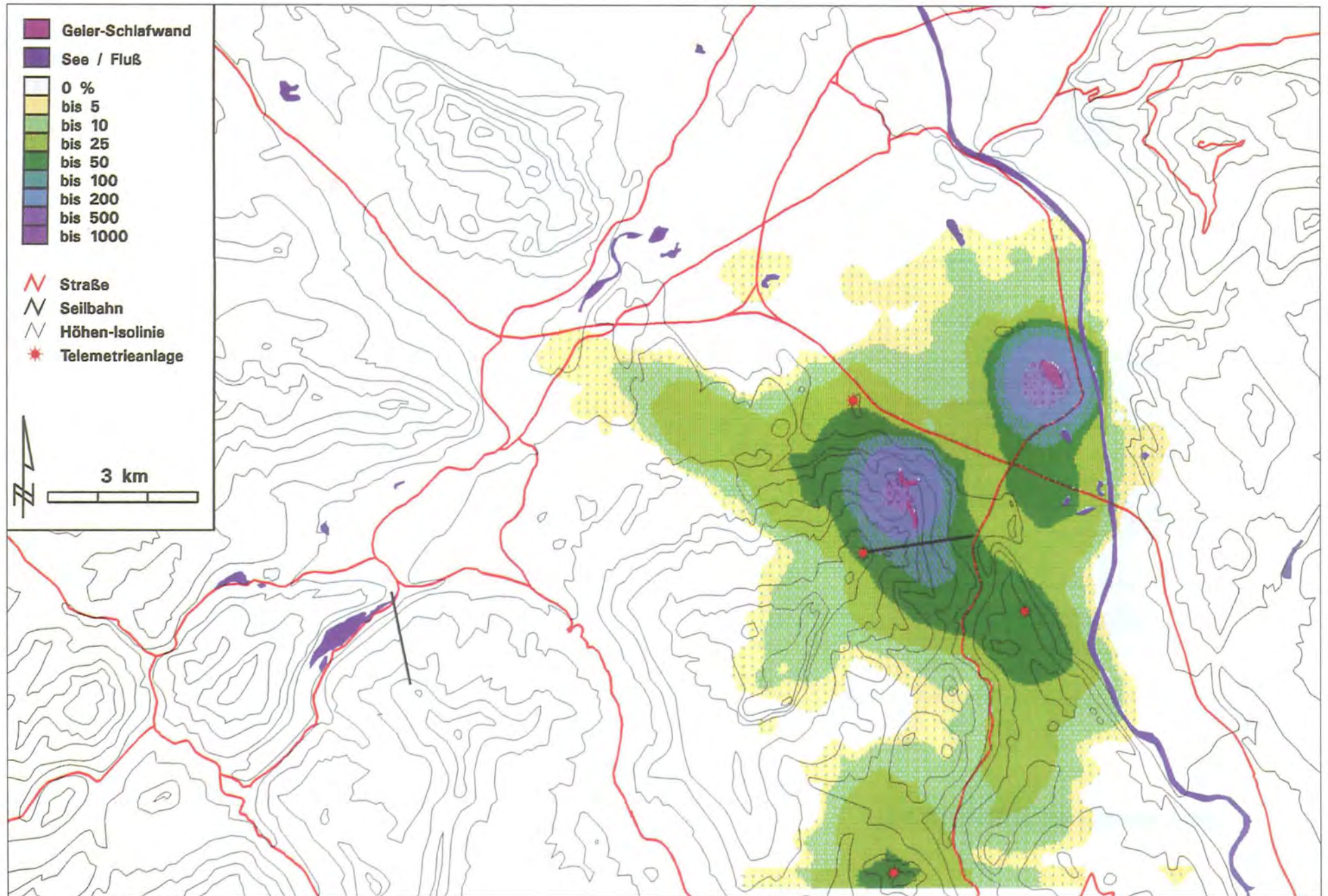


Abb. 28: Aktionsraum der Geierkolonie und dessen Nutzungsintensität (n = 1154 Peildaten).

## 4.2 Flugmechanische Kenngrößen

Durch Anwendung der in Kap. 3.11 beschriebenen Modelle auf *Gyps fulvus* lassen sich flugmechanische Kenngrößen bestimmen und Zusammenhänge aufzeigen, die bei der Interpretation des Flugverhaltens (s. Kap. 4.3) hilfreich sind:

Abb. 29 zeigt die Gleitpolare für *Gyps fulvus*, also die Abhängigkeit der Sinkgeschwindigkeit von der Fluggeschwindigkeit. Demnach erreicht ein Gänsegeier der Art *Gyps fulvus* eine minimale Sinkgeschwindigkeit von ca. 0,9 m/s bei einer Fluggeschwindigkeit von 11,3 m/s. Dies entspricht der minimalen Aufwindgeschwindigkeit (Thermik oder Hindernisaufwind), bei der die Art ohne Höhenverlust im Gleitflug fliegen kann. Nach Formel 12 (s. Kap. 3.10) ist dies über optimal orientierten Hangbereichen bereits bei Windgeschwindigkeiten von 1,5 m/s der Fall.

Bei einer Fluggeschwindigkeit von etwa 9,5 m/s kommt es zum Strömungsabrisß und somit zum Zusammenbruch des Auftriebs. Im Gleitflug kann *Gyps fulvus* also nicht langsamer fliegen. Bezieht man die horizontale Flugstrecke auf den damit verbundenen Höhenverlust, so erhält man das Gleitverhältnis (Abb. 30). Ein Gänsegeier der untersuchten Art kann also im günstigsten Fall bei 1 m Höhenverlust eine Strecke von 14,7 m zurücklegen. Vergleicht man die Gleitpolare (Abb. 29) mit dem Gleitverhältnis-Verlauf (Abb.30), so

fällt auf, daß das maximale Gleitverhältnis bei einer höheren Geschwindigkeit erreicht wird als die minimale Sinkgeschwindigkeit, nämlich bei 14,9 m/s. Gänsegeier sollten also unterschiedlich schnell fliegen, je nachdem, ob sie ihre Sinkgeschwindigkeit minimieren wollen (optimale Ausnutzung schwacher Thermik) oder aber ihre Flugstrecke maximieren wollen (Nahrungssuche, Zug).

Mathematisch gesehen ergibt sich das maximale Gleitverhältnis als Ursprungstangente an die Gleitpolare (Abb. 31). Die optimale Reisegeschwindigkeit kann auf diese Weise also auch aus der Gleitpolaren bestimmt werden.

Beim Distanzflug unter Zuhilfenahme von Aufwinden erfolgt i.d.R. ein stationäres Kreisen im Wechsel mit Gleitflugphasen zum nächsten Thermikschlauch. Es erfolgt also ein regelmäßiger Wechsel zwischen Höhengewinn ohne Standortveränderung und Streckenflug unter Höhenverlust. Rechnet man die Zeit zum Steigen im Thermikschlauch in die erreichte Überlandgeschwindigkeit mit ein, so ergeben sich die Zusammenhänge nach Abb. 32. Wenn während der Gleitflugphase das maximale Gleitverhältnis gewählt wird, ergibt sich nicht die maximal erreichbare Überlandgeschwindigkeit. Letztere liegt je nach Thermikstärke um bis zu 10 m/s höher. Dazu sind in der Gleitphase Fluggeschwindigkeiten („Interthermalgeschwindigkeiten“) von über 30 m/s notwendig. Demnach könnten Geier in

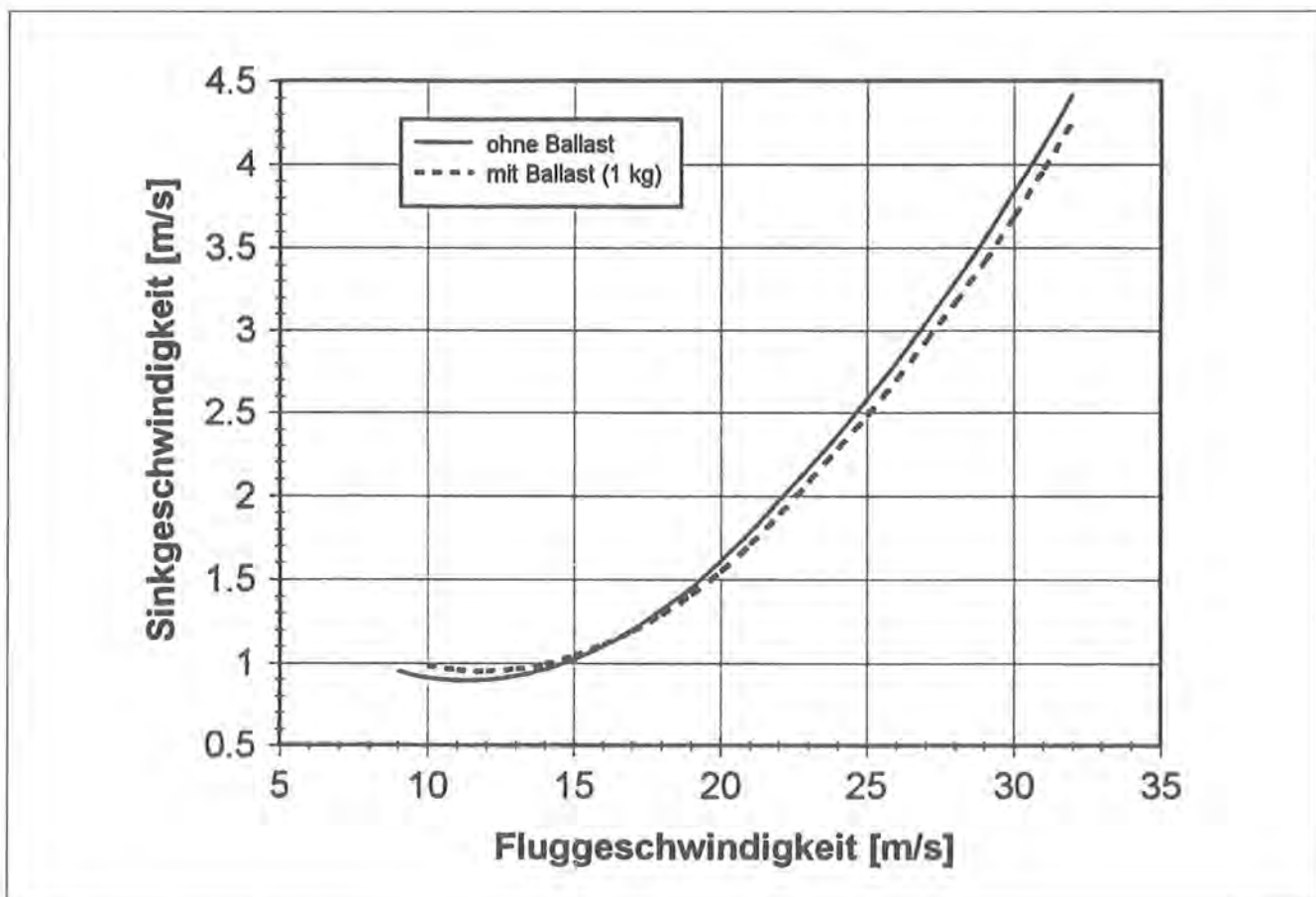


Abb. 29: Gleitpolare von *Gyps fulvus*.

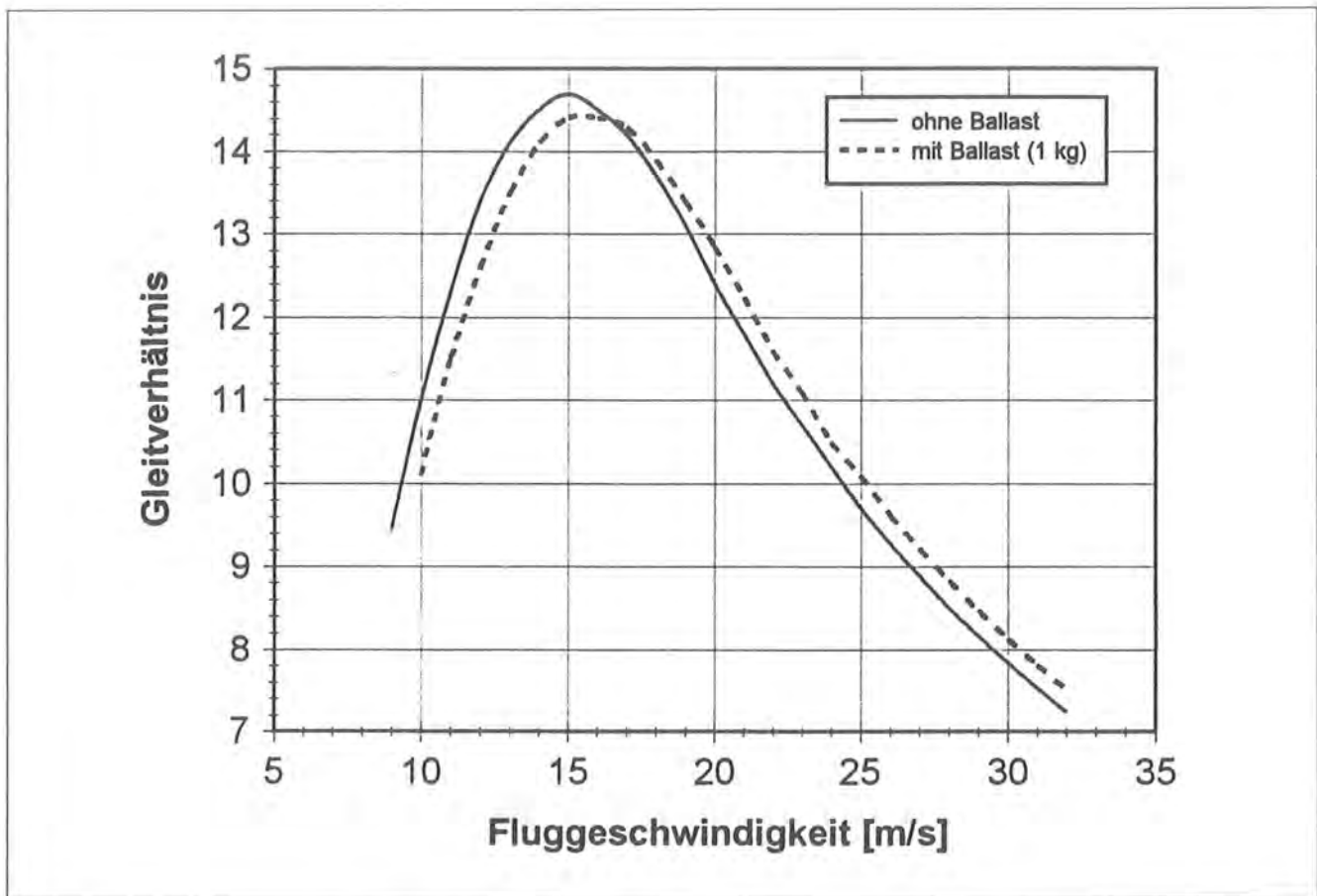


Abb. 30: Zusammenhang zwischen Gleitverhältnis und Fluggeschwindigkeit.

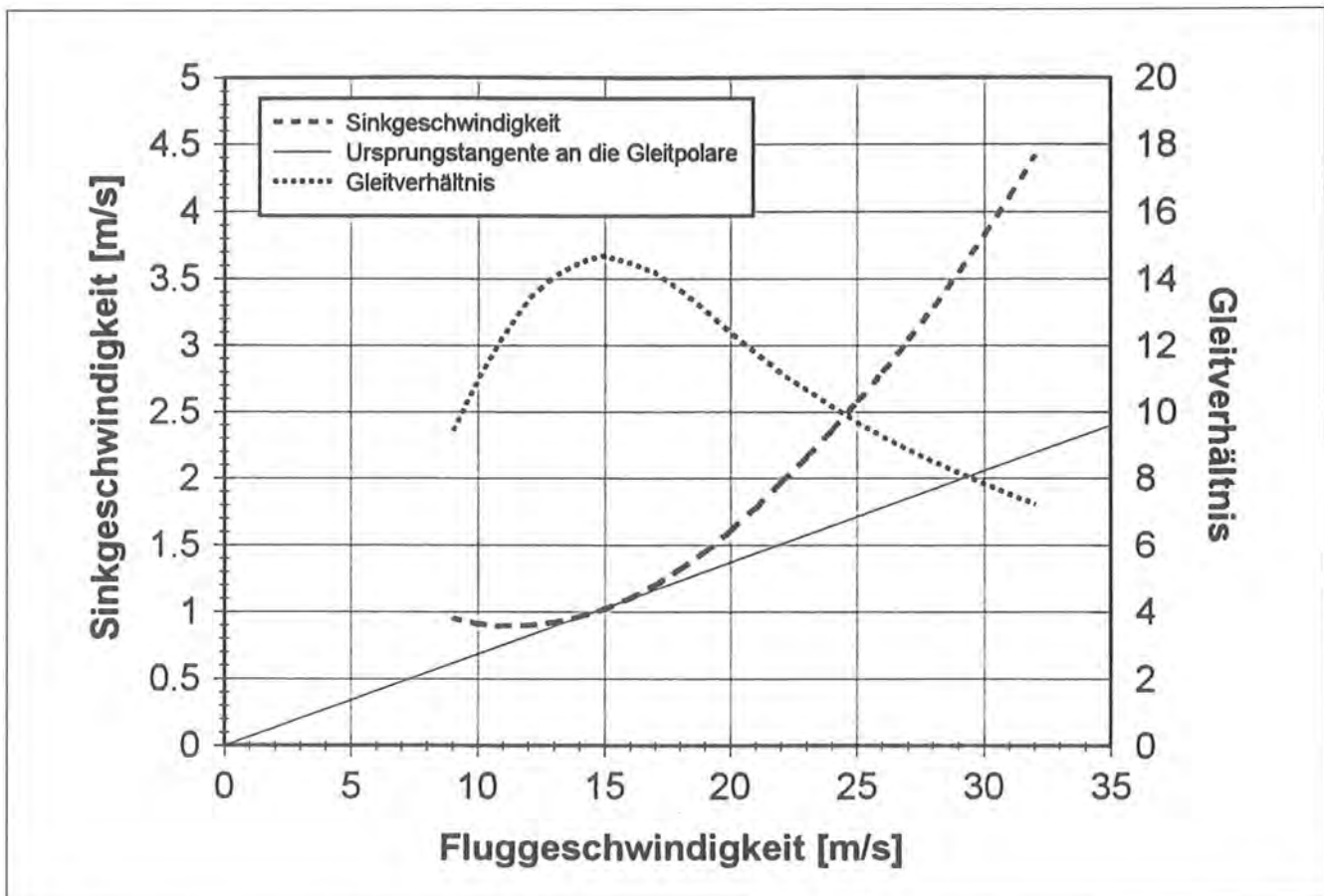


Abb. 31: Vergleich von Gleitpolare und Gleitverhältnis zur Bestimmung der minimalen Sink- und optimalen Reisegeschwindigkeit (vgl. Text).

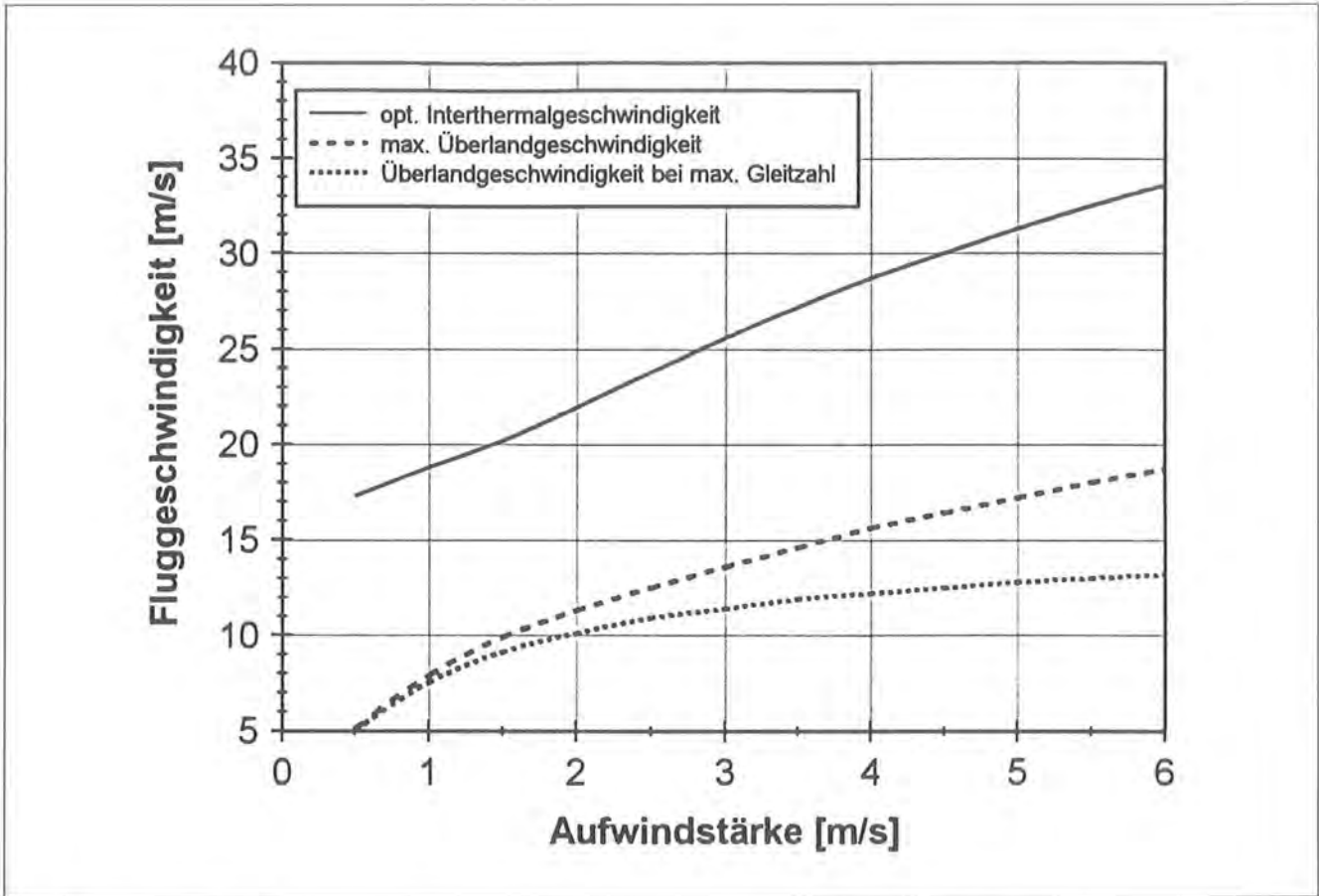


Abb. 32: Interthermal- und Überlandgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Thermikstärke (vgl. Text).

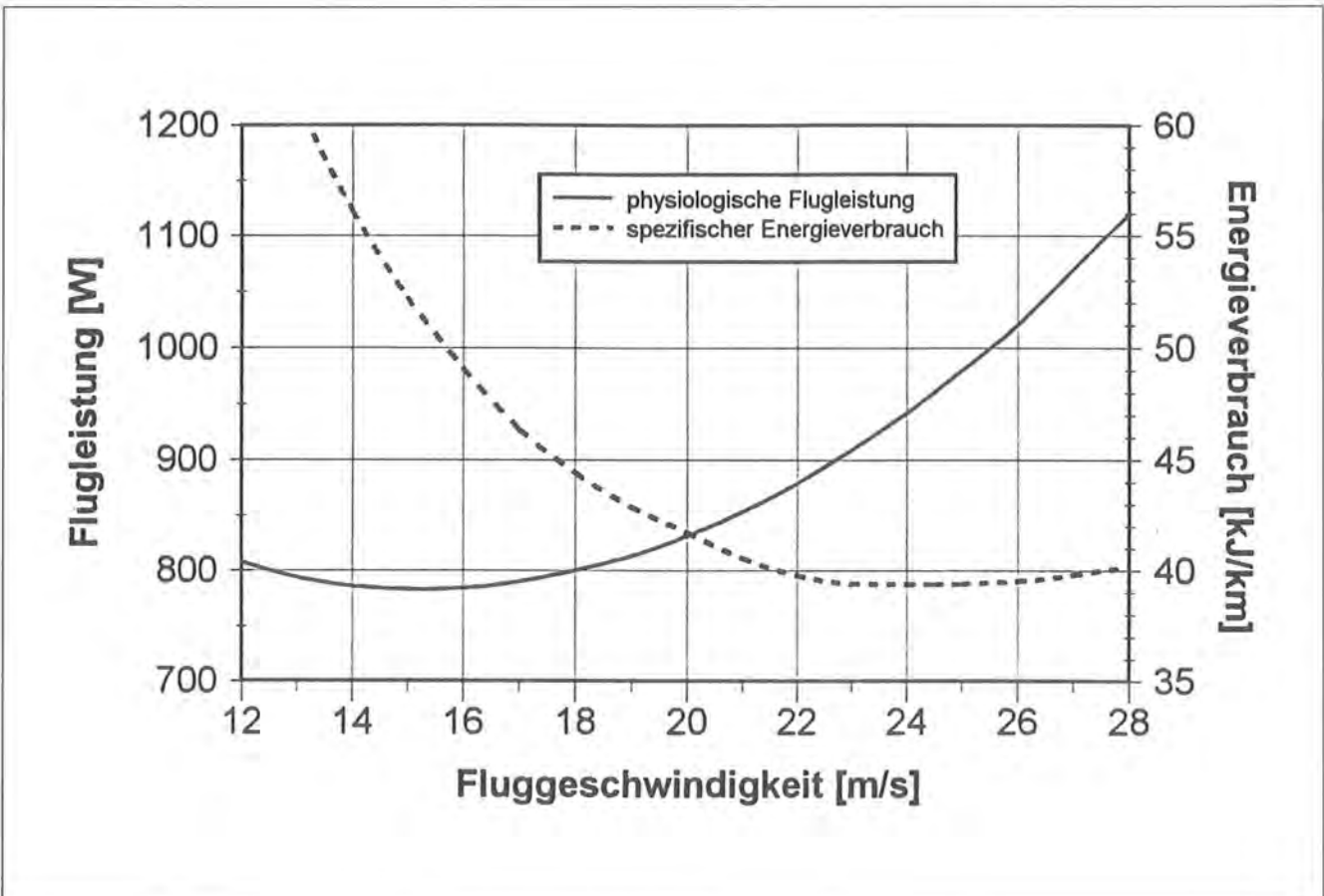


Abb. 33: Physiologische Flugleistung und Energieverbrauch im Schlagflug.



Situationen mit absehbaren, lokalen Aufwindverhältnissen eine höhere Geschwindigkeit in der Gleitphase wählen als in Situationen mit unverlässlichen Aufwindverhältnissen, in der sie ihre mögliche Flugstrecke maximieren müssen.

Auch im aktiven Schlagflug ergeben sich je nach Optimierungsstrategie unterschiedliche Fluggeschwindigkeiten (Abb. 33): Soll die physiologische Flugleistung minimiert werden, so muß bei sehr viel niedrigeren Fluggeschwindigkeiten geflogen werden (14,9 m/s) als wenn der Energieverbrauch pro zurückgelegter Strecke minimiert werden soll (24,2 m/s). Ersteres ist für die Optimierung des Energiebudgets bedeutsam (s. Kap. 4.5); letzteres hat beim Vogelzug eine besondere Relevanz.

Alle dargestellten Kennlinien und Zusammenhänge werden von der Flügelgeometrie (s. Kap. 5.2.1), dem mitgeführten Ballast (Kropffüllung, Telemetriesender) und von den Windverhältnissen beeinflusst. Gegenwind hat bei allen Diagrammen eine additive Wirkung, verschiebt also die Abszisse in Richtung höherer Fluggeschwindigkeiten. Die energetischen Konsequenzen von Gegenwind werden in Kap. 4.5 genauer betrachtet. Der Einfluß eines vollen Kropfes auf die Flugparameter ist in Tab. 5 erfaßt. Danach verändern sich die Kenngrößen durch den Einfluß von 1 kg Ballast um maximal 16 %.

Auch die Flughöhe nimmt über die Luftdichte Einfluß auf Kenngrößen und Umsatzraten. Entsprechende Veränderungen betragen bis in Höhen von 3000 m NN max. + 13 % (Stoffwechselraten max. - 6 %) und fanden keine weitere Berücksichtigung.

### 4.3 Flugbiologie und Flugverhalten

Gleitflieger sind in besonderem Maße vom Wettergeschehen und den damit einhergehenden Flugbedingungen betroffen (vgl. Kap. 4.2 und Kap. 4.5). In verschiedenen Wettersituationen ist deshalb mit unterschiedlichem Flugverhalten zu rechnen. Einige charakteristische Flugprofile sollen dies belegen: Abb. 34a -

38a zeigen Flugprofile für den Standortwechsel vom Zoo (Nahrungsquelle) zu den Schlaf- und Brutwänden am Untersberg, während die Abb. 34b - 38b die entsprechenden Aufwindverhältnisse wiedergeben. Soweit sinnvoll, bewerten die Abb. 34c - 38c die herrschenden Thermikverhältnisse und die Abb. 34d - 38d das dynamische Hangaufwindpotential als getrennte Komponenten.

Bei guten Thermikkonstellationen wurden bis zu 175 m/min Höhengewinn gemessen (im Mittel ca. 3 m/s), was nach Abb. 29 eine mittlere Aufwindstärke von mindestens 4 m/s erfordert. Unter optimalen Flugbedingungen (mittlere Aufwindstärke ca. 4 m/s) erfordert die Überbrückung der Distanz zu den Brutwänden (4 km) bei einer Interthermalgeschwindigkeit von 12 - 15 m/s 4,5 - 7 min (vgl. Abb. 32). Zum Steigen im Thermikschlauch (ca. 3 m/s) werden aufgrund der Höhendifferenz (500 m) zusätzlich ca. 3 min benötigt. Der gesamte Standortwechsel könnte somit in etwa 10 min erfolgen. Wie Abb. 34a zeigt, wird aber häufig nicht der kürzeste Weg zur Brutwand gewählt, sondern - insbesondere bei guten Flugbedingungen - häufig zwischen Fliegen im freien Luftraum und niederem, hangparallelen Reliefflug gewechselt. Während der Geier in Abb. 34a eine ziemlich direkte Flugroute wählte und schließlich von NW in die Brutwand einflog, wurde in Abb. 35a eine bogenförmige Flugroute im Uhrzeigersinn beschrieben und schließlich von SO in die Schlafwand hinübergequert. In beiden Fällen wird die, für die Querung notwendige Flughöhe kreisend aus thermischen Aufwinden über Feld- und Waldflächen des Talbodens bezogen (vgl. Abb. 34c, 35c) und dann in beschleunigtem Gleitflug die Distanz überbrückt. Dabei erzielte der Geier in Abb. 34a (Punkte 2 - 3) aufgrund des Gegenwinds nur eine relativ niedrige Fluggeschwindigkeit von ca. 8,7 m/s über Grund, während in Abb. 35a (ab Punkt 4) bis 13 m/s erreicht wurden. Rechnet man den Gegenwind in Abb. 34a mit ein und betrachtet die Fluggeschwindigkeit relativ zur Luft, so ergibt sich fast derselbe Wert (13,7 m/s). Nach Abb. 31 bzw. Tab. 5 lag die gewählte Fluggeschwindigkeit im Gleitflug also zwischen den Werten für minimalen Höhenverlust und maximale Flugstrecke.

Tab. 5: Einfluß einer Kropffüllung (1 kg) auf flugrelevante Parameter.

Parameter	ohne Ballast	mit Ballast (1 kg)
<b>Gleitflug:</b>		
Energiebedarf im Gleitflug (Thermik 2 m/s)	3,2 kJ/km	3,1 kJ/km
maximales Gleitverhältnis	14,7 : 1	14,5 : 1
minimale Sinkgeschwindigkeit	0,89 m/s	0,95 m/s
minimale Fluggeschwindigkeit	9,6 m/s	10,1 m/s
Thermikradius bei 24° Schräglage und $C_A = 1,4$	26,2 m	29,3 m
Fluggeschwindigkeit für min. Höhenverlust	11,3 m/s	11,9 m/s
Fluggeschwindigkeit für max. Gleitzahl	14,9 m/s	15,6 m/s
<b>Schlagflug:</b>		
Energiebedarf	34,7 kJ/km	40,2 kJ/km
Fluggeschwindigkeit für min. Energieaufwand	14,9 m/s	15,4 m/s
Fluggeschwindigkeit für min. Energieaufwand pro Flugstrecke	24,2 m/s	25,1 m/s

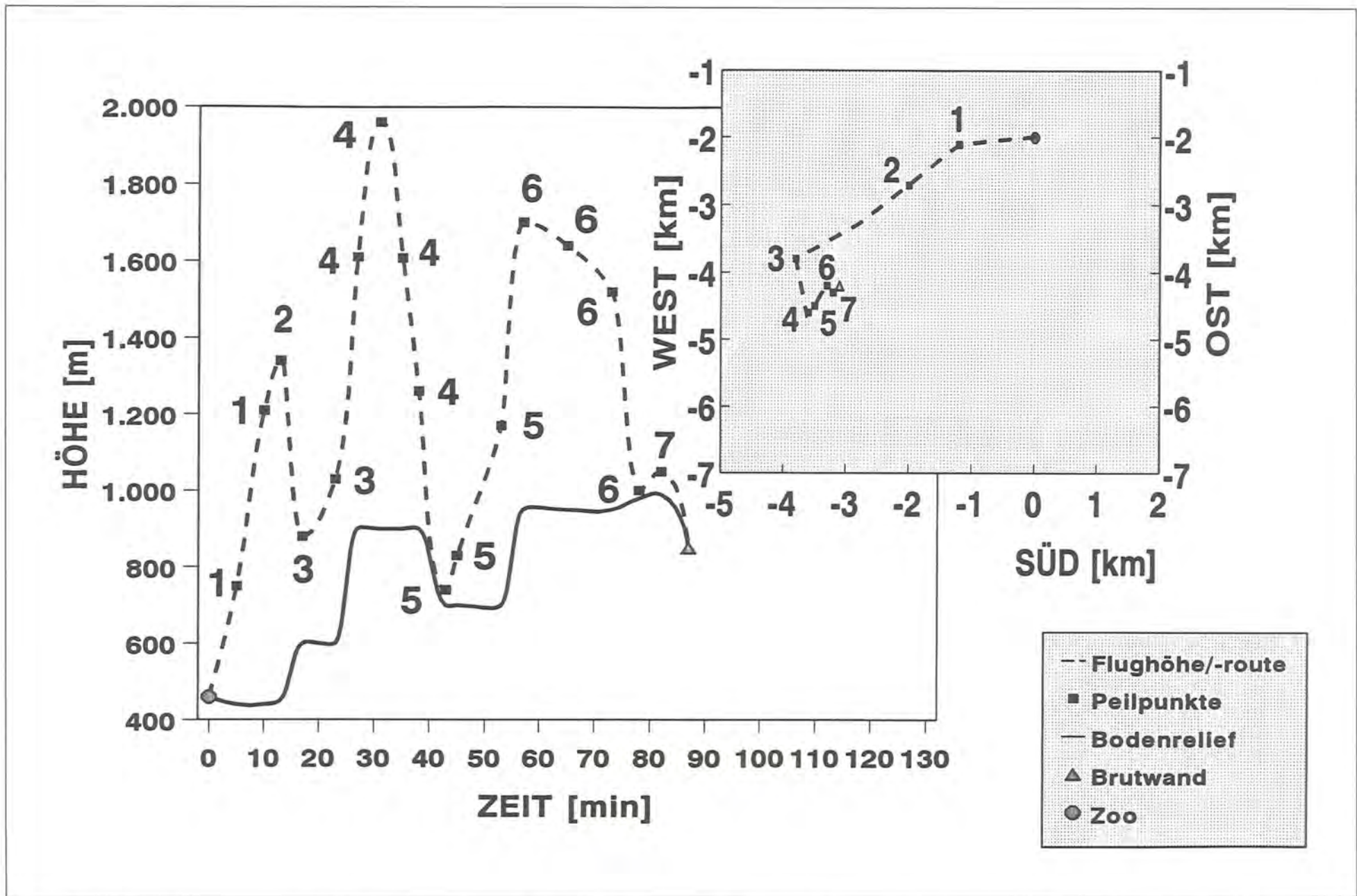


Abb. 34a: Flugprofil vom Zoo zum Untersberg bei effizienter Thermik und NW-Wind mit 6 m/s (Tal: 3 m/s). Die Hauptgrafik zeigt das Höhenprofil relativ zum Bodenrelief im Auftrag über die Zeitachse; die Nebengrafik zeigt die Flugroute in Aufsicht. Die Ziffern markieren korrespondierende Punkte in der Haupt- und Nebengrafik.



Abb. 34b: Gesamtes Aufwindpotential zu Abb. 34a (eingezeichnet ist der Ausschnitt von Abb. 34a mit Flugroute).

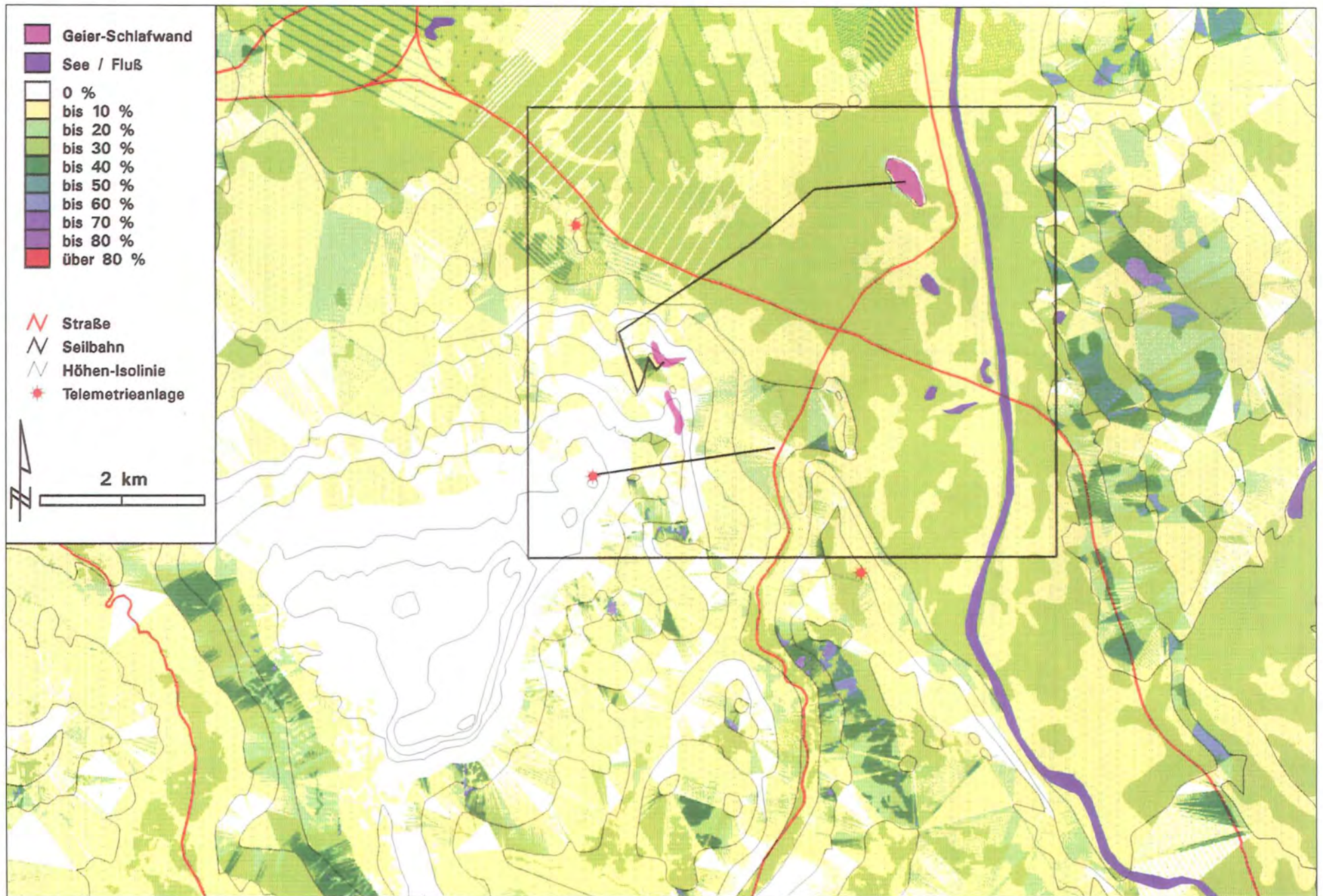


Abb. 34c: Thermikpotential zu Abb. 34a (eingezeichnet ist der Ausschnitt von Abb. 34a mit Flugroute).

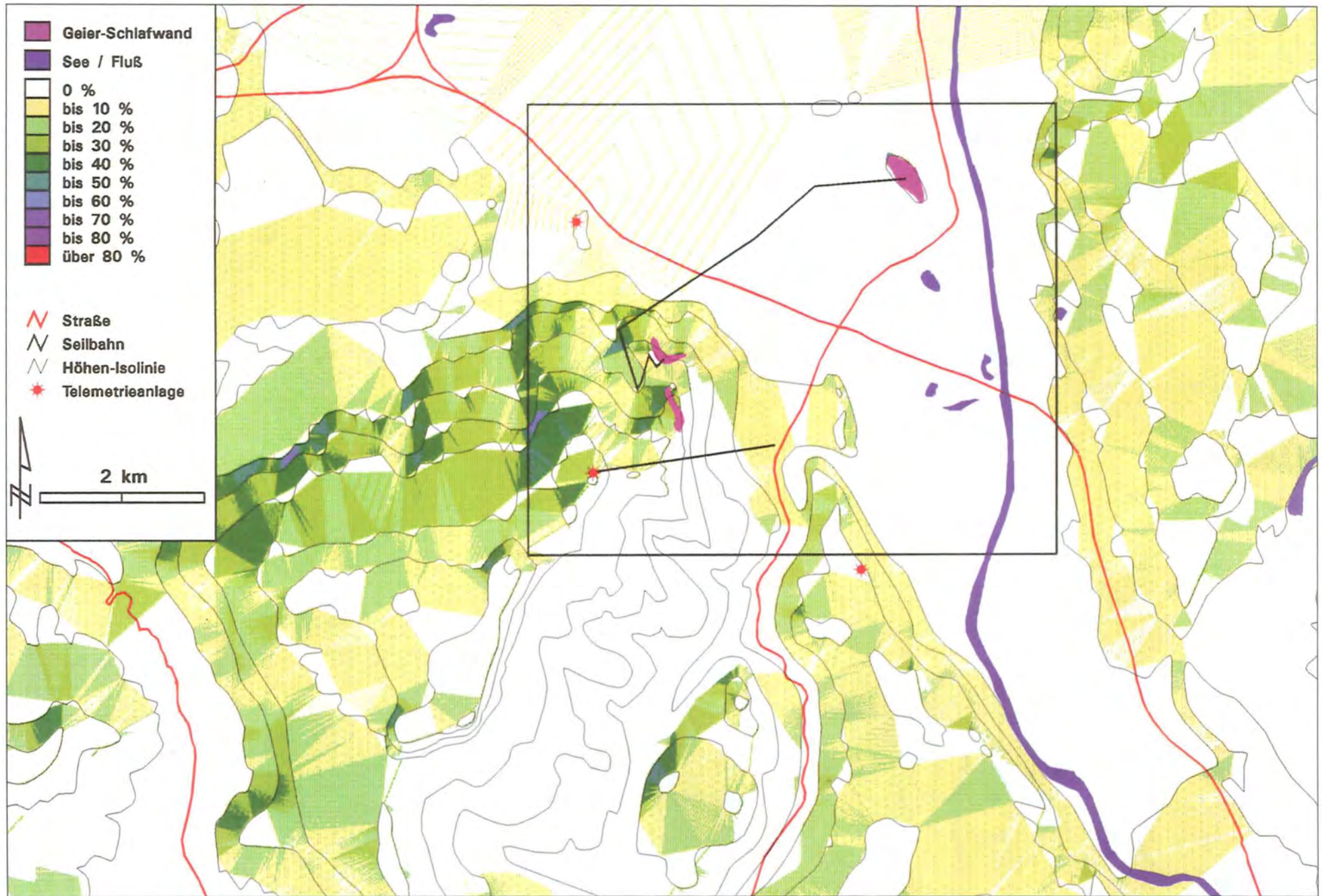


Abb. 34d: Hangaufwind (NW-Wind mit 4 m/s) zu Abb. 34a (eingezeichnet ist der Ausschnitt von Abb. 34a mit Flugroute).

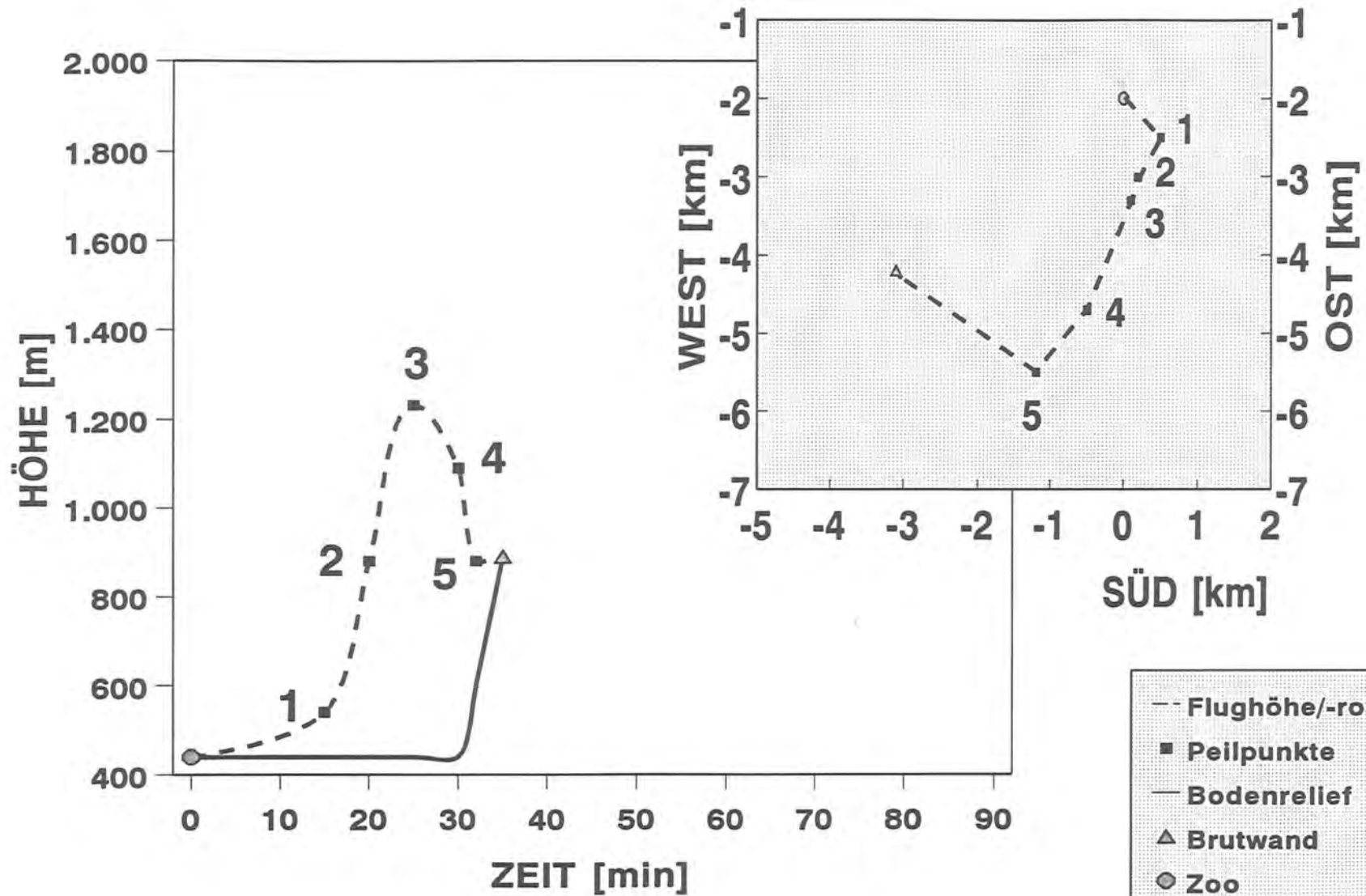


Abb. 35a: Flugprofil vom Zoo zum Untersberg bei effizienter Thermik und W-Wind mit 3 m/s (Tal: 2 m/s). Hauptgrafik mit Höhenprofil relativ zum Bodenrelief bzw. Flugroute als Nebengrafik (Legendenerklärung s. Abb. 34a).

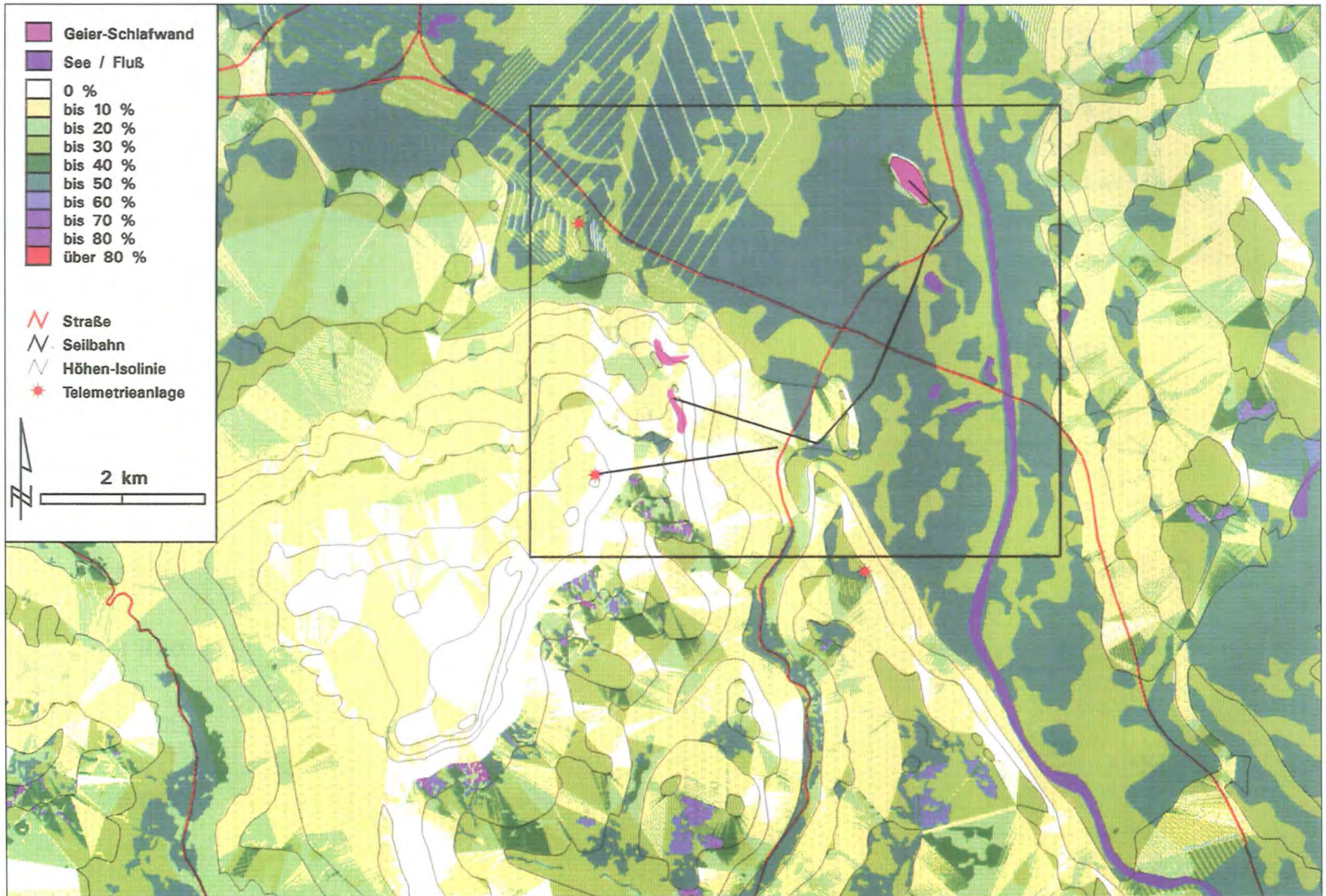


Abb. 35b: Gesamtes Aufwindpotential zu Abb. 35a (eingezeichnet ist der Ausschnitt von Abb. 35a mit Flugroute).

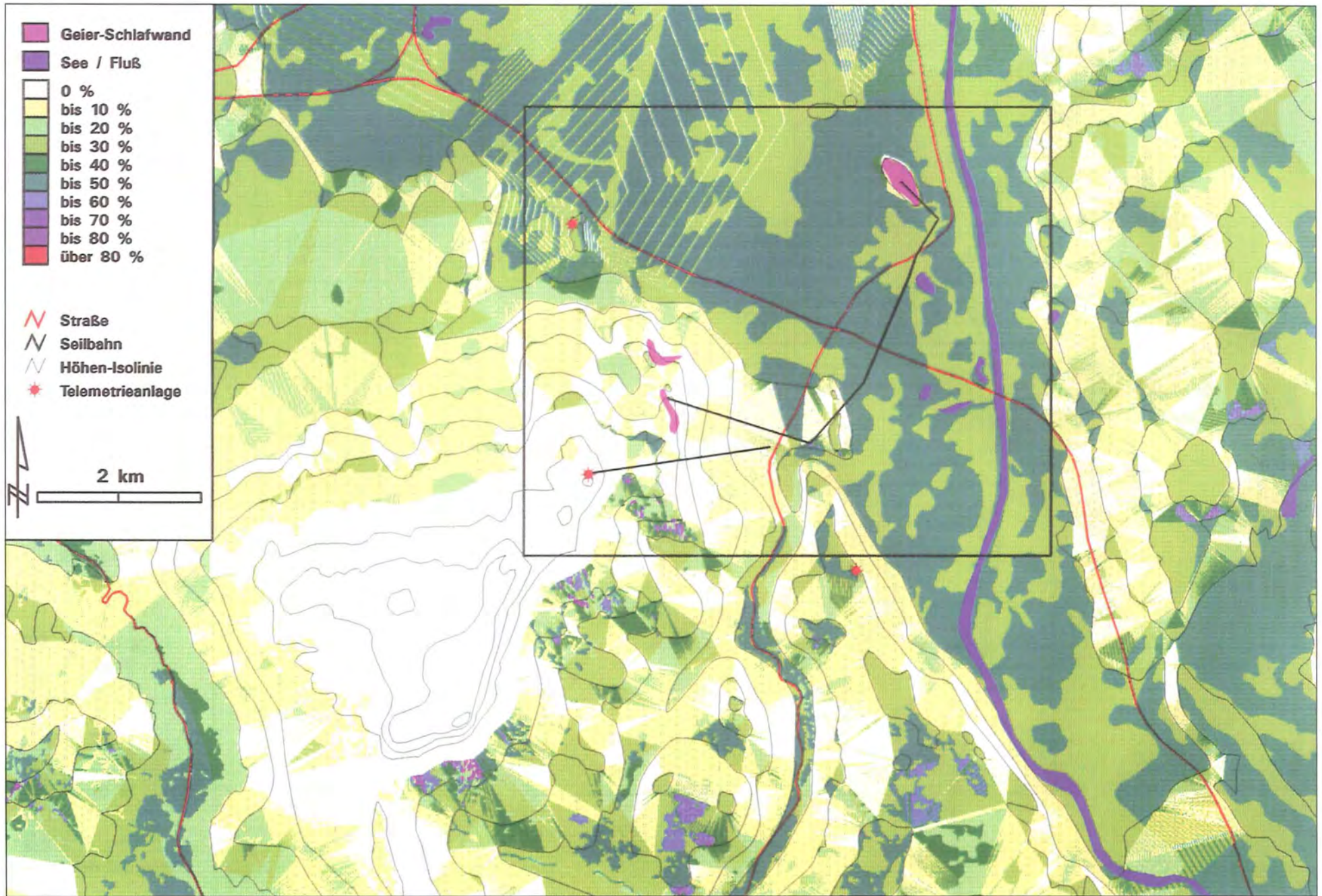


Abb. 35c: Thermikpotential zu Abb. 35a (eingezeichnet ist der Ausschnitt von Abb. 35a mit Flugroute).



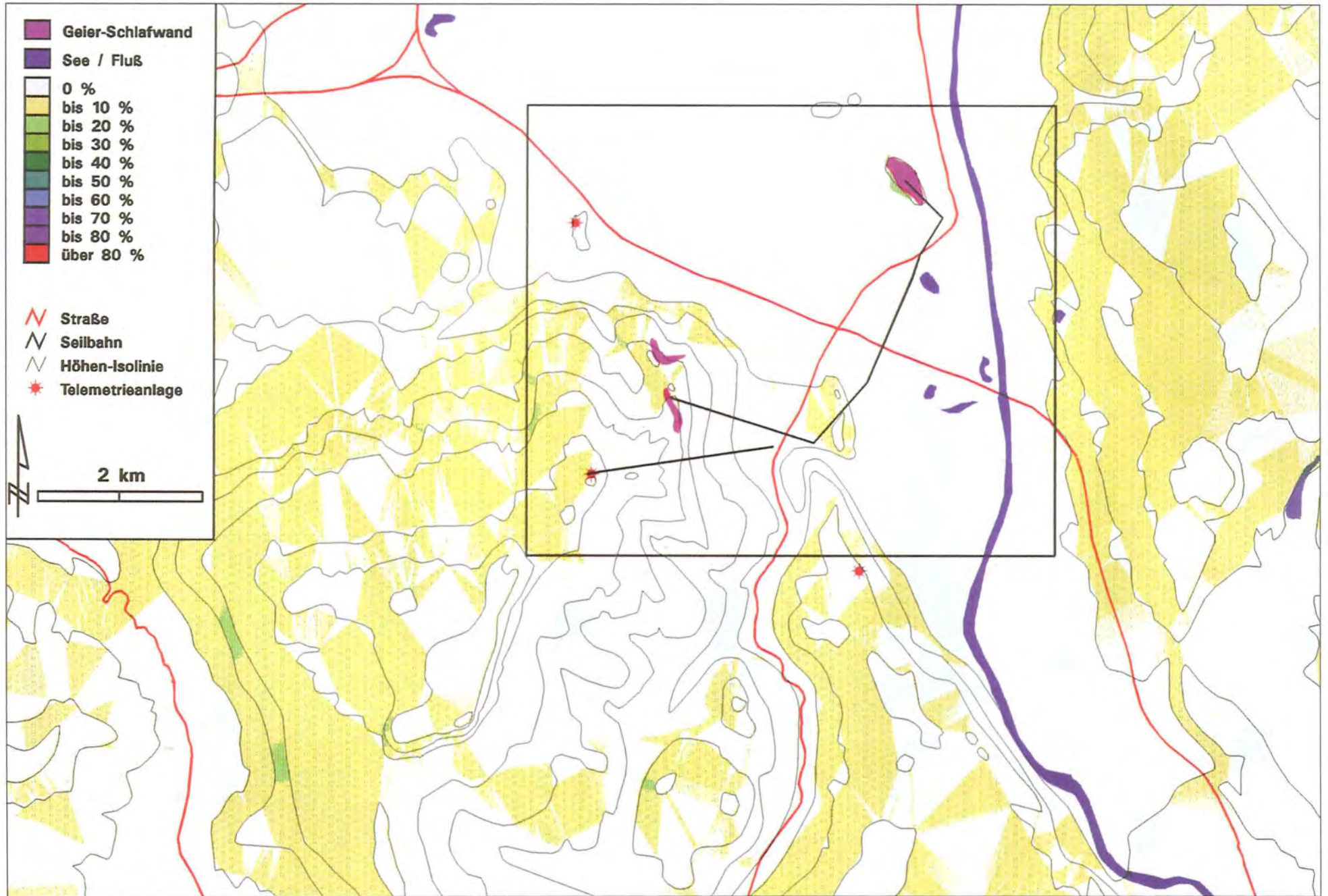


Abb. 35d: Hangaufwind (W-Wind mit 2 m/s) zu Abb. 35a (eingezeichnet ist der Ausschnitt von Abb. 35a mit Flugroute).

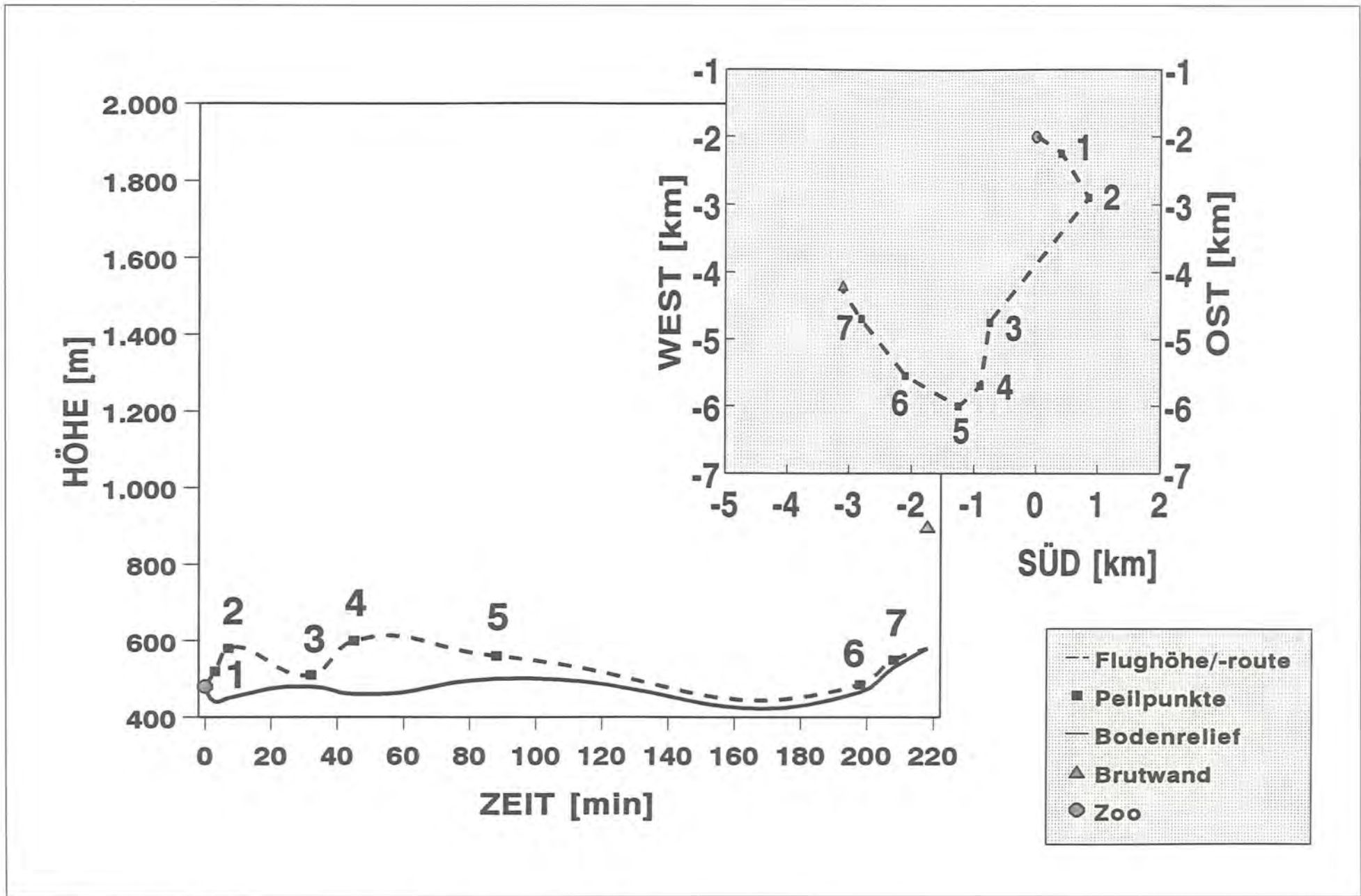


Abb. 36a: Flugprofil vom Zoo zum Untersberg bei bewölktem Wetter ohne Thermik und OSO-Wind mit 4 m/s (Tal 3: m/s). Hauptgrafik mit Höhenprofil relativ zum Bodenrelief bzw. Flugroute als Nebengrafik (Legendenerklärung s. Abb. 34a).

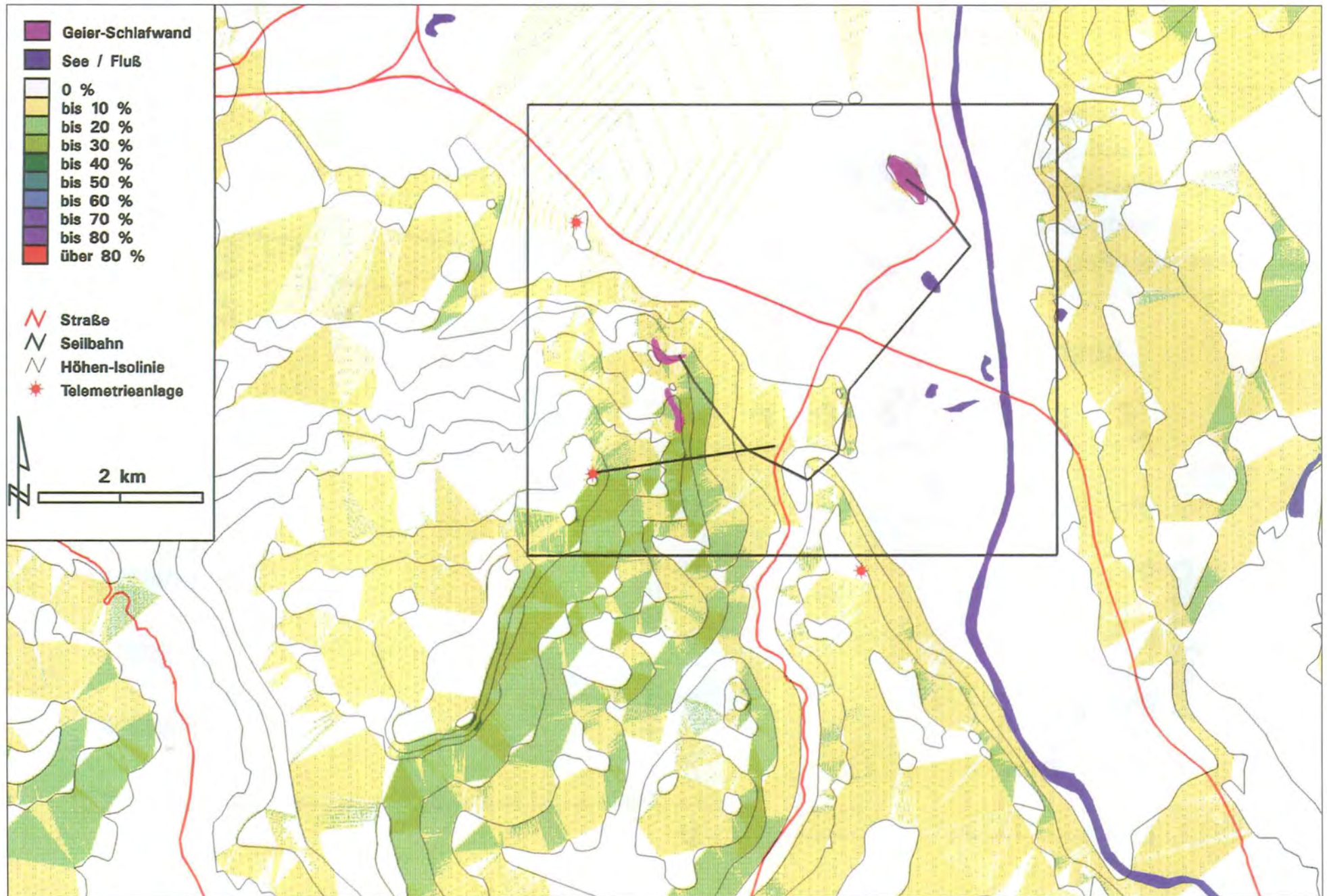


Abb. 36b: Aufwindpotential (OSO-Wind mit 3 m/s) zu Abb. 36a (ausschließlich dynamischer Hindernisaufwind, eingezeichnet ist der Ausschnitt von Abb. 36a mit Flugroute).

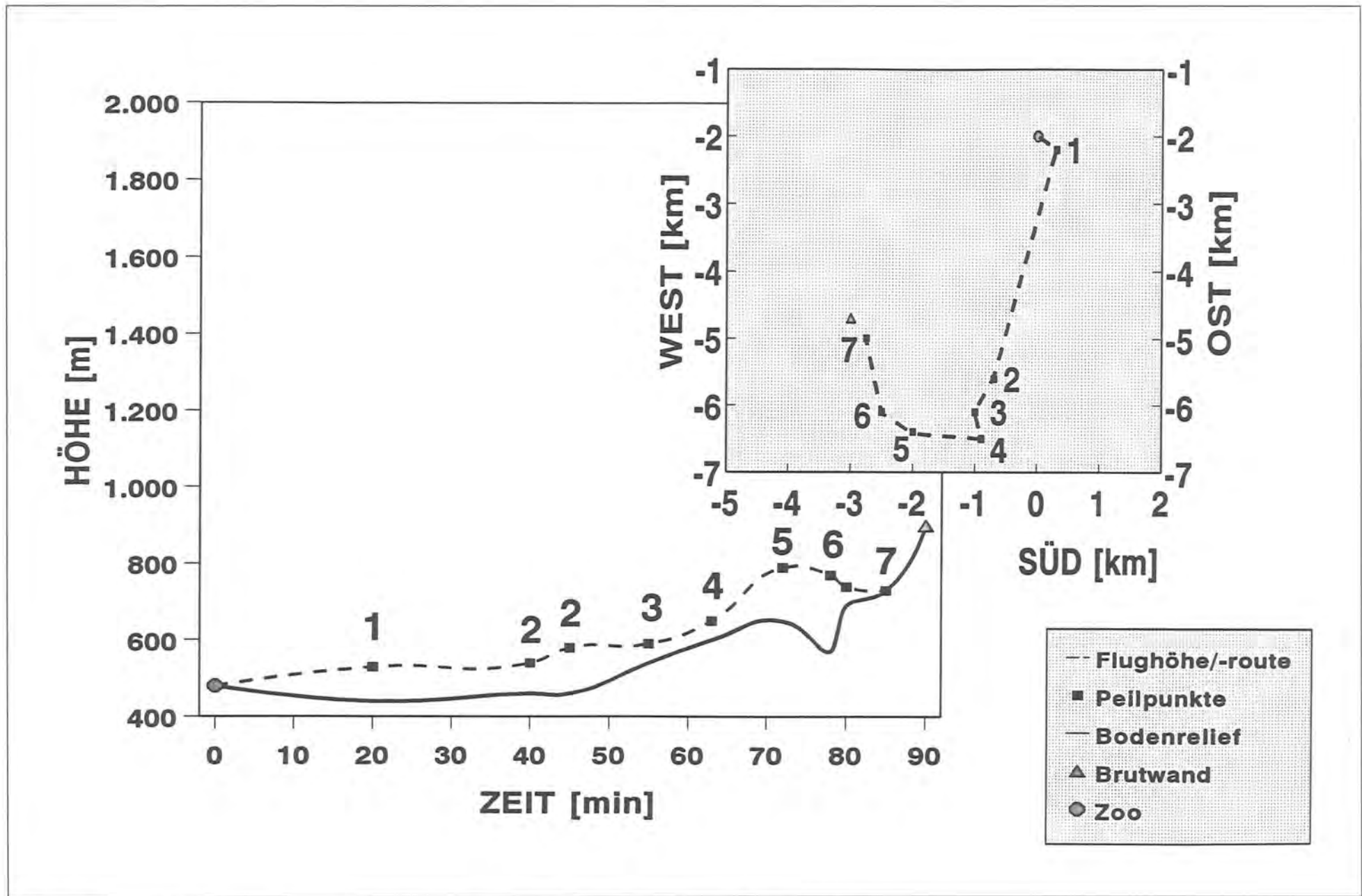


Abb. 37a: Flugprofil vom Zoo zum Untersberg bei heiterem Wetter mit ungenügender Thermik und W-Wind mit 4 m/s (Tal: 3 m/s). Hauptgrafik mit Höhenprofil relativ zum Bodenrelief bzw. Flugroute als Nebengrafik (Legendenerklärung s. Abb. 34a).

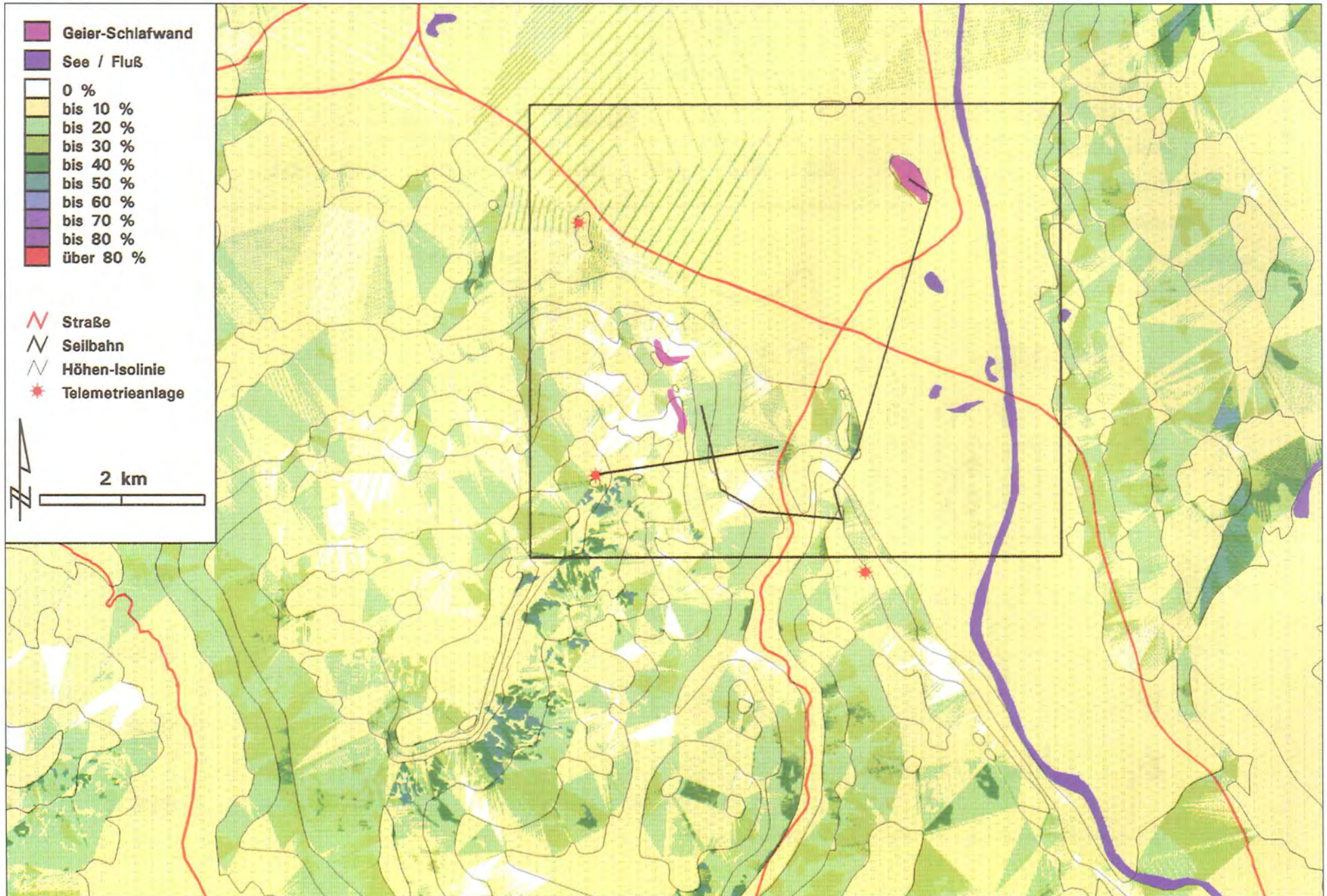


Abb. 37b: Gesamtes Aufwindpotential zu Abb. 37a (eingezeichnet ist der Ausschnitt von Abb. 37a mit Flugroute).

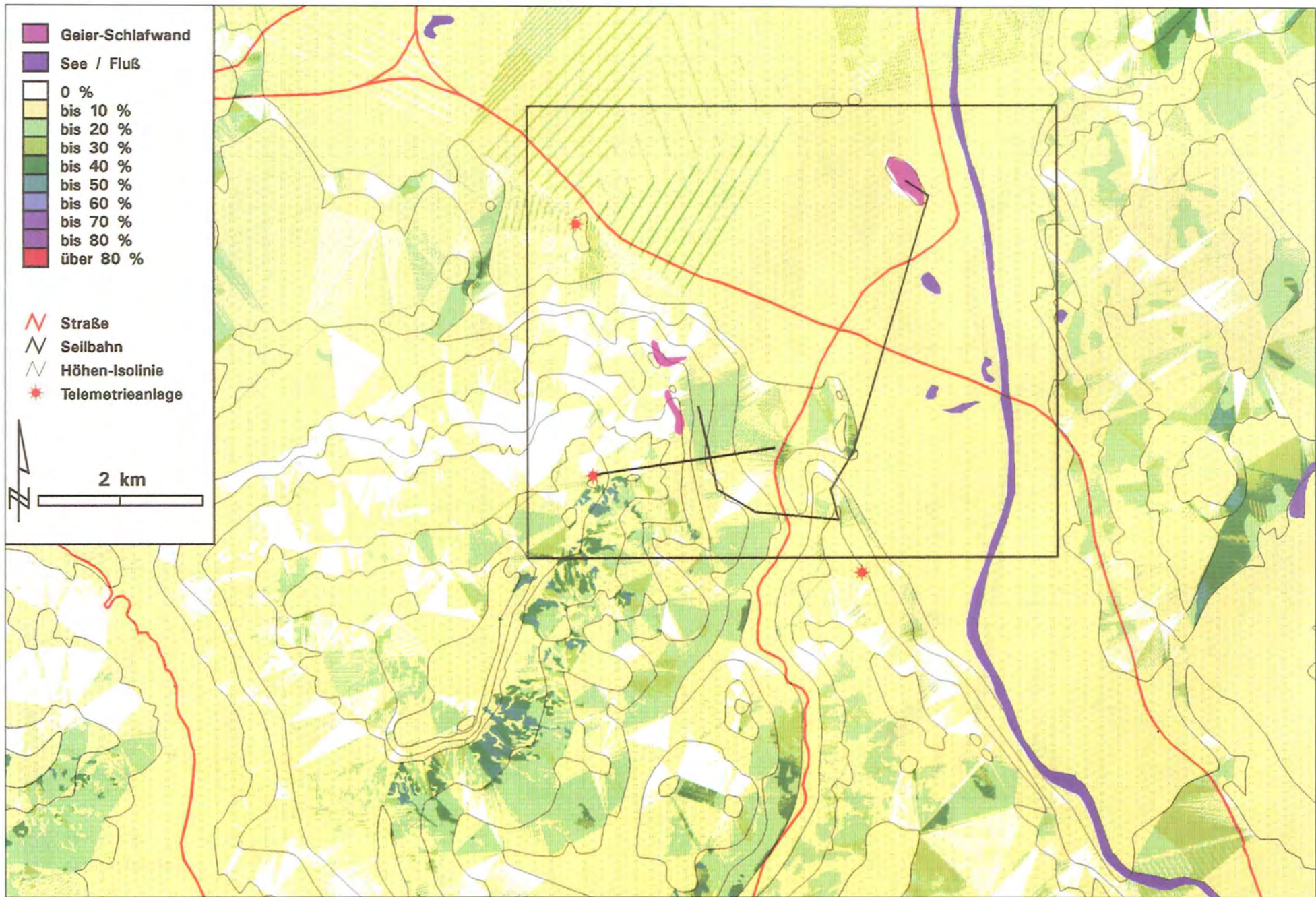


Abb. 37c: Thermikpotential zu Abb. 37a (eingezeichnet ist der Ausschnitt von Abb. 37a mit Flugroute).

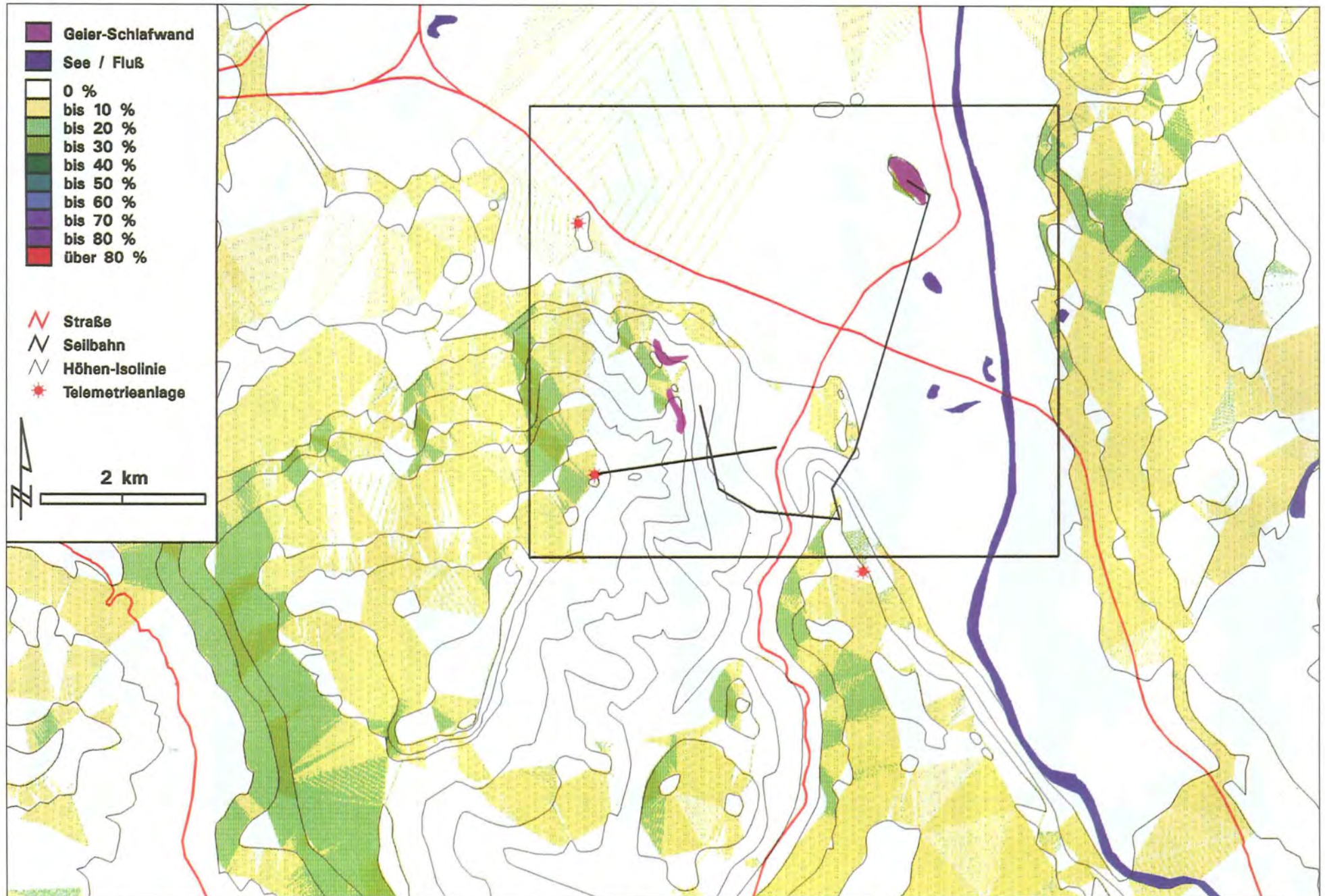


Abb. 37d: Hangaufwind (W-Wind mit 3 m/s) zu Abb. 37a (eingezeichnet ist der Ausschnitt von Abb. 37a mit Flugroute).

Obwohl in beiden Fällen NW- bzw. W-Winde herrschten, ist auffällig, daß unterschiedliche Flugrouten eingeschlagen wurden. Dies hat folgenden Grund: Beim Standortwechsel in Abb. 34a herrschte NW-Wind mit etwa 6 m/s, der durch eine in gleicher Richtung orientierten Schlucht mit Hochtalkessel direkt westlich der Schlafwand nach oben abgelenkt wird. Dadurch entstehen sehr effiziente dynamische Hangaufwinde (vgl. Abb. 34d), die zu dem angesprochenen Höhengewinn von über 2,3 m/s führten und den Geier innerhalb von 7,5 min auf Gipfelhöhe des Untersbergs brachten (knapp 2000 m, Punkte 3 – 4). Dagegen herrschte in Abb. 35a ein W-Wind von nur 2 m/s, der aufgrund der Geländegeomorphologie zu keinen effizienten dynamischen Aufwinden in der genannten Schlucht führen kann (vgl. Abb. 35d; durch Schluchtcharakter weitgehende Abschattung nach W). Entsprechend wählte der Geier eine vollständig andere Flugroute und flog in den Windschattenbereich des nördlichen Untersbergs (ab Punkt 4), um schließlich ohne Gegenwind zur Schlafwand hinüberzuqueren (ab Punkt 5). Dabei profitierte er entweder von der Thermik, die sich im Verlauf des Vormittags an den NO-Abhängen des Untersbergs entwickelt hatte, oder aber der Geier gewann bei Punkt 5 vor seinem Abstreichen noch einmal Höhe, ohne daß dies telemetrisch erfaßt werden konnte; anders wäre die Querung ohne Höhenverlust nicht erklärbar (ab Punkt 5).

Trotz einer vollständig anderen Wind- und Wetterkonstellation (OSO-Wind, keine Thermik) kam es in Abb. 36a zu einer, im Vergleich zu Abb. 35a sehr ähnlichen Flugroute. Hier startete der Geier zunächst im Schlagflug gegen den Wind (bis Punkt 2). Dazu wählte er relative Fluggeschwindigkeiten, die nach Abb. 33 auf eine Minimierung des Energieverbrauchs hindeuten (ca. 12 m/s) und erreichte eine mittlere Steigrate von 0,5 m/s. Danach verdriftete der Geier kreisend im Ostwind und versuchte, bei Punkt 3 aus einer dynamischen Aufwindwelle entlang eines langgezogenen, nur 50 Höhenmeter aus dem Talboden herausragenden Hügels, Höhe zu gewinnen. Dazu querte er in der Aufwindwelle hin und her (parallele Sichtbeobachtung, in der Grafik nicht erkennbar), ein Flugverhalten, das nach PENNY-CUICK (1972) derartige Hindernisaufwinde optimal ausnutzt. Auf diese Weise erreichte er einen Höhengewinn von 90 m. Danach versuchte er, durch eingestreute Flügelschläge seinen Höhenverlust zu minimieren und die Distanz zur Schlafwand zu überbrücken (ab Punkt 4). Obwohl er dadurch seine Sinkgeschwindigkeit auf Werte senken konnte, die ohne Aufwind im Gleitflug nicht möglich wären (0,02 m/s), gelang es ihm nicht, im Hindernisaufwind am NO-Untersberg genügend Höhe zu gewinnen um die Brutwand zu erreichen (Punkte 6 – 7). Er erreichte dort zwar Steigwerte bis 0,25 m/s, mußte aber schließlich im unteren Hangwaldbereich landen und übernachten. Offensichtlich entstehen an den eher steilen Nordostabbrüchen des Untersbergs trotz geeigneter Windrichtung in den unteren Hangbereichen keine nutzbaren dynamischen Aufwinde (Luvwirbel, vgl. KALCKREUTH 1972).

Abb. 37a belegt, daß der Standortwechsel vom Zoo zu den Schlafwänden auch bei augenscheinlich freundlichem Wetter nicht grundsätzlich erfolgreich ist. Nach dem Abflug wurde der Geier zunächst im W-Wind vertrieben (bis Punkt 1). Schwache Thermik ermöglichte ihm, kreisend mit mehr oder weniger konstanter Flughöhe nach Süden in Richtung Untersberg zu steuern (Punkte 1 – 2). Bei Punkt 4 nutzte er die Abwärme über dem Kamin eines Industriebetriebs zum Höhengewinn und bei Punkt 5 profitierte er von Thermik, die ihm in den späten Morgenstunden am Ostabfall des Untersbergs eine Steigrate von 0,26 m/s ermöglichte. Der erzielte Höhengewinn von etwa 140 m über Grund reichte aber nicht aus, um zur Schlafwand hinüberzuqueren (Landung auf ca. 700 m NN im Hangwald). Immerhin ermöglichte ihm die schwache Thermik aber eine Reduzierung seiner Sinkgeschwindigkeit auf Werte von < 0,1 m/s.

Abb. 38a belegt, daß Geier trotz widrigster Wetterbedingungen fehlende Thermik vollständig durch andere Aufwindkonstellationen ersetzen können. Der Vogel startete unter hohem Kraft- und Energieaufwand gegen den Wind (bis Punkt 1) und begann zu kreisen. Im W-Wind wurde er zunächst verdriftet (Punkt 1 – 2), gewann dann aber stetig an Höhe (bis Punkt 3 im Mittel 0,25 m/s). Auf dem Streckenflug zwischen Punkt 2 und 3 tauchte er in den Windschattenbereich des nördlichen Untersbergs ein. Durch die Meidung des Gegenwinds konnte er energiesparend in die Brutwand hinüberqueren (ab Punkt 3) und erreichte schließlich im niederen, hangparallelen Reliefflug (ab Punkt 4) die Schlafwand. Bei diesem Gleitflug wird rechnerisch ein mittleres Gleitverhältnis von etwa 17:1 erreicht, der Geier flog also offensichtlich im Bereich seiner günstigsten Gleitzahl. Die Geschwindigkeit über Grund lag dabei mit 11,2 m/s etwas zu niedrig (vgl. Abb. 30). Geht man davon aus, daß der W-Wind durch den Untersberg nicht vollständig abgeschirmt wurde, ist eine relative Fluggeschwindigkeit von 14 – 15 m/s durchaus plausibel (vgl. Abb. 30). Bei Punkt 4 wurden weitere 220 Höhenmeter gewonnen. Hierbei müssen Sog- und Verwirbelungsprozesse im Bereich der Leewelle eine Rolle gespielt haben, die auch die geringfügige Diskrepanz zum maximalen Gleitverhältnis nach Abb. 30 erklären können.

Abb. 39a steht schließlich stellvertretend für alle Flüge von den Schlaf- und Brutwänden zum Zoo: Hier genügt der Höhenunterschied von 500 Meter um bei jeder Wetterlage den Zoo im reinen Gleitflug zu erreichen. Rechnerisch ist dazu ein Gleitverhältnis von 8:1 notwendig. Nach Abb. 30 ist dies in einem Geschwindigkeitsbereich zwischen ca. 10 und 30 m/s möglich. Selbst starker Gegenwind wäre also für diesen Standortwechsel vollkommen unproblematisch. Bei einem maximalem Gleitverhältnis von 15:1 (vgl. Abb. 30) könnte bei Windstille aufgrund der gegebenen Höhendifferenz jeder beliebige Punkt im Salzburger Talkessel im Umkreis von 7,5 km erreicht werden. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, daß die Geier den 4 km entfernten Zoo bei jeder Wettersituation mit mini-



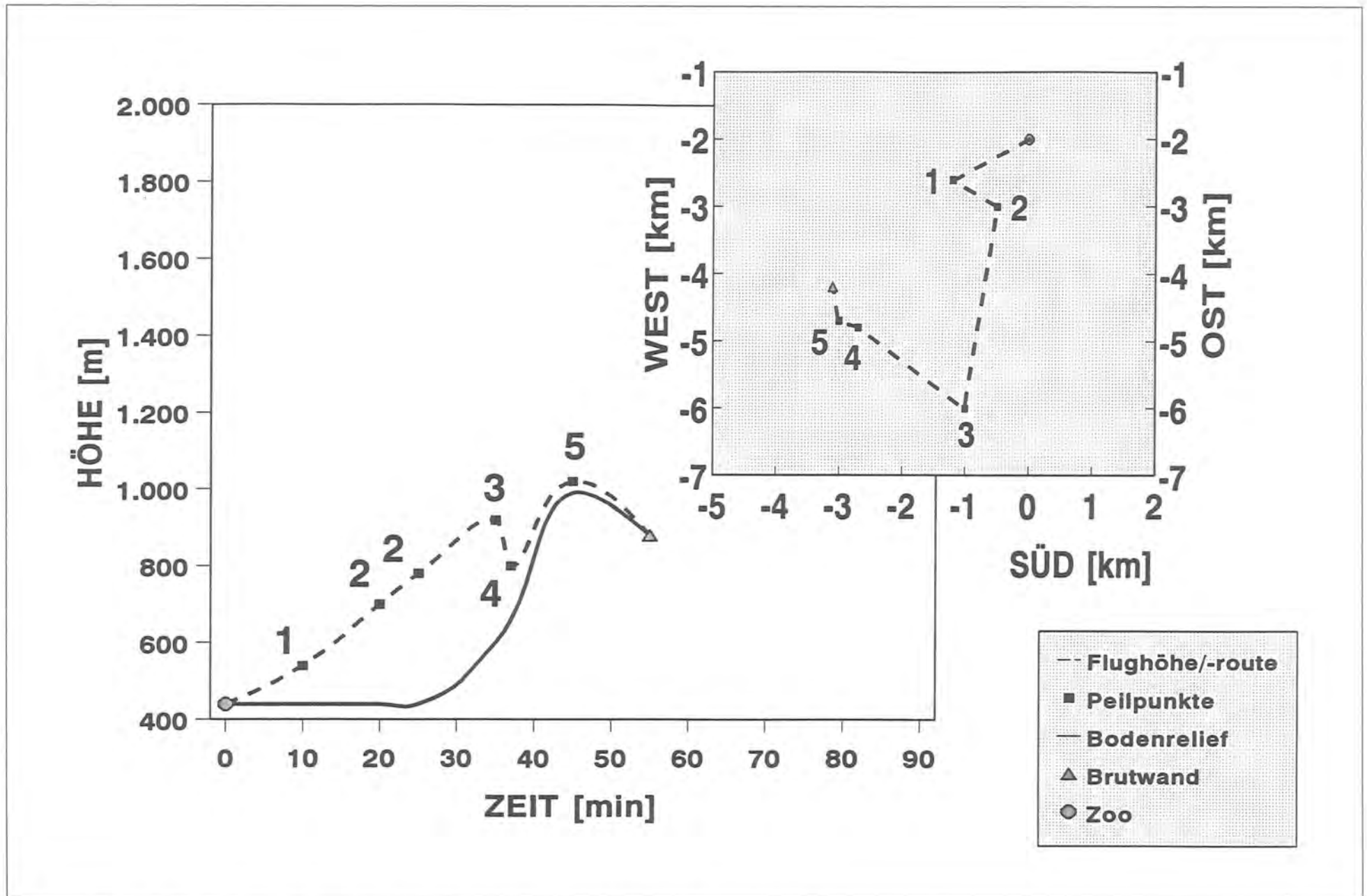


Abb. 38a: Flugprofil vom Zoo zum Untersberg bei leichtem Schneefall (keine Thermik) und W-Wind mit 7-8 m/s (Tal: 4 m/s). Hauptgrafik mit Höhenprofil relativ zum Bodenrelief bzw. Flugroute als Nebengrafik (Legendenerklärung s. Abb. 34a).



Abb. 38b: Hangaufwind (W-Wind mit 5 m/s) zu Abb. 38a (ausschließlich dynamischer Hindernisaufwind, eingezeichnet ist der Ausschnitt von Abb. 37a mit Flugroute).

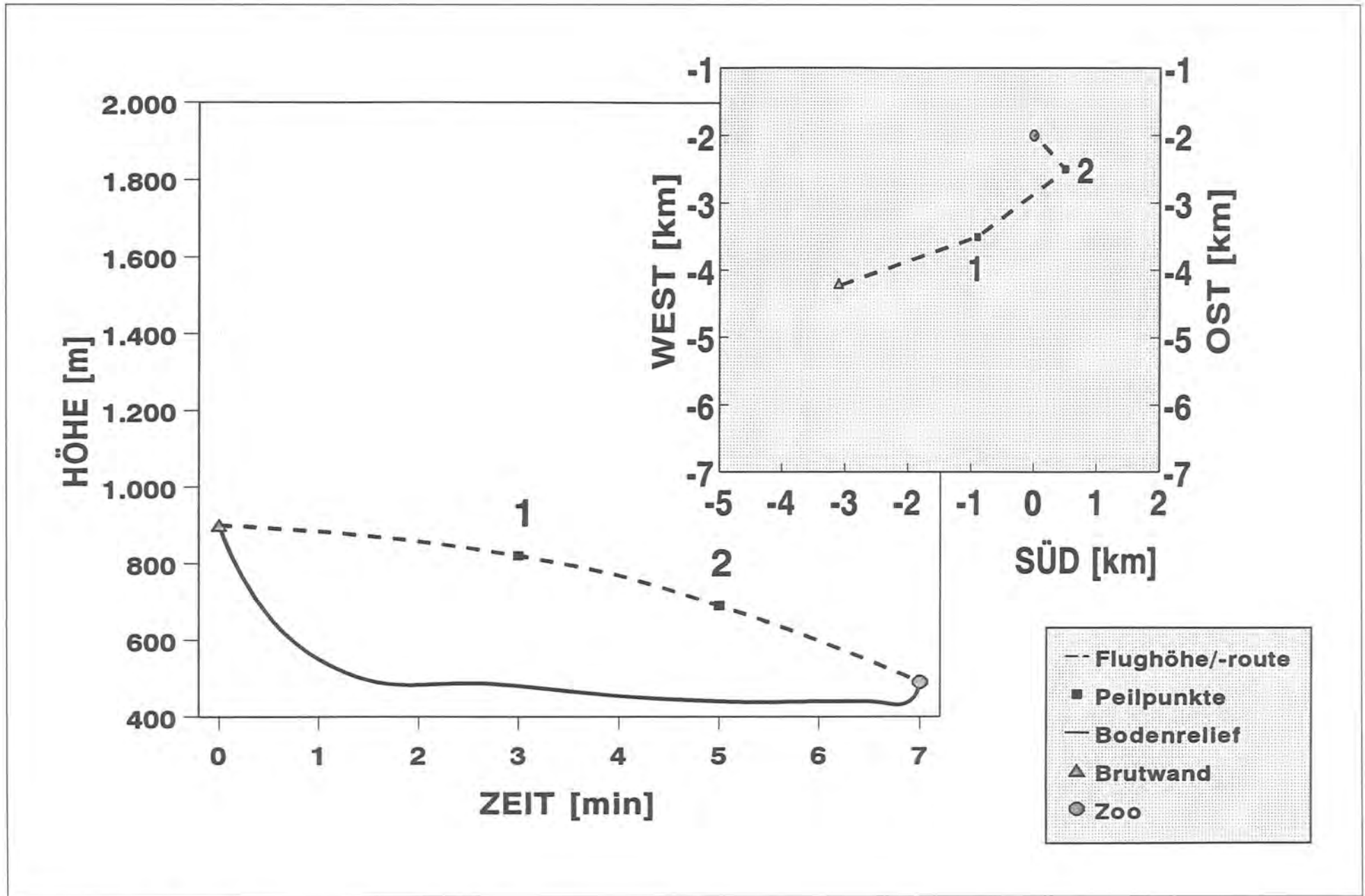


Abb. 39: Flugprofil von den Schlaf- und Brutwänden am Untersberg zum Zoo.  
Hauptgrafik mit Höhenprofil relativ zum Bodenrelief bzw. Flugroute als Nebengrafik (Legendenerklärung s. Abb. 34a).

malem Energieaufwand erreichen können (s. Kap. 4.5). Entsprechend vollzieht sich diese Standortveränderung bei allen Wetterlagen stereotyp.

Im gezeigten Beispiel „übersteuert“ der Geier minimal gegen den Ostwind (3 m/s) und quert schließlich von Osten kommend zum Zoo ein. Aufgrund der geometrischen Konstellation sind etwa 2,7 m/s als Gegenwindkomponente wirksam. Diese erhöht die relative Fluggeschwindigkeit bis Punkt 2 auf 16 m/s. Rechnerisch ergibt sich für die reine Gleitphase (Brutwand bis Punkt 2) ein Gleitverhältnis von 19:1, was über dem maximalen Gleitverhältnis nach Kap. 4.2 liegt. Es müssen also Aufwinde während der Gleitflugphase geherrscht haben. Rechnerisch ließe sich die Diskrepanz zum maximalen Gleitverhältnis durch eine mittleren Aufwindintensität von 0,2 m/s erklären.

#### 4.4 Thermoregulatorische Aspekte

Die Gefiedertemperaturen von Gänsegeiern können bei direkter Sonnenexposition die Körpertemperatur weit übersteigen. Nach PRINZINGER et al. (1991) kann beim Gänsegeier mit einer Körpertemperatur von 38,5 – 39°C gerechnet werden. Stoffwechselphysiologisch gesehen ist zu erwarten, daß die Thermoneutralzone von *Gyps fulvus* bei Außentemperaturen von ca. 45°C überschritten wird (BAHAT in Vorb.), die Stoffwechselrate steigt dann steil an (PRINZINGER 1990). Nach den Ergebnissen der vorliegenden Studie sind thermoregulatorische Flugaktivitäten bei der Vermeidung von Temperaturstress von besonderer Bedeutung. Nach Überschreitung einer Gefiedertemperatur von ca. 42°C kam es i.d.R. zu ausgedehnten Flugaktivitäten, die zu einer Gefiederabkühlung um bis zu 24°C führten. Dabei versetzt der energiesparende Gleitflug in Verbindung mit den entsprechend thermikreichen Flugbedingungen solcher Tage die Geier in die Lage, ihre Flughöhe nach der günstigsten Lufttemperatur zu wählen und so ihre Energiebilanz zu optimieren.

#### 4.5 Energie-Budget

Der Energieaufwand für den Flug von den Schlaf- und Brutwänden am Untersberg zum Zoo als gesicherte Nahrungsquelle ist minimal, da er im reinen Gleitflug möglich ist (s. Kap. 4.3). Nach flugmechanischen Modellen (PENNYCUICK 1989) werden dafür etwa 9 kJ benötigt, was etwa 1,5 g Fleisch bzw. nach Daten von KOMEN (1992) am gleichschweren Fahlgeier ca. 0,4 % des Grundumsatzes (BMR ca. 2420 KJ/Tag) entspricht. Die Übertragbarkeit der Daten wird aus dem maximalen Verwandtschaftsgrad von *Gyps fulvus* und *Gyps coprotheres* innerhalb der Gattung *Gyps* abgeleitet (SEIBOLD & WINK 1994, SEIBOLD et al. 1994).

Demgegenüber ist der Rückflug zum Untersberg mit einem sehr viel größeren Energieverbrauch verbunden: Dabei muß zum einen die Höhendifferenz von 500 m überwunden werden, zum anderen ist durch die Nahrungsaufnahme das Fluggewicht um bis zu 1,5 kg

(20 % des Körpergewichts) erhöht. Nach den Gesetzen der Mechanik entspricht bereits der Höhenunterschied einem Energieaufwand von etwa 45 kJ. Berücksichtigt man den mechanischen Wirkungsgrad des Muskelapparats von etwa 23 % (PENNYCUICK 1989), so ergibt sich aus der Höhendifferenz ein physiologischer Energieaufwand von etwa 200 kJ. Da zusätzlich für den Ruderflug ein Energieaufwand von ca. 160 kJ anfällt, ergibt sich für den aktiven Schlagflug auf direktem Weg (4 km) etwa ein Energieaufwand von 360 KJ (äquivalent zu ca. 58 g Fleisch bzw. ca. 14,9% des BMR); im Vergleich dazu erfordert ein bogenförmiger Segelflug (8 km) je nach Thermikintensität (1 – 4 m/s) 18 – 36 KJ (äquivalent zu 3 – 6 g Fleisch bzw. 0,8 – 1,5% des BMR). Dabei kann beim Segelflug die für die Höhendifferenz notwendige Energie den aufsteigenden Luftmassen entzogen werden, während sie beim Schlagflug zusätzlich zum Energieaufwand für den Horizontalfahrtflug anfällt (vgl. Kap. 5.3). Insgesamt ergibt sich im Schlagflug trotz der halbierten Flugdistanz der 6- bis 14-fache Energieaufwand. Demnach sind die energetischen Kosten für den Rückflug zum Untersberg stark von den Flugbedingungen abhängig und können erheblich sein. Das, in Abb. 36a/37a gezeigte Flugverhalten zeigt, daß ein Rückflug zu den Brutwänden nicht bei allen Wetterlagen möglich ist.

Der mit den Flugaktivitäten verbundene Energieaufwand wird von den Windbedingungen beeinflusst. Wendet man flugmechanische Modelle auf *Gyps fulvus* an (PENNYCUICK 1989), so ergibt sich je nach Gegenwindstärke für aktiven Schlagflug im Vergleich zum Gleitflug ein um den Faktor 5 – 13 erhöhter Energieverbrauch (Abb. 40, Tab. 6). Abb. 38a belegt, daß durch angepaßtes Flugverhalten erhebliche Energieeinsparungen möglich sind: Bei den gegebenen Windverhältnissen wären zusätzlich etwa 120 – 150 KJ (äquivalent zu 19 – 24 g Fleisch oder 5,0 – 6,2% der BMR) notwendig gewesen, um dieselbe Standortveränderung im Gegenwind zu vollziehen. Durch das Ausweichen in den Windschattenbereich des Untersbergs wurde also eine Energiemenge eingespart, die bei guten Flugbedingungen 5 – 6 Flüge zum Zoo und zurück ermöglicht.

#### 4.6 Alterspezifische Unterschiede

Untersuchungen zur Nahrungsaufnahme am Zoo belegen altersspezifische Unterschiede bei der Freßeffizienz (Abb. 43): Juvenile brauchen signifikant länger als Alttiere, um dieselbe Nahrungsmenge aufzunehmen ( $p < 0,001$ ). Ihr Zeitbudget ist demnach stärker mit Nahrungsaufnahme belastet und somit möglicherweise für andere Aktivitäten (z. B. rechtzeitiger Rückflug zur Schlafwand) limitiert.

In den unterschiedlichen Zeitbudgets könnte eine Ursache für das stark erhöhte Mortalitätsrisiko der Jungvögel liegen (vgl. Kap. 5.4). Die im Vergleich zu Altvögeln verminderte Freßeffizienz ist bis zum 3. Lebensjahr nachweisbar (Signifikanzniveau  $p < 0,05$ ). Immature Vögel in diesem Alter zeigen aber im Vergleich zu Alttieren kein erhöhtes Mortalitätsrisiko. Offensichtlich

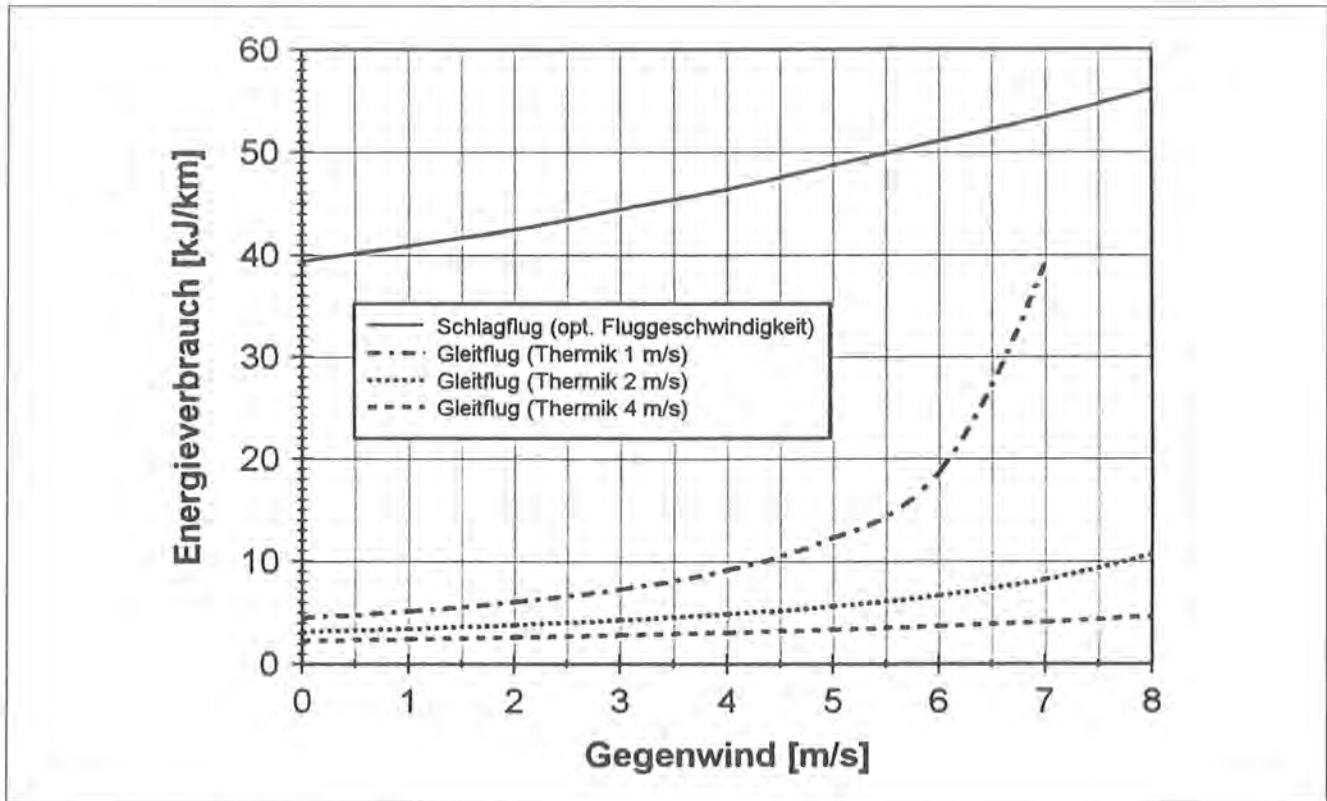


Abb. 40: Abhängigkeit des Energieverbrauchs vom Gegenwind.

können sie Nachteile im Zeitbudget durch ihre größere Flugerfahrung ausgleichen.

Die Unterschiede im Zeitbudget wirken sich in den Aktionsraumgrößen aus: Das Home Range eines Juvenilvogels (Abb. 41) war mit 58 km<sup>2</sup> deutlich kleiner als das von Altvögeln (ca. 140 km<sup>2</sup>, Abb. 42).

#### 4.7 Flugbedingungen im Tages- und Jahresverlauf

Die Modelle zur Aufwindkonstellation gestatten eine Beurteilung der Flugbedingungen im Tages- und im Jahresverlauf anhand von Klimadaten (Sonneneinstrahlung,

Verteilung der Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten, Lage der Schneegrenze). Die Änderung der Thermikintensität im Tagesverlauf wird beispielhaft für den 21. September (gleiche Tag- und Nachtdauer) für 10, 14 und 18 Uhr dargestellt. Die Thermikintensität im Tagesverlauf ändert sich zwar auch mit den Jahreszeiten entsprechend der unterschiedlichen Sonnenbahnen (Azimut und Sonnenhöhe), folgt aber immer demselben grundlegenden Muster.

Die Flugbedingungen im Jahresverlauf werden anhand der Verhältnisse im März, Juni, September und Dezember verglichen. Die Bewertung erfolgt getrennt

Tab. 6: Energiebedarf für Horizontalflug in Abhängigkeit vom Gegenwind nach PENNYCUICK (1989) für gleiche Flugstrecken, optimale Fluggeschwindigkeit und 800 g Ballast (durchschnittliche Kropffüllung und Telemetriesender). Berechnungen im Gleitflug wurden auf eine Thermikstärke von 2 m/s bezogen.

Gegenwind [m/s]	Gleitflug (GF) [g Fett / km]	Schlagflug (SF) [g Fett / km]	Verhältnis SF / GF
0	0,0806	1,01	12,5
1	0,0884	1,05	11,9
2	0,0978	1,09	11,2
3	0,11	1,14	10,4
4	0,125	1,2	9,6
5	0,144	1,26	8,8
6	0,171	1,32	7,7
7	0,211	1,4	6,6
8	0,274	1,48	5,4

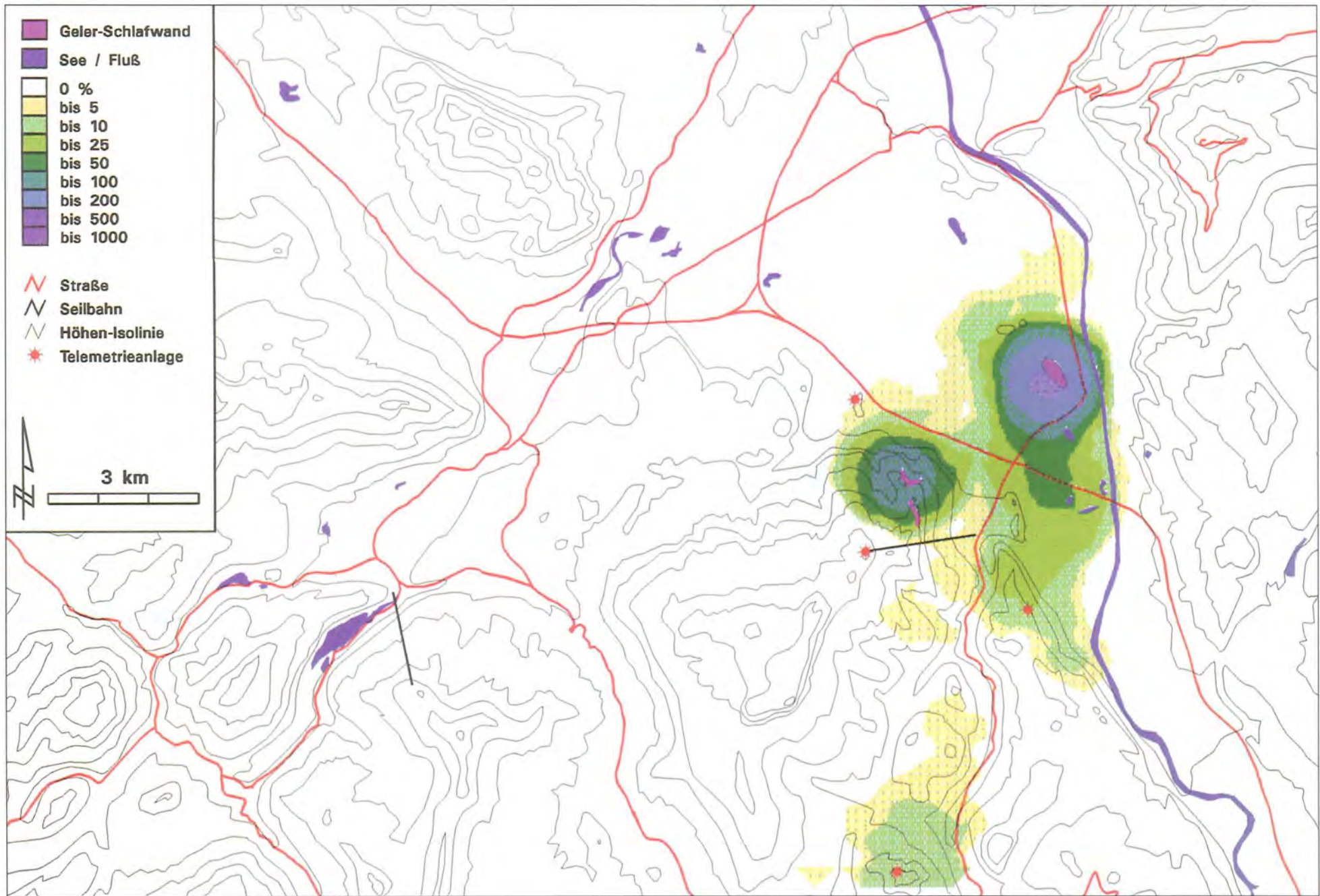


Abb. 41: Raumnutzung eines Juvenilvogels (n = 465 Peildaten).

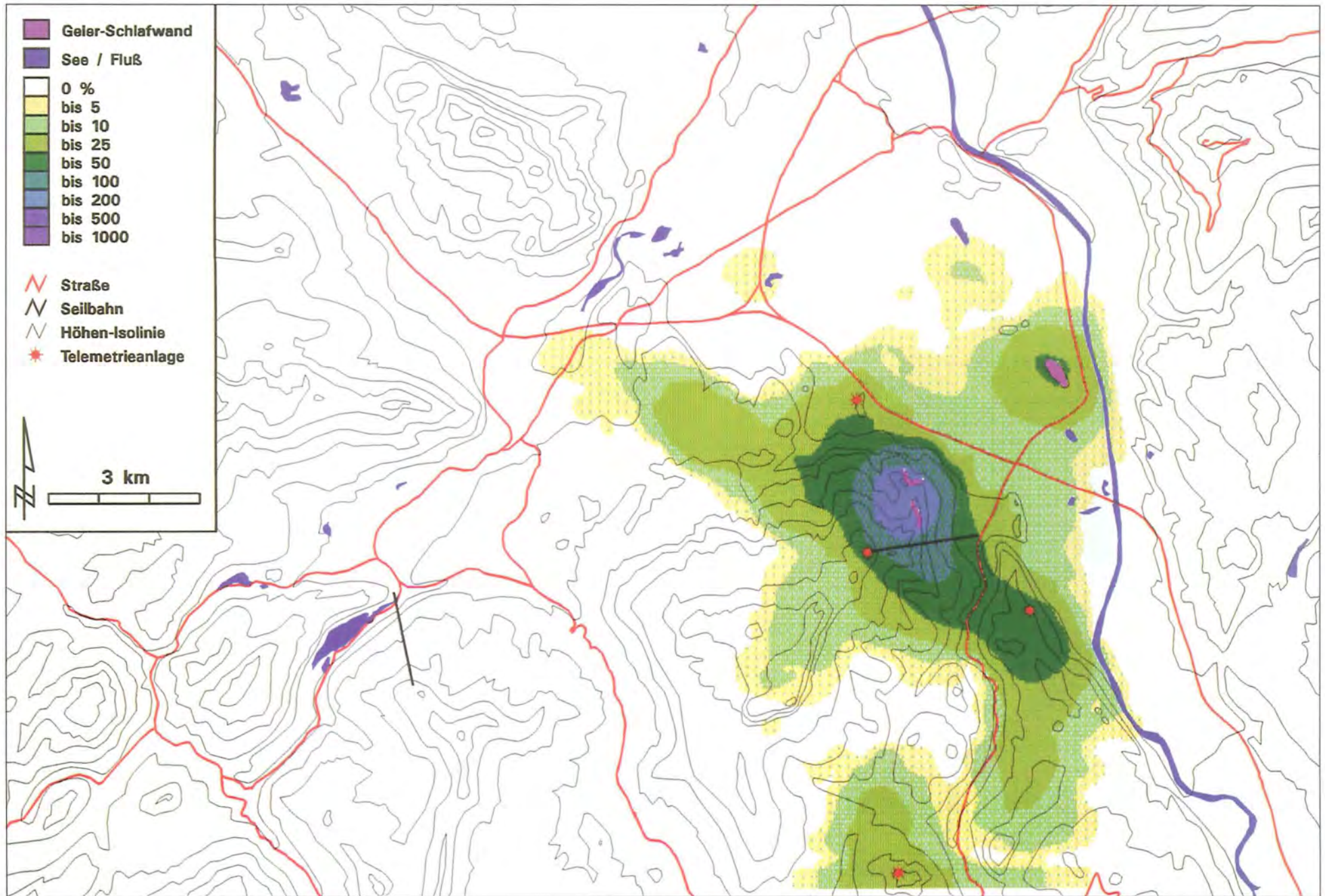


Abb. 42: Raumnutzung eines Adultvogels (n = 689 Peildaten).

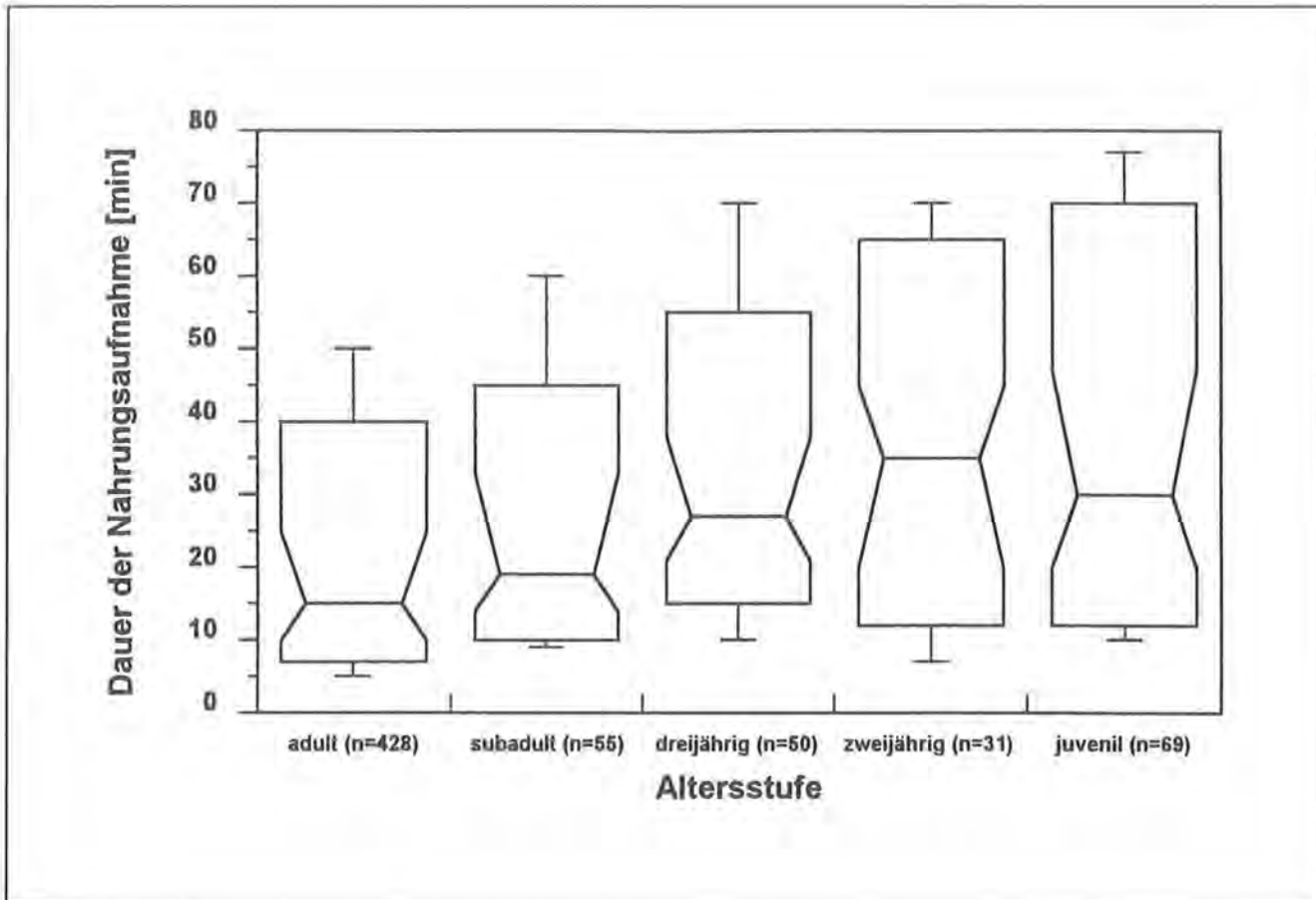


Abb. 43: Freßeffizienz verschiedener Altersklassen bewertet nach der Dauer der Nahrungsaufnahme für gleichen Füllgrad des Kropfes (Boxplot-Darstellung).

nach den Komponenten „Thermikpotential“, „dynamischer Hindernisaufwind“ sowie „gesamtes Aufwindpotential“. Zum Vergleich wurde das Thermikpotential jeweils am 21. Tag des Monats um 12 Uhr Ortszeit (MOZ) bestimmt. Zur Beurteilung der Aufwindverhältnisse wurden beide Hauptwindrichtungen getrennt bewertet (im Untersuchungsgebiet NW und SO) und anschließend addiert. Das Aufwindpotential spiegelt somit die in diesem Monat verfügbaren Aufwindverhältnisse wider; es stellt demnach kein statistisches Mittel dar.

Den Bewertungen liegen die Wetterdaten des Zeitraums 1.1.91 – 31.12.94 zugrunde. Bei den Windverhältnissen kamen die Daten der Meßstelle „Gaisberg“ zum Einsatz, da diese sowohl bezüglich Windrichtung als auch Windgeschwindigkeit zwischen denjenigen des Talbodens und der Untersbergspitze lagen. Da Gänsegeier mehrere Wochen ohne Schaden hungern und deshalb günstige Flugbedingungen nach Schlechtwetterperioden abwarten können, blieb die mittlere Zahl der Schönwettertage (Thermikabschätzung) bzw. der prozentuale Anteil der Hauptwindrichtungen (Hindernisaufwind) in den einzelnen Monate unberücksichtigt.

Beim Vergleich der Abb. 46 a-c fällt auf, daß erwartungsgemäß zu unterschiedlichen Tageszeiten verschiedene Hangbereiche thermikbegünstigt sind. Dabei zeigen in den Morgen- und Abendstunden aufgrund des flachen Sonneneinfalls relativ steile Hangbereiche eine

gute Thermikentwicklung, während um die Mittagszeit eher flache Geländeparzellen begünstigt sind. Vergleicht man die Tageszeiten quantitativ, so kommt es zwischen 12 und 14 Uhr (MOZ) zu einem Maximum im Thermikpotential (Tab. 7). Der Talgrund hat vom späten Vormittag bis zum frühen Abend ein gutes Thermikpotential (je nach Jahreszeit, s.u.), das von den Geiern sehr regelmäßig genutzt wird (vgl. Kap. 4.1 und 4.3). Zu berücksichtigen ist allerdings, daß über das Winterhalbjahr durch den flachen Sonneneinfallswinkel der Untersberg wesentliche Talbereiche beschattet. Neben dem Talgrund sind insbesondere die Nordostausläufer des Untersbergs vormittags thermisch interessant: Beim Rückflug vom Zoo zu den Schlafwänden können dort beim „Hereinqueren“ von Osten thermische Aufwinde sehr hilfreich sein. Dagegen bringt die Thermikentwicklung über den Westabhängen des Untersbergs am späten Nachmittag den Geiern für einen Standortwechsel vom Zoo zurück zu den Schlafwänden keine Vorteile; sie wird aber für Flugaktivitäten über der gesamten Westflanke regelmäßig genutzt.

Das hohe Thermikpotential über den Südabhängen des Untersbergs, sowie andere thermikbegünstigte Bereiche werden dagegen nach den Ergebnissen dieser Studie wenig genutzt. Dabei scheint die Entfernung zum Zoo bzw. der halb wilde Status der Tiere eine Rolle zu spielen.



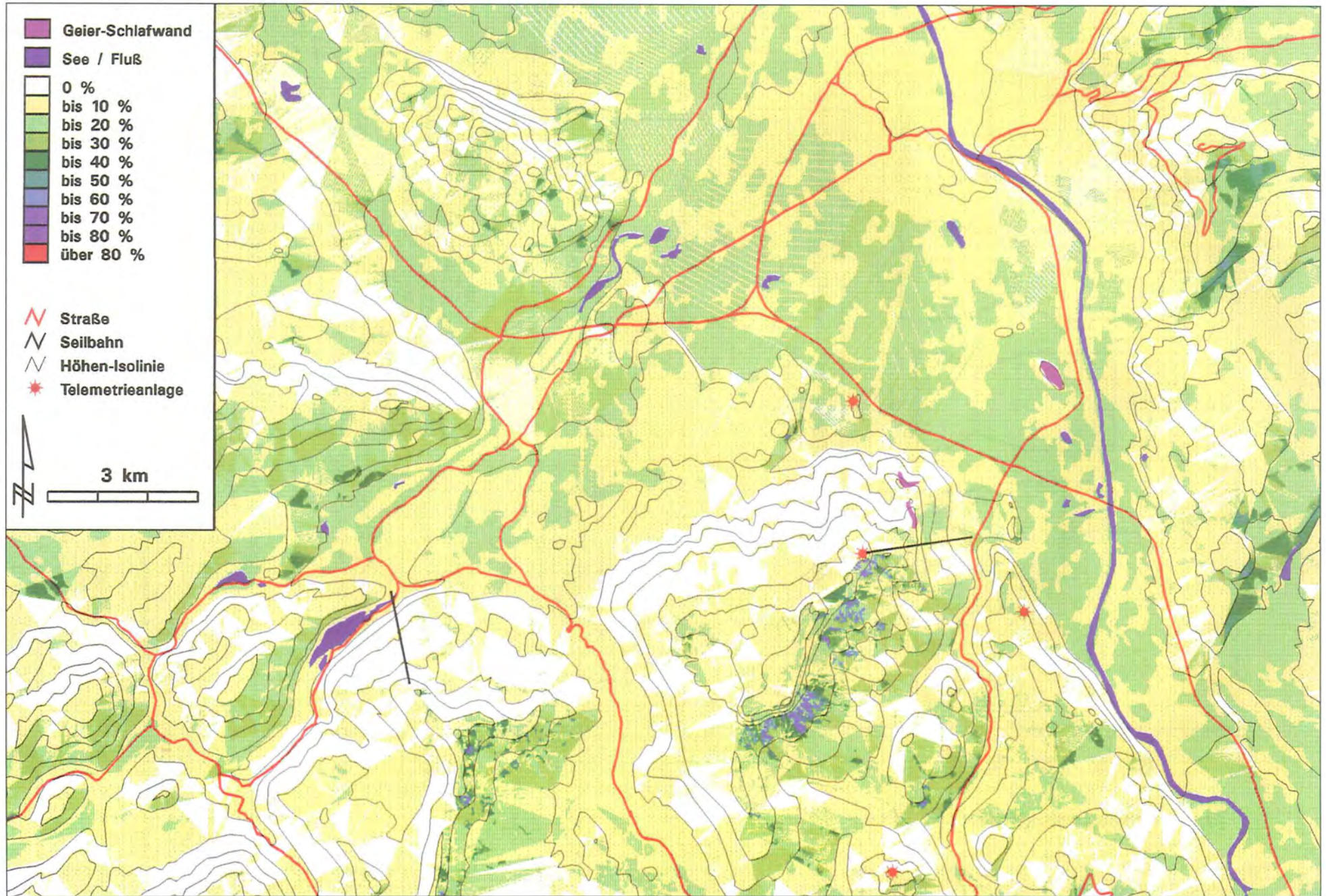


Abb. 46a: Thermikpotential Mitte September um 10 Uhr (MOZ).



Abb. 46b: Thermikpotential Mitte September um 14 Uhr (MOZ).

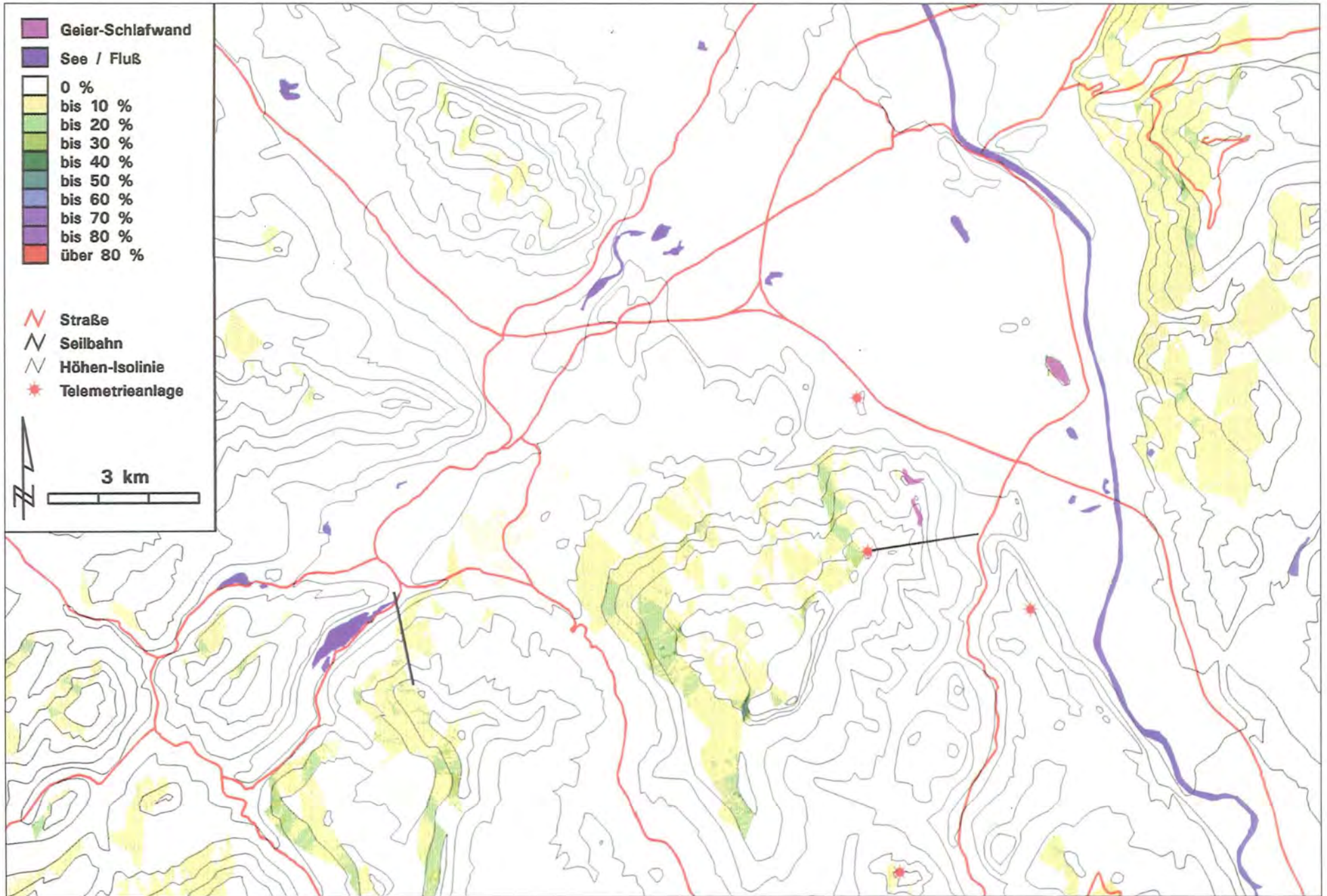


Abb. 46c: Thermikpotential Mitte September um 18 Uhr (MOZ).

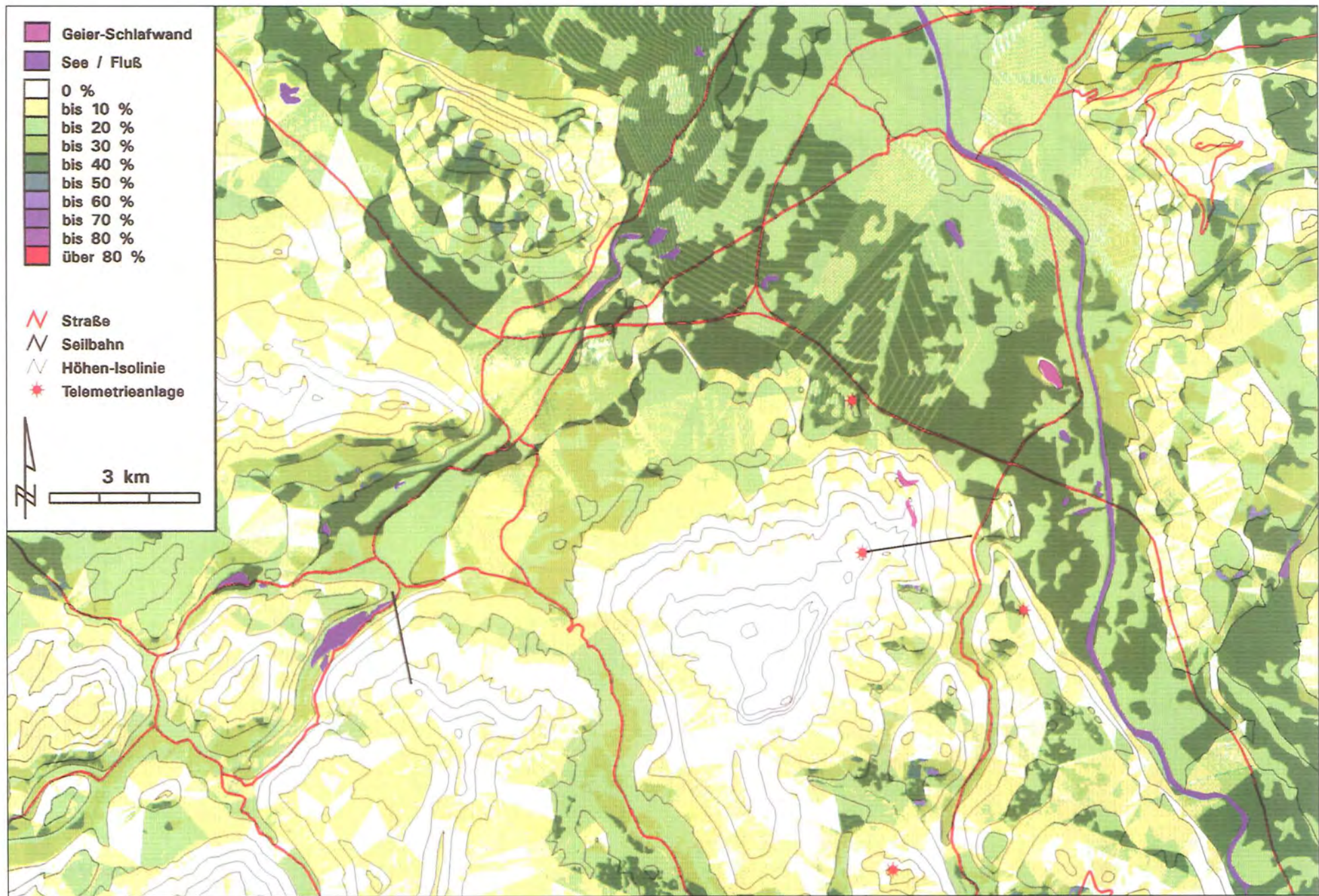


Abb. 47a: Thermikpotential eines Sonnentages im März (angenommene Schneegrenze bei 800 m NN).



Abb. 47b: Dynamisches Aufwindpotential im März (NNW-Wind mit 4,6 m/s sowie OSO-Wind mit 4,5 m/s; vgl. Text).

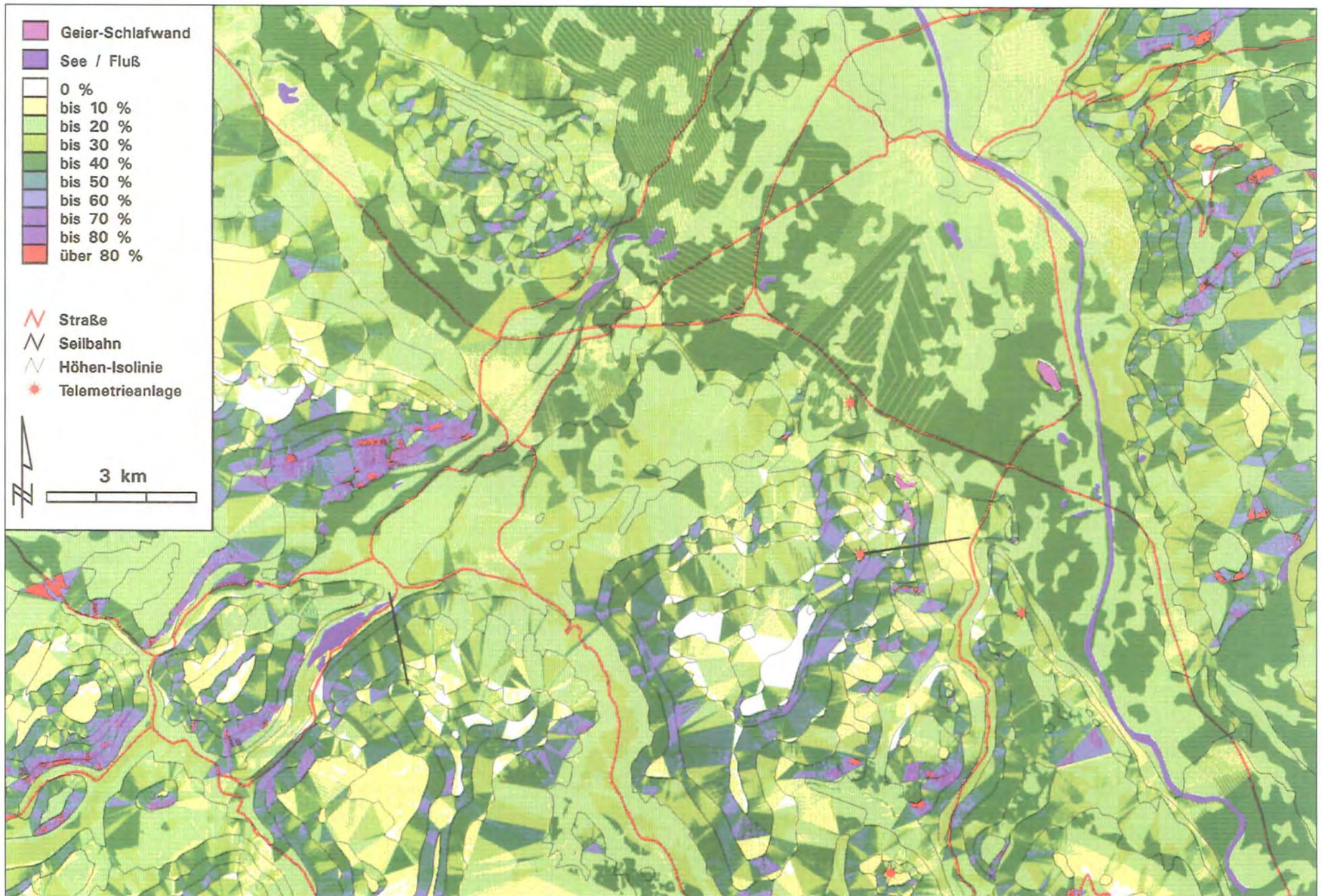


Abb. 47c: Gesamtes Aufwindpotential im März.

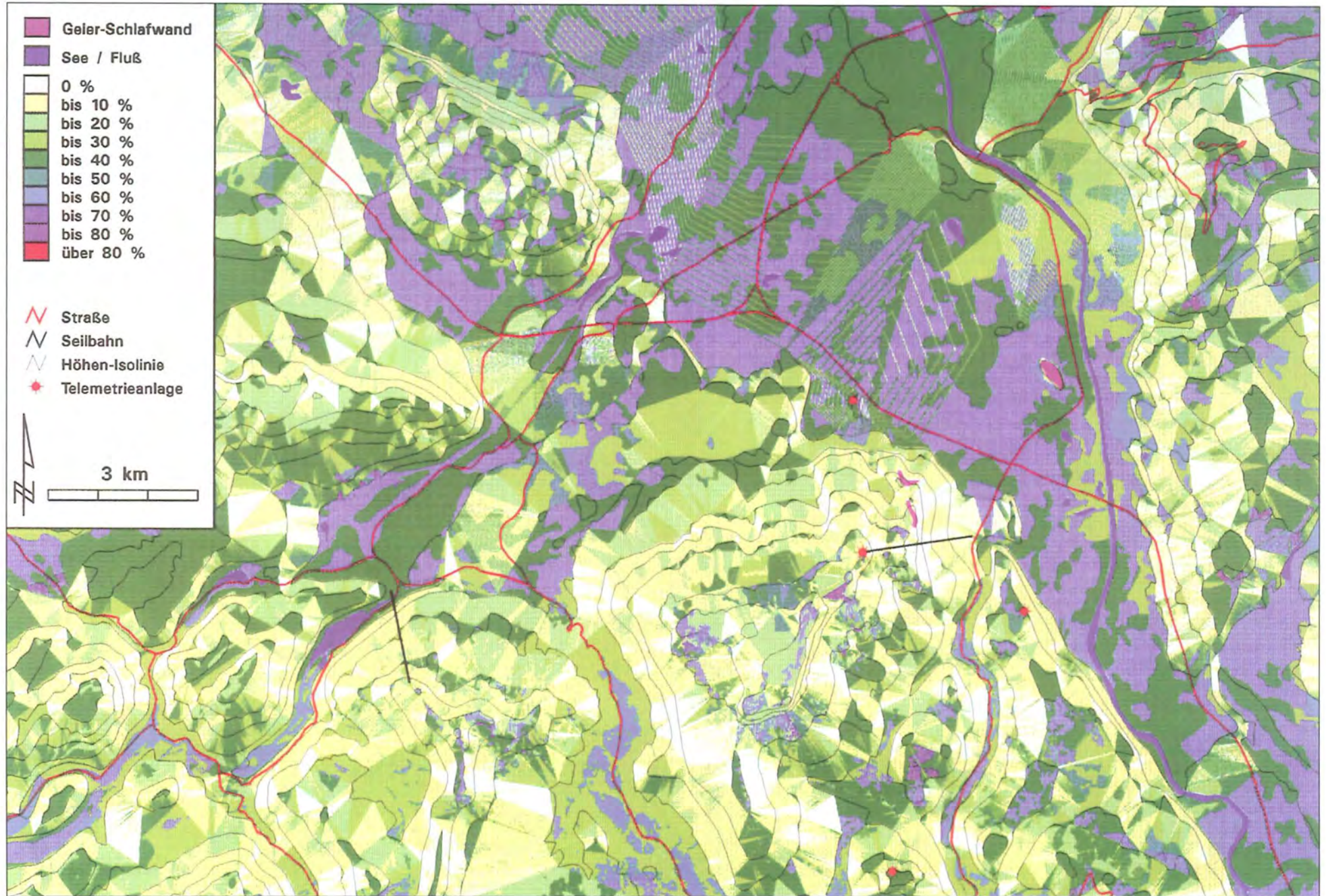


Abb. 48a: Thermikpotential eines Sonnentages im Juni (angenommene Schneegrenze bei 2500 m NN).

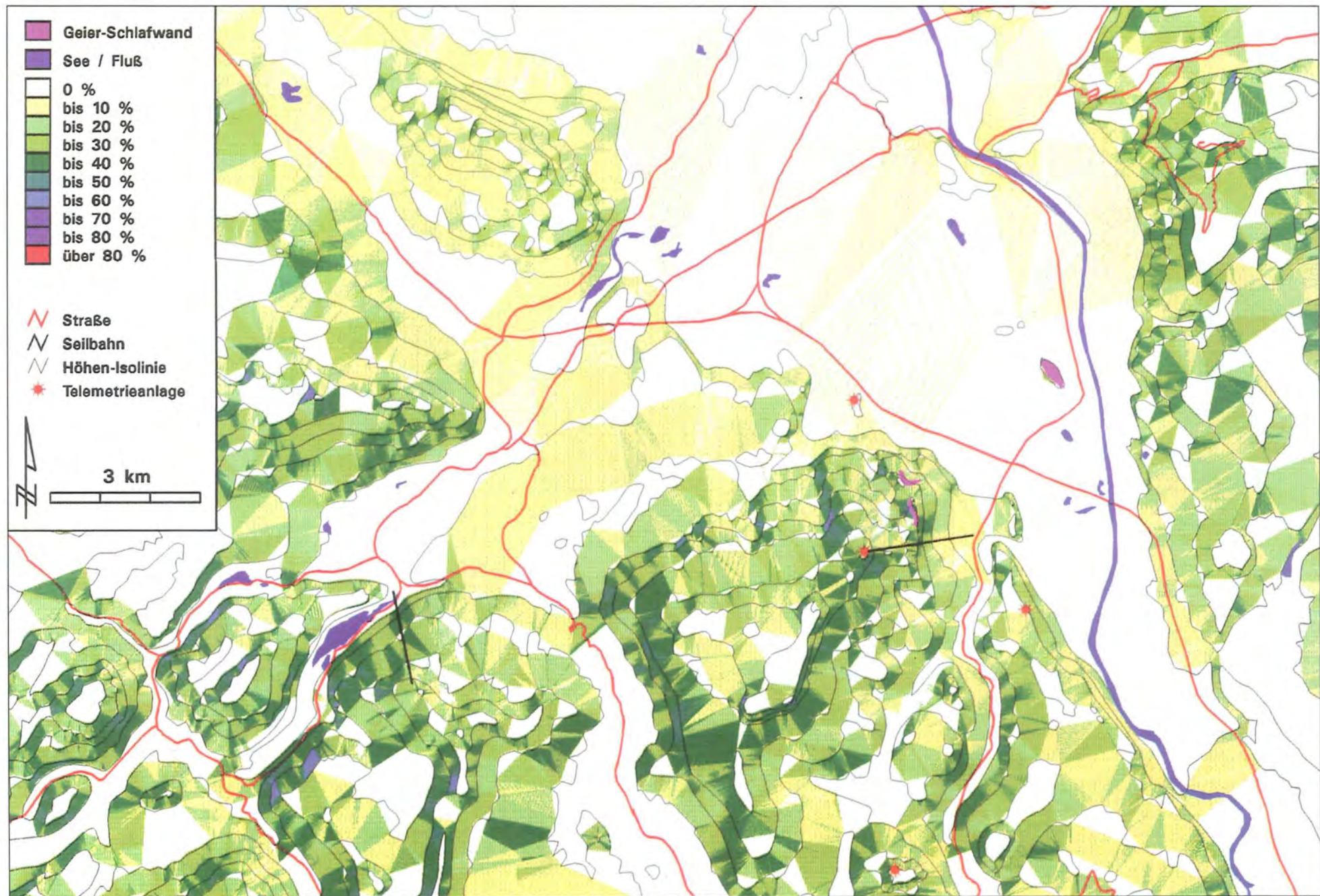


Abb. 48b: Dynamisches Aufwindpotential im Juni (NNW-Wind mit 4,2 m/s sowie OSO-Wind mit 3,8 m/s; vgl. Text).



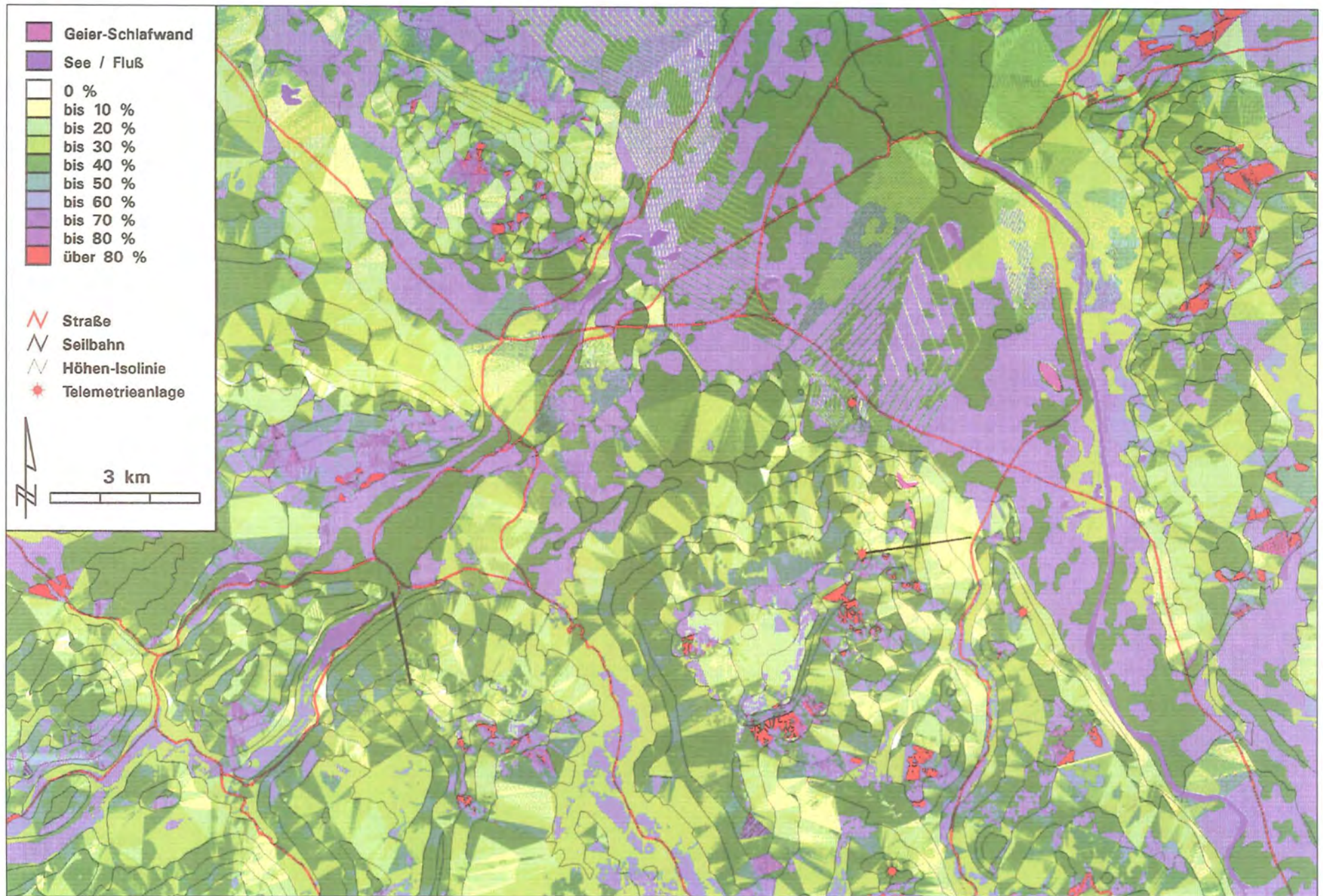


Abb. 48c: Gesamtes Aufwindpotential im Juni.



Abb. 49a: Thermikpotential eines Sonnentages im September (angenommene Schneegrenze bei 2800 m NN).



Abb. 49b: Dynamisches Aufwindpotential im September. (W-Wind mit 4,1 m/s sowie SO-Wind mit 4,5 m/s; vgl. Text).

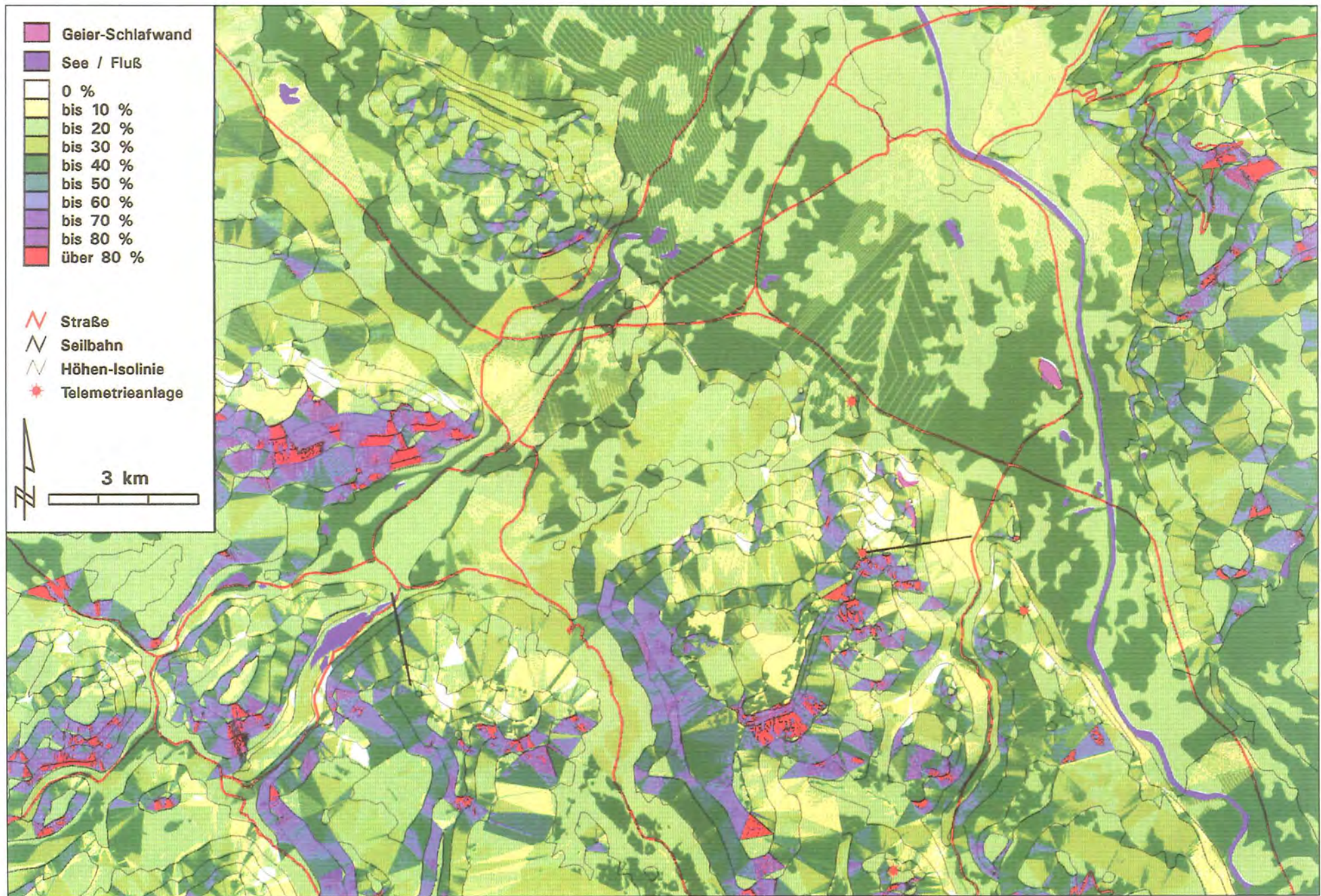


Abb. 49c: Gesamtes Aufwindpotential im September.

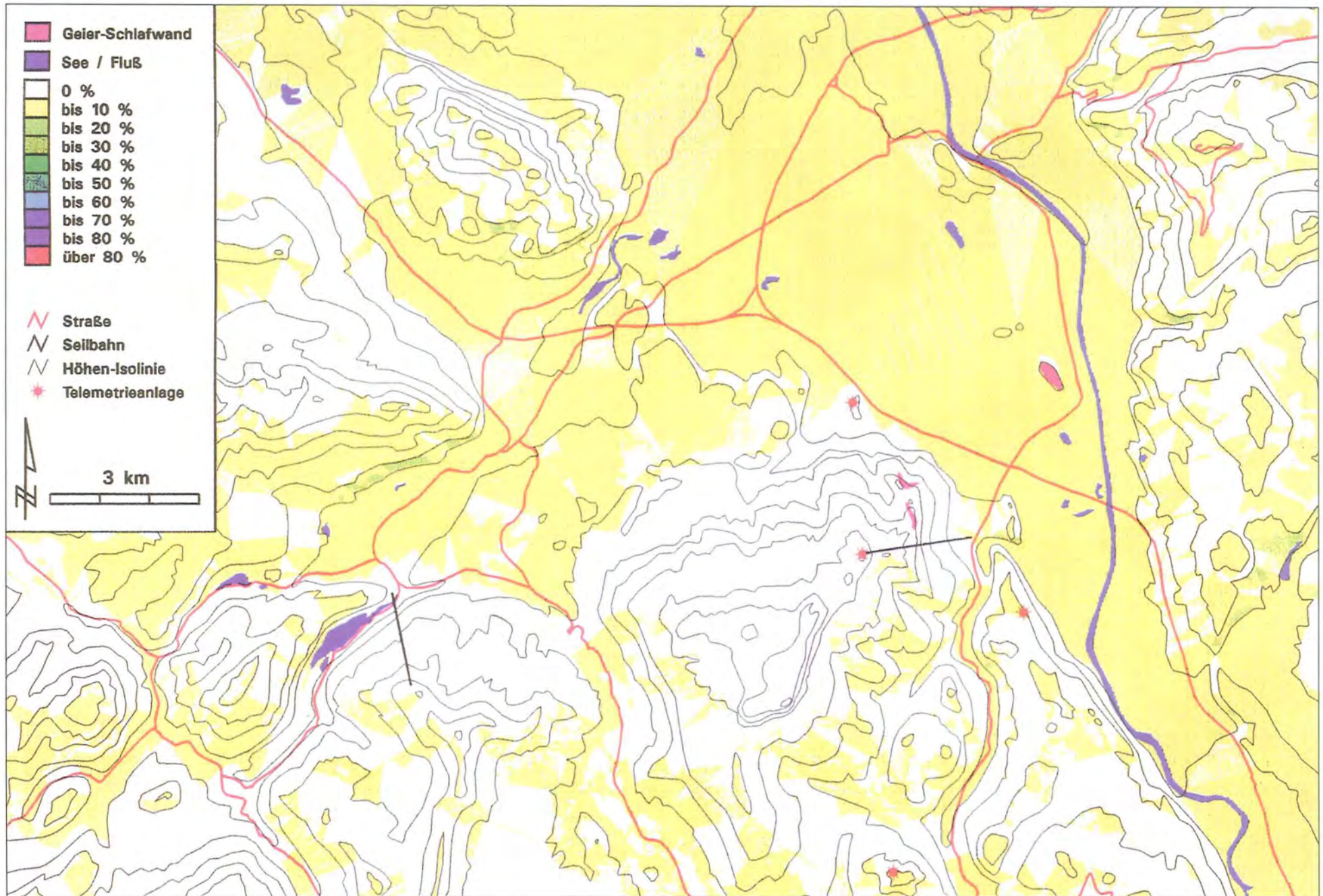


Abb. 50a: Thermikpotential eines Sonntages im Dezember (angenommene Schneegrenze bei 600 m NN).

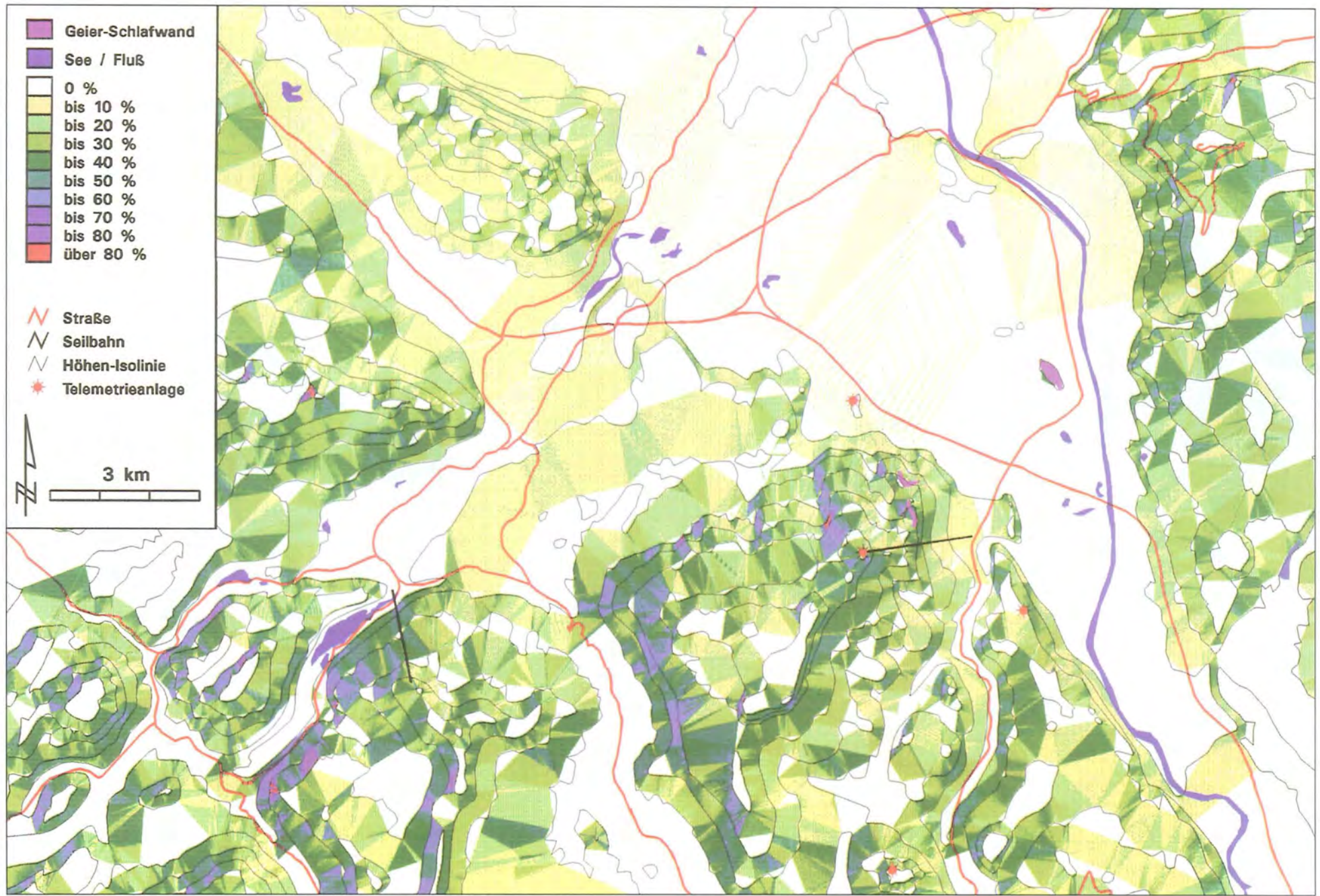


Abb. 50b: Dynamisches Aufwindpotential im Dezember (NNW-Wind mit 4,9 m/s sowie OSO-Wind mit 4,0 m/s; vgl. Text).



Abb. 50c: Gesamtes Aufwindpotential im Dezember.

Tab. 7: Thermikpotential im Tagesverlauf für verschiedene Monate.

Uhrzeit [MOZ]	März	Juni	September	Dezember
	Mittel / Maximum	Mittel / Maximum	Mittel / Maximum	Mittel / Maximum
10	4,6 / 60 %	11,0 / 72 %	7,2 / 65 %	0,3 / 47 %
12	11,0 / 72 %	28,3 / 77 %	15,8 / 73 %	1,8 / 62 %
14	7,4 / 70 %	15,3 / 81 %	10,7 / 75 %	1,1 / 68 %
16	1,8 / 73 %	6,7 / 82 %	3,1 / 73 %	0,1 / 77 %
18	0,0 / 0,0 %	2,8 / 84 %	0,5 / 79 %	0,0 / 0,0 %

Tab. 8: Aufwind-Bewertungen im Jahresverlauf (jeweils am 21.Tag des Monats, 12 Uhr MOZ).

Monat	Thermik		Hangaufwind		gesamter Aufwind	
	Mittelwert	Maximum	Mittelwert	Maximum	Mittelwert	Maximum
März	12,4 %	72 %	11,9 %	84 %	24,3 %	100 %
Juni	28,3 %	77 %	9,1 %	70 %	37,4 %	100 %
September	14,3 %	72 %	12,4 %	94 %	26,7 %	100 %
Dezember	1,8 %	62 %	11,5 %	95 %	13,3 %	100 %

Beim Vergleich der Flugbedingungen im Jahresverlauf (Abb. 47 – 50, Tab. 7, 8) fällt auf, daß das Thermikpotential (Abb. 47b – 50b) einen wesentlich ausgeprägteren Jahresgang zeigt als das Hangaufwindpotential. Im Dezember erreicht das Thermikpotential eine mittlere Bewertung von nur 2 %, während die entsprechende Bewertung im Juni mit 28 % etwa 14 mal so hoch liegt. Demgegenüber variiert das Hangaufwind-Potential in geringerem Maße: Der mittleren Bewertung von 12 % im September steht ein Wert von 9 % im Juni gegenüber. Entsprechend zeigt die Summenkurve aus Thermik- und Hangaufwindpotential ebenfalls einen ausgeprägten Jahresgang: Hier markieren Dezember (Bewertung 13 %) und Juni (Bewertung 37 %) die Spanne. Diesem ausgeprägten Gegensatz der Mittelwerte stehen durchaus vergleichbare Maximalwerte gegenüber (Tab. 7, 8). Im Sommer dominieren gute Thermikkonstellationen, die dann weitaus regelmäßiger verfügbar sind als dynamische Hangaufwinde (höhere Durchschnittsbewertung als Hangaufwinde). Dagegen spielt Thermik im Winter eine vernachlässigbare Rolle. Dynamische Hindernisaufwinde sind dann zwar ausgeprägter, können das Thermikdefizit aber nicht vollständig kompensieren. Der Vergleich der Daten zeigt aber, daß zu allen Jahreszeiten kleinräumig Bereiche mit guten Flugbedingungen zur Verfügung stehen.

#### 4.8 Populationsentwicklung und Überlebensfähigkeit der Population

Die Bestandsentwicklung der Geierkolonie des Tierparks „Hellbrunn“ zeigt deutliche Fluktuationen zwischen 10 und 19 Individuen, die sich durch eine Reihe von Zu- und Abgängen erklären (Abb. 51). Die Zugänge

gehen auf Brut, Immigration (Zuflug aus der freien Wildbahn) sowie Bestandsstützung (s. Kap. 4.9) zurück, die Abgänge kommen durch Unfall, Krankheit, Emigration und Einfangen nach mißglückten Eingliederungsversuchen zustande. Durch Brut wurden zwischen 0 und 4 ausgeflogene Jungvögel pro Jahr erzielt; dabei wird davon ausgegangen, daß alle, im Bereich der Kolonie beobachteten Jungvögel auf Eigenbruten am Untersberg zurückgehen, auch wenn aufgrund der Beobachtungsbedingungen am Untersberg weder alle Brutpaare, noch die Gründe für den stark unterschiedlichen Bruterfolg bekannt sind. Es ist zwar aus südeuropäischen Populationen bekannt, daß Jungvögel im ersten Herbst ihr Brutgebiet verlassen (GRIESINGER im Druck, BERTHOLD et al. 1991, SCHWAB 1994); es gibt aber keinerlei Anhaltspunkte für nördliche Zugrichtungen im Herbst (BERNIS 1983, GENERO 1985, SUSIĆ 1984). Aufgrund der Koloniegröße und der Altersstruktur der Kolonie kommen mehr als 4 Brutpaare nicht infrage. Unter Berücksichtigung dieser Interpretation ergibt sich ein mittlerer Bruterfolg von 40 – 50 % (Einzeljahre: 0 – 100 %). Bei einer durchschnittlichen Gruppengröße von 13 Individuen entspricht dies einer mittleren Produktivität von ca. 8 %. Da in mehreren Fällen Juvenile im Spätherbst während einer längeren Schlechtwetterlage entkräftet aufgefunden wurden, muß angenommen werden, daß Jungvögel nach dem Ausflug im Verlauf des ersten Winters ein hohes Mortalitätsrisiko haben. Geht man davon aus, daß verschollene Jungvögel den Weg ins Winterquartier nach Kroatien nicht allein bewältigen (ihre „wilden“ Artgenossen haben zu diesem Zeitpunkt das Gebiet bereits verlassen), so betrug die Mortalitätsrate der Juvenilen im ersten Jahr zwischen 40 % und 65 %.

Die geringe Populationsgröße wirft die Frage nach der Überlebensfähigkeit der Geierkolonie auf. Gerade Kleins-



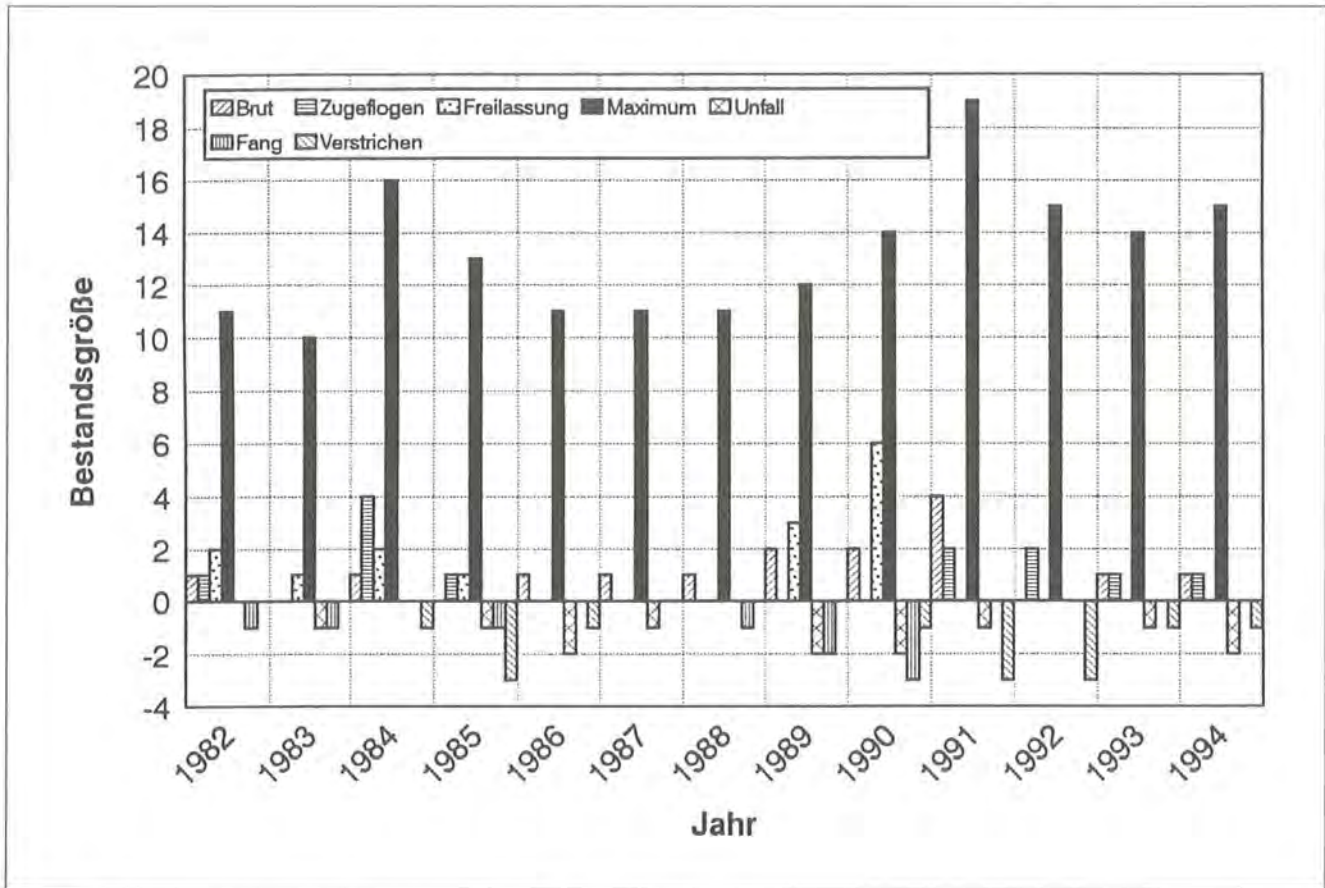


Abb. 51: Populationsentwicklung der Geierkolonie mit Zu- und Abgängen.

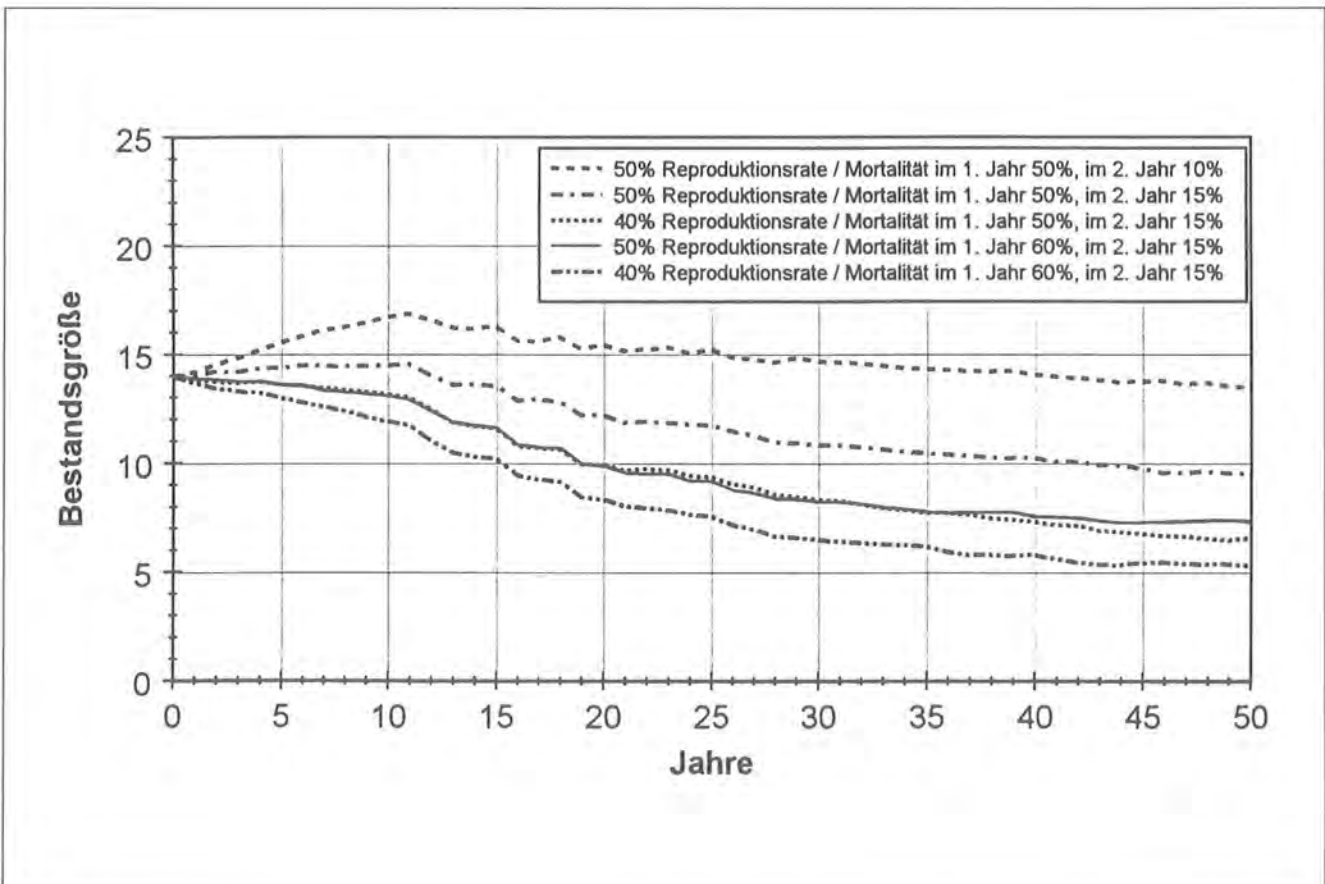


Abb. 52: Populationsentwicklung bei verschiedenen Kombinationen der möglichen Reproduktions- und Mortalitätsraten.

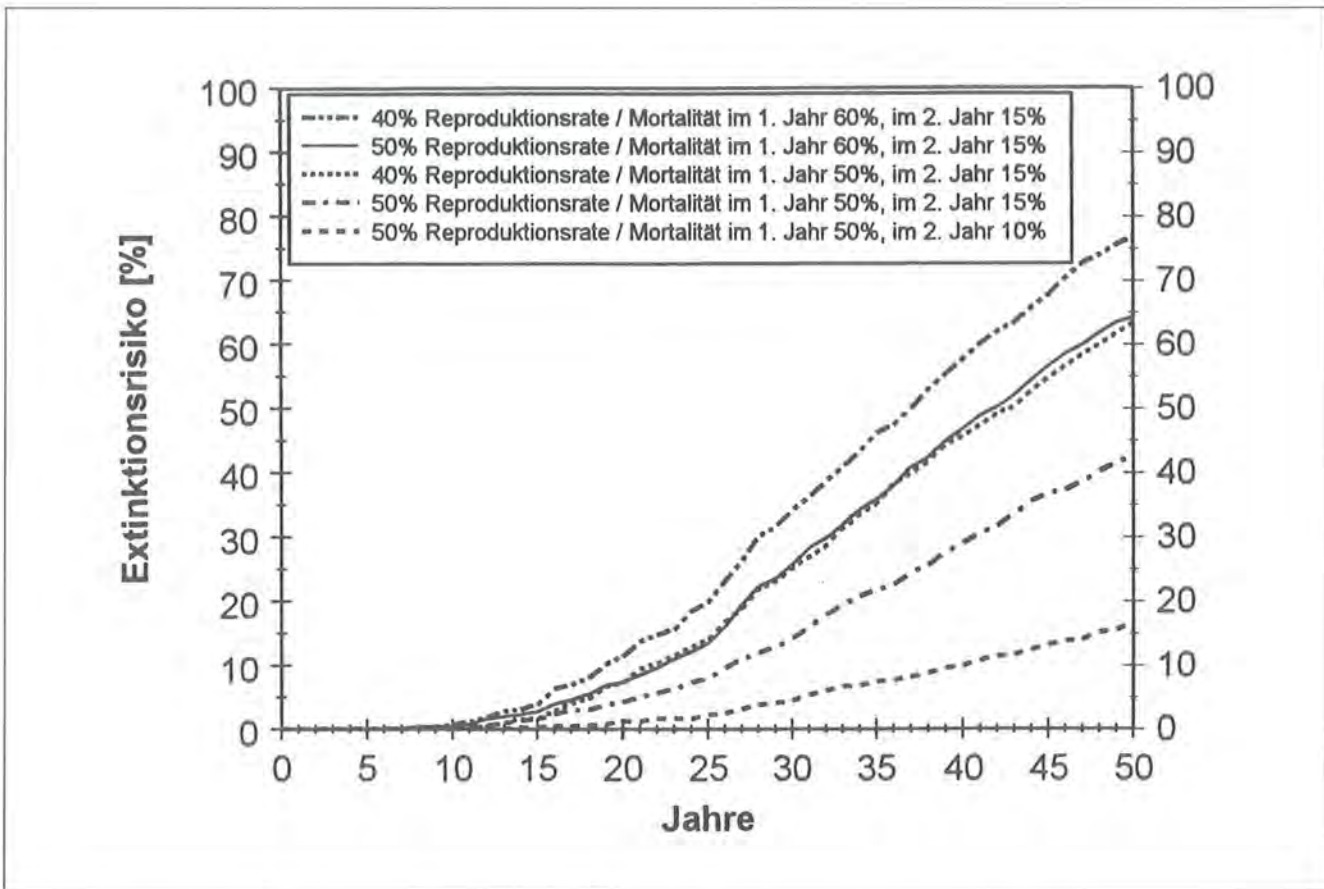


Abb. 53: Extinktionsrisiko bei verschiedenen Kombinationen der möglichen Reproduktions- und Mortalitätsraten.

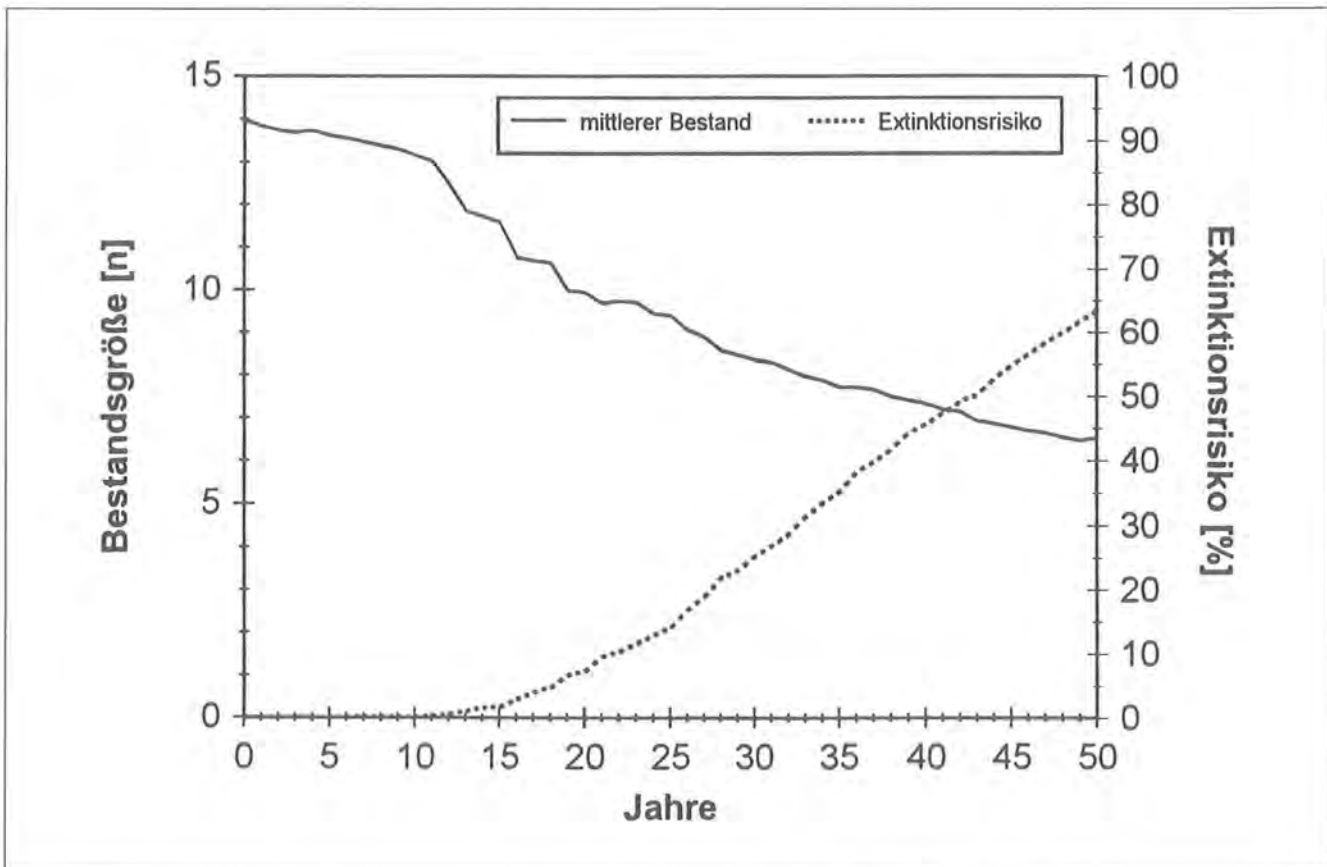


Abb. 54: Populationsentwicklung und Extinktionsrisiko bei einer Reproduktionsrate von 50 % sowie Mortalitätsraten von 50 % im 1. Jahr, 15 % im 2. Jahr, 10 % im 3. Jahr, 8 % im 4. Jahr und 6 % ab dem 5. Lebensjahr.

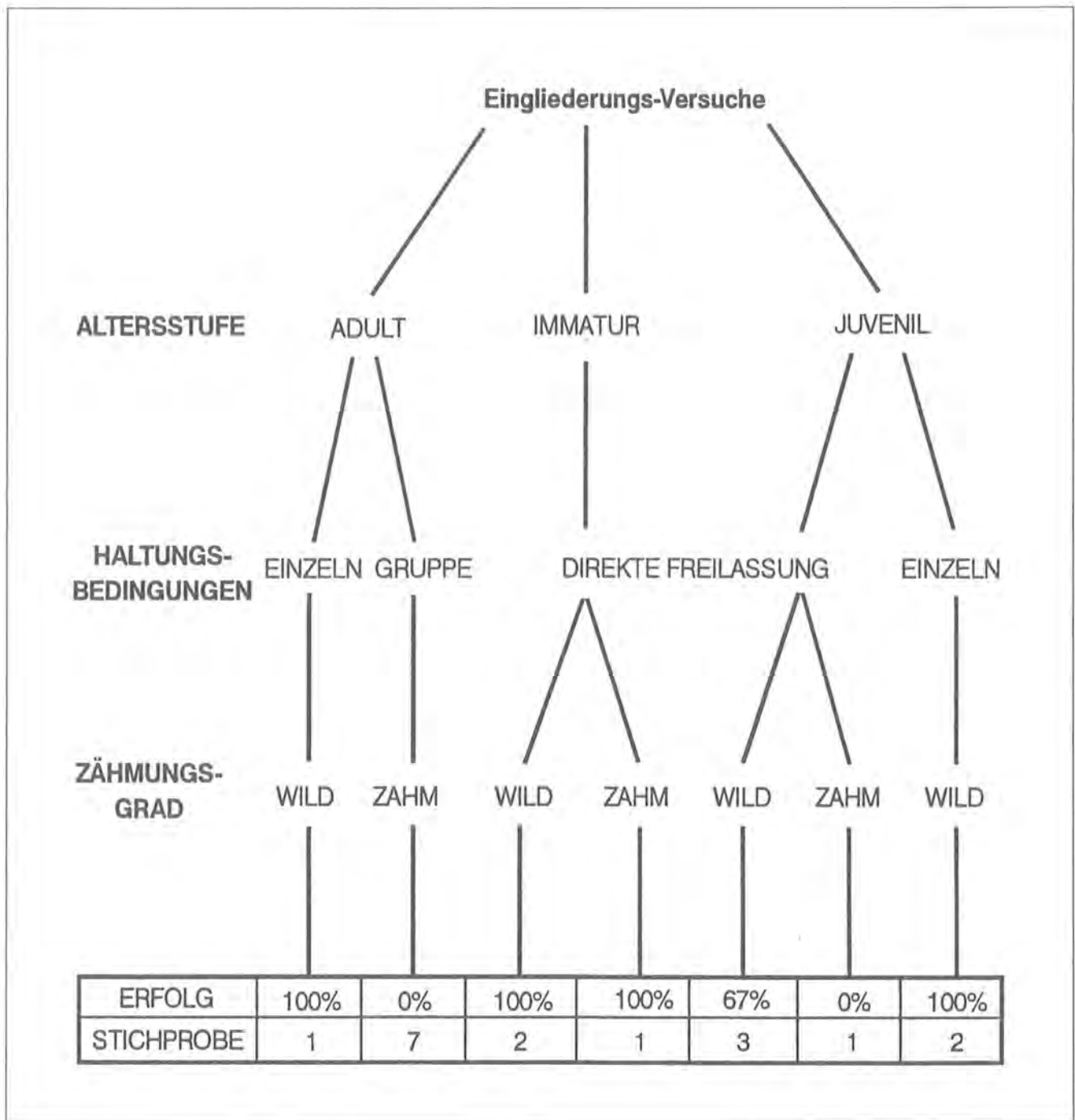


Abb. 55: Ergebnisse der Integrationsversuche.

tpopulationen haben aufgrund stochastischer Einflüsse, unvorhersehbarer Habitatveränderungen, Naturkatastrophen oder Gendriftprozesse ein erhebliches Extinktionsrisiko (SHAFFER 1981, GOODMAN 1987). Im vorliegenden Fall müssen genetische Effekte (wie z. B. Inzuchtprobleme) aufgrund fehlender Daten über die Genomzusammensetzung der einzelnen Kolonienmitglieder unberücksichtigt bleiben. Die sehr unterschiedliche Herkunft der Geier spricht aber für eine hohe genetische Diversität innerhalb der Kolonie. Alle Analysen zur Überlebensfähigkeit der Geierkolonie wurden mit dem Programm VORTEX erstellt (s. Kap. 3.12).

Abb. 52 zeigt die langfristige Populationsentwicklung

für mögliche Kombinationen der populationsbiologischen Parameter. Es fällt auf, daß sich nur für die günstigste Kombination der beobachteten bzw. angenommenen Populationsparameter ein stabiles Bestandsniveau einstellt. Für alle anderen Szenarien stellt sich ein leicht bis mäßig fallender Trend mit einem Endbestand von 5 – 10 Individuen ein. Dies bestätigt Abb. 53, in der für dieselben Szenarien das Extinktionsrisiko aufgetragen ist: je nach Fallbeispiel ergibt sich ein Risiko von 15 – 75% für das Erlöschen der Kolonie innerhalb der nächsten 50 Jahre. Nach den vorliegenden Daten zur Bestandsentwicklung, zur Reproduktion und zur Mortalität muß das Szenario in Abb. 54 als das

wahrscheinlichste angesehen werden; ohne Managementmaßnahmen kann somit ein langfristiges Überleben der Kolonie nicht als gesichert gelten.

#### 4.9 Integrationsprozesse freigelassener Individuen

Im Rahmen von Bestandsstützungsmaßnahmen sind eine Reihe von Integrationsversuchen freigelassener Geier in die bestehende Gruppe durchgeführt worden. Sie sollten dazu dienen, den Integrationserfolg in Abhängigkeit vom Alter der Tiere und den Haltungsbedingungen vor der Freilassung zu untersuchen und dienen auch einer Methodenabwägung bzw. -verifizierung für die Wiedereinbürgerung von Bartgeiern in den Alpen (BÖGEL & MÄCK 1989, FREY & WALTER 1989). Die entsprechenden Ergebnisse sind in Abb. 55 zusammengefaßt. Es zeigt sich, daß das Alter einen überragenden Einfluß auf den Integrationserfolg hat: während sich 77,8 % aller immaturren Vögel unter 2 Jahren erfolgreich integrieren konnten, lag der Integrationserfolg von Adultvögeln nur bei 12,5 %. Dabei waren mangelnde Kondition der Flugmuskeln oder auch mangelnde Flugmotivation von ausschlaggebender Bedeutung. Trotz ihrer hohen Lernfähigkeit und der Vermeidung jeder Art von Käfighaltung hatten Juvenile keinen höheren Integrationserfolg als Immaturvögel mit einem Alter von weniger als 2 Jahren. Dies ist möglicherweise auf die große Unerfahrenheit von Jungtieren zurückzuführen, die im Gegensatz zu älteren Artgenossen beim Fliegen immer wieder soviel Höhe verlieren, bis sie schließlich im Talboden „festsitzen“ und dann leicht in unfallträchtige Situationen kommen. So verunglückten beispielsweise zwei Juvenilvögel in den Raubkatzengehegen des Zoos. Auffallend war auch der ausgeprägte Einfluß des „Zähmungsgrades“: Während nur 11,1 % der Wildvögel scheiterten, verliefen die Integrationsversuche von Vögeln mit mangelnder Scheu vor Menschen zu 88,9 % negativ.

Von besonderem Einfluß auf den Integrationsprozeß war die Sitzwartenwahl während der ersten Wochen nach der Freilassung: Vögel, die Sitzwarten ohne Sichtkontakt zu ihren Artgenossen wählten, verloren den Kontakt zur Gruppe und scheiterten in der Regel. In diesem Zusammenhang ist auch der erste gemeinsame Flug mit der Gruppe von zentraler Bedeutung, bei dem es aus Konditionsmangel häufig zum Kontaktverlust zur Gruppe kommt. Auch alle Formen von Stressfaktoren bei der Freilassung erhöhen das Risiko eines unkontrollierten Abstreichens der Vögel aus dem Einflußbereich der Geiergruppe und verringern die Integrationsaussichten drastisch. Durch eine Freilassung in der späten Dämmerung erreicht man die Beruhigung des Vogels über Nacht und ein gezieltes und schrittweises Erkunden der neuen Umgebung. Eine Freilassung an Tagen mit eher ungünstigen Flugbedingungen kann das Risiko eines frühzeitigen Verstreichens der freigelassenen Vögel ebenfalls reduzieren und so den Kontaktaufbau zur Gruppe fördern.

## 5 Diskussion

### 5.1 Raumnutzung und Habitatwahl

Die Flugvoraussetzungen und das Flugverhalten haben einen erheblichen Einfluß auf das Energiebudget der Gänsegeier (vgl. Kap. 5.2.1 und 5.2.3). Deshalb ist die Fähigkeit zur effizienten Ausnutzung von Aufwinden neben dem Nahrungsangebot von zentraler Bedeutung für die Besiedlungsfähigkeit unterschiedlicher geografischer Regionen durch Geier (BÖGEL 1993). In diesem Zusammenhang ist die Frage, inwiefern Geier auf thermische Aufwinde angewiesen sind, von besonderer Bedeutung, weil dies weitreichende Konsequenzen für Artenschutz- und Managementkonzepte in den nördlichen Breiten hat. So wurde beispielsweise diskutiert, ob nicht eine Klimaverschlechterung mitverantwortlich für das Aussterben des Bartgeiers (*Gypaetus barbatus*) in den Alpen war (HALLER 1983).

Die vorliegenden Ergebnisse haben gezeigt, daß Gänsegeier ihren Aktionsraum nicht ausschließlich gemäß der bestehenden Thermikverhältnisse nutzen. Das Thermikpotential allein würde keine ganzjährige Besiedlung der Alpen ermöglichen (vgl. Kap. 4.1, Kap. 4.3 und Kap. 4.7). Gänsegeier sind vielmehr in der Lage, mangelnde thermische Aufwinde durch dynamische Hindernisaufwinde zu ersetzen (s. Kap. 4.3 und 5.2.1). Dies bedeutet aber nicht, daß thermisch begünstigte Bereiche innerhalb des Aktionsraums keine energetischen Vorteile mit sich bringen oder daß Geier – bei ansonsten qualitativ gleichwertiger Ressourcenverteilung (Nahrungsangebot, Bruthabitat, etc.) – derartig begünstigte Regionen der Alpen nicht präferieren und zuerst besiedeln sollten. So sind z. B. die Schlafwände am Untersberg nicht nur durch den kürzesten Abstand zum Zoo als sicherer Nahrungsquelle ausgezeichnet (vgl. Kap. 5.2.3); sie bieten zusätzlich energetische Vorteile, weil sie mit ihrer Ost- bzw. Nordost-Exposition und ihrer Steilheit bereits direkt nach Sonnenaufgang günstige Einstrahlverhältnisse bieten. Auch ihre Lage ca. 500 m über dem Talgrund, also oberhalb der auch im Sommer vorhandenen Talinversion, ermöglicht eine Thermikablösung bereits in den frühen Morgenstunden. Zudem ermöglichen die leicht erreichbaren Rückflanken (oberer Rosittentalkessel) sehr effiziente Hindernisaufwinde bei NW-Winden, die bei Schlechtwetter-situationen überwiegen. Gerade die kleinräumige Nachbarschaft von geomorphologischen Strukturen, die bei unterschiedlichsten Wetterlagen vorteilhafte Flugbedingungen ermöglichen, zeichnet die gewählten Schlaf- und Brutwände aus. Einen derartigen Zusammenhang postuliert auch SCHWAB (1994) für Gänsegeierkolonien am Südabfall der spanischen Pyrenäen.

Leider war die Übertragung des Modells zur Thermikbewertung auf den Alpenbogen mangels einer geeigneten Datenbasis nicht möglich (s. Kap. 5.5.2). KALCKREUTH (1972) hat aber aus vieljähriger eigener Flugerfahrung die verschiedenen Bereiche der Alpen bezüglich ihrer Eignung für den Segelflugsport verglichen. Aufgrund der charakteristischen Großwetterlage,

den vorhandenen Wetterscheiden, des Geländereiefs und der Bodenbedeckung kommt er zu dem Schluß, daß die Zentralalpen günstigere Thermikverhältnisse aufweisen als die nördlichen und südlichen Randgebirge. Dabei spielen die erheblich geringeren Niederschläge, die Geomorphologie (weniger steile und erodierte Hänge), die Bodenbedeckung (weniger freiliegender Fels), die größere Höhenlage und die saubere Luft (höhere solare Einstrahlung) eine wesentliche Rolle. Demgegenüber bieten die Gebirge am Alpennordrand aufgrund ihrer massigen, bodenfreien Kalkwände im Gipfelbereich weniger ausgeprägte Thermik, die jedoch aufgrund ihres Nadelwaldreichtums (Wärmespeicherkapazität) relativ gleichmäßig über den Tag verteilt ist. Die südlichen Randgebirge bieten aufgrund ihres Laubwaldreichtums (hoher Verdunstungsverlust) und des starken Einflusses stabiler mediterraner Luftschichtungen weniger gute Voraussetzungen; ihre trockenen Böden in den oberen Hangbereichen können sich aber schnell erwärmen und so gute Thermikkonstellationen bewirken, die aber wenig konstant sind. Auch entlang der West-Ost Achse gibt es ausgeprägte Unterschiede: Vom ungünstigen West- und Nordwest-Stau im Bereich Hoch-Savoyen mit hohen Niederschlägen und großen vergletscherten Arealen über das klimatisch und thermisch besonders begünstigte Oberengadin bis hin zum Gebiet der Hohen Tauern, das aufgrund seiner Lage im inneralpinen Bereich und seiner noch guten Abschirmung gegen südliche Luftströmungen ebenfalls überdurchschnittliche Voraussetzungen bietet.

Vergleicht man diese flugtechnischen Voraussetzungen mit der Verbreitung des Gänsegeiers im Alpenraum (GENERO 1985), so ergeben sich einige interessante Übereinstimmungen: Einerseits die Deckung mit dem Reliktvorkommen des Gänsegeiers als Sommerpopulation in den Hohen Tauern, andererseits die auffallend seltenen Nachweise in den Südalpen im Bereich zwischen Brutgebiet und Sommerhabitat. Die Thermikverhältnisse könnten also neben den verfügbaren Nahrungsressourcen (GENERO 1985, SUSIĆ 1984, TRATZ 1953, 1954) eine weitere Erklärung für diesen Sachverhalt bieten. Der Umstand, daß andere thermikbegünstigte Alpenbereiche (z. B. Oberengadin) unbesiedelt sind, kann als weiteres Indiz dafür gelten, daß die Thermikverhältnisse nicht primär die Besiedlung steuern. In wieweit die größere Entfernung zum Brutgebiet dabei eine Rolle spielt, muß an dieser Stelle ungeklärt bleiben.

Auch für das Projekt zur Wiederansiedlung des Bartgeiers (*Gypaetus barbatus*) in den Alpen besitzt diese Beurteilung eine gewisse Relevanz, zumal mindestens ein Freilassungsgebiet (Hochsavoyen) in einem thermisch wenig begünstigten Alpenbereich liegt. Auch hier legt jedoch die frühere Verbreitung des Bartgeiers nahe, daß die Thermikvoraussetzungen allein die Verbreitung der Art (GLUTZ et al. 1971) nicht begründen können.

Insgesamt kann gesagt werden, daß die Flugvoraussetzungen im Alpenraum keine hinreichende Erklärung

für das heutige Verbreitungsareal des Gänsegeiers liefern. Die Verteilung der (verwertbaren) Nahrungsressourcen ist diesbezüglich ausschlaggebend. Die Ergebnisse zur Flugbiologie des Gänsegeiers deuten vielmehr darauf hin, daß die Kombination ökoethologischer und physiologischer Anpassungen (s. Kap. 5.2 und Kap. 5.3) die Voraussetzung für eine Besiedlung der Alpen darstellen.

Vergleicht man die Daten bezüglich der Aktionsraumgrößen dieser Studie mit den an anderen Arten der Gattung *Gyps* gewonnenen Ergebnissen, so fällt auf, daß die Aktionsraumgrößen stark von der Nahrungsbeschaffung abhängen. Je direkter die Abhängigkeit von menschlichen Nutztieren, desto kleiner sind die Home Ranges (eigene Ergebnisse, BOSHOFF et al. 1984). Bei Abhängigkeit von extensiver Weidewirtschaft (Hohe Tauern, Spanien) vergrößern sich die Home Ranges etwa um den Faktor 5 (MÄCK & BÖGEL 1989, KÖNIG 1974). Bei den von ziehenden Wildtieren abhängigen Arten in Afrika können dagegen die Aktionsraumgrößen das 20-fache erreichen (PENNYCUICK 1983). PENNYCUICK (1973) hat diesen Zusammenhang auch beim Vergleich afrikanischer Arten bestätigt.

## 5.2 Ökoethologische Anpassungen

### 5.2.1 Flugbiologische Anpassungen

Wie in Kap. 5.2.3 diskutiert, ist Segelflug im Vergleich zu Schlagflug bei Gänsegeiern mit erheblichen Energieeinsparungen verbunden. Deshalb ist die Fähigkeit zur effizienten Ausnutzung von Aufwinden neben dem Nahrungsangebot von zentraler Bedeutung für die Besiedlungsfähigkeit unterschiedlicher geografischer Regionen durch Geier (s. Kap. 5.1).

Die in Kap. 4.3 dargestellten Ergebnisse zeigen, daß Gänsegeier in hohem Maße fähig sind, mangelnde thermische Aufwinde durch Hindernisaufwinde und entsprechend angepaßtes Flugverhalten zu ersetzen. HOUSTON (1983) bestätigt dies für den Schneegeier (*Gyps himalayensis*), der eine klimatisch vergleichbare Region besiedelt. Auch CONE (1962) und ELKINS (1988) weisen auf die Rolle von Hindernisaufwinden hin und SACHS (1993) behandelt den Sonderfall der Albatrosse, die dynamische Aufwinde über dem Wellengang der Weltmeere ausnutzen. Nach BERTHOLD (1990) sowie KERLINGER (1989) zeigt das Zugverhalten von Gleitfliegern aus diesem Grund auffällige Korrelationen mit orografischen Gegebenheiten, Dynamische Hindernisaufwinde sind allerdings im Gegensatz zu thermischen Aufwinden nicht richtungsfrei und ermöglichen somit keine beliebigen Flugrichtungen. Dies kann bei der Nahrungssuche mit Nachteilen verbunden sein, weil der abfliegbare Bereich des Aktionsraums aufgrund der herrschenden Windverhältnisse eingeschränkt ist oder eine Rückkehr am selben Tag zur Schlafwand oder zum Horst unmöglich sein kann. So berichtet auch SCHWAB (1994) von Gegenwindsitua-

tionen (40 km/h), die es den Gänsegeiern in Einzelfällen unmöglich machten, abends ihre Schlaf- und Brutwände am Südfall der spanischen Pyrenäen zu erreichen. BOSHOFF et al. (1984) beobachteten vergleichbare Situationen auch beim Kapgeier (*Gyps coprotheres*). Thermische Aufwinde sind zwar ebenfalls nicht gleichmäßig im Gebiet verteilt; ihre Ausprägung hängt von der Einstrahlungsgeometrie und -dauer der Sonne, der Bodenbedeckung und -zusammensetzung, sowie von ablösungsfördernden Geländestrukturen ab (vgl. Kap. 5.5.2). Thermik ermöglicht aber i.d.R. ein Steigen bis in große Höhen mit anschließendem Gleitflug zum nächsten Thermikschlauch. Dabei ist das Gleitverhältnis bzw. der Gleitwinkel von besonderer Bedeutung. Nach Formel 25 (s. Kap. 3.11) kann eine Kontrolle des Gleitwinkels über verschiedene Mechanismen erfolgen: a) durch die Veränderung der Flügelgeometrie bzw. der Flügelfläche, b) durch eine Veränderung des Luftwiderstands, sowie c) durch die Veränderung des Anstellwinkels. So bewirkt beispielsweise das Anwinkeln der Schwingen eine Erhöhung des Gleitwinkels, weil es durch das verminderte Streckungsverhältnis der Flügel zu einer verminderten, effektiven Flügelfläche kommt (Verringerung des Auftriebs-Beiwerts  $c_A$ ). Auch das Exponieren von Hals und Beinen erreicht durch Erhöhung des Widerstands-Beiwerts  $c_w$  dieselbe Wirkung (Funktion als Luftbremse). Schließlich werden die Widerstands-Beiwerte auch durch die Veränderung der Anstellwinkel der Flügel beeinflusst (NACHTIGALL 1979, TUCKER 1988). So kann beispielsweise eine Verringerung des Gleitwinkels auch durch die Vergrößerung des Anstellwinkels erreicht werden (Erhöhung des Auftriebs-Beiwerts  $c_A$ ). Dadurch vergrößert sich allerdings die Minimalgeschwindigkeit, bei der es zum Strömungsabriß kommt (Auftrieb bricht zusammen). Nach NACHTIGALL (1980) kommt dabei dem Daumenfittich (Alula) eine besondere Steuerfunktion zu; er verringert die Minimalgeschwindigkeit und verschiebt somit den Strömungsabriß in Richtung größerer Anstellwinkel bzw. geringerer Fluggeschwindigkeiten. Üblicherweise wird die Leistungsfähigkeit im Gleitflug als Funktion der Sinkgeschwindigkeit von der Horizontalgeschwindigkeit dargestellt (Gleitpolare, s. Kap. 4.2). Bei starren Flügelgeometrien ist die Gleitzahl durch die Fluggeschwindigkeit festgelegt. Vögel können aber ihre Flügelgeometrie variieren und so ihre Gleitzahl unabhängig von der Fluggeschwindigkeit verändern. TUCKER (1987) hat den großen Einfluß variabler Flügelgeometrie auf die einzelnen Widerstands-Komponenten quantifiziert und darauf hingewiesen, daß Vögel dadurch ihre Gleitpolare in weiten Grenzen verändern können. TUCKER (1987) plädiert deshalb dafür, die Leistungsfähigkeit eines Vogels im Gleitflug durch die eingrenzenden Polaren darzustellen und als Fläche zu interpretieren. Dadurch wird zwar die gesamte Spanne möglicher Gleitflüge abgebildet, die eingrenzende Polare für den Sturzflug ist aber meßtechnisch kaum zugänglich. Messungen von PENNYCUICK (1971a), der unter Freilandbedingungen am Sperbergeier (*Gyps rüppellii*) Gleitzahlen im Bereich 1:8,8 – 1:15,5 bestimmt hat (Verhältnis ca. 1:2), unterstützen diese Auffassung.

Nach TUCKER (1987) ist aber davon auszugehen, daß die Gleitzahl in einem weit größeren Bereich variiert werden kann. So ergaben Freilandmessungen von TUCKER (1988) und PENNYCUICK (1971b) am Weißrückengeier (*Pseudogyps africanus*) Gleitzahlen im Bereich zwischen 1:1,5 und 1:15,3 (Verhältnis ca. 1:10). Dieses Verhältnis dürften auch moderne Segelflugzeuge erreichen (Bereich ca. 1:6 bis 1:60); hier wird allerdings die Verringerung der Gleitzahl ausschließlich durch die Funktion von Luftbremsklappen erreicht (Erhöhung des Widerstands-Beiwerts  $c_w$ ).

Die aufgezeigten Mechanismen können additive oder subtraktive Wirkung haben und beeinflussen in erheblichem Maße die aerodynamischen Parameter. Sie sind von zentraler Bedeutung bei der Steuerung der Flughöhe, bei der Maximierung der Flugdistanz im Gleitflug oder bei Landeanflügen. NACHTIGALL (1979) hat die Profilgeometrie von Taubenflügeln in Abhängigkeit von der Entfernung zur Körperachse untersucht und gefunden, daß sich die Profilformen und entsprechend die aerodynamischen Beiwerte von proximal (Flügelansatz) nach distal verändern. Für einen Gleitflug mit minimalem Höhenverlust erfordern deshalb unterschiedliche Flügelbereiche unterschiedliche Anstellwinkel. Dabei sind distale Flügelbereiche durch kritische aerodynamische Polare gekennzeichnet (scharfes Maximum), während sich proximale Flügelbereiche unkritisch verhalten (breites Maximum). Kleine Haltungsänderungen bewirken also in distalen Flügelbereichen große aerodynamische Konsequenzen und bieten deshalb ideale Voraussetzungen zur Flugkontrolle (vgl. RÜPPELL 1980).

Die Ausprägung von Thermikschläuchen kann kleinräumig erheblich variieren (KALCKREUTH 1972). Zudem kommt es im Umfeld von Thermikschläuchen aufgrund von Ausgleichsströmungen zu abwärts gerichteten Fallwinden. TUCKER (1988) hat darauf hingewiesen, daß sich deshalb bei einer einfachen Querung eines thermisch aktiven Gebiets in der Bilanz kein Höhengewinn ergibt, es sogar entsprechend der Gleitzahl und der geflogenen Distanz zu einem Höhenverlust kommt. PENNYCUICK (1972) hat allerdings gezeigt, daß eine gezielte Reduzierung der Fluggeschwindigkeit beim Queren von Thermikschläuchen bzw. eine Geschwindigkeitserhöhung im Bereich abwärtsströmender Luftmassen zu einem verminderten Sinken oder sogar zu einem Höhengewinn führen kann. Dadurch kann Thermik auch im direktionalen Streckenflug genutzt werden (vgl. OBRECHT 1988). Bei der Überbrückung größerer Distanzen mit Hilfe thermischer Aufwinde kommt es also darauf an, die Zeit im Bereich aufsteigender Luftmassen zu optimieren (s. Kap. 4.2). Beim Kreisen im Thermikschlauch bedeutet dies, daß maximale Flugdistanzen durch ein Steigen bis in Höhen erreicht werden, in denen sich Thermik und damit auch vertikale Gegenströmungen erschöpfen. Für eine optimale Wahl der Fluggeschwindigkeit zwischen einzelnen Thermikschläuchen kommt es dagegen darauf an, ob die Flugstrecke maximiert oder aber die Sinkrate minimiert werden soll (s. Kap. 4.2).

Sowohl Thermikhöhe als auch Thermikradius variieren stark mit der jeweiligen thermischen Aktivität. Zudem ist die Vertikalgeschwindigkeit der aufsteigenden Luft radiusabhängig (PENNYCUICK 1972). Insbesondere bei schwacher Thermikintensität ist der Radius effektiver Aufwinde i.d.R. sehr begrenzt. Bei der Ausnutzung von schwachen Thermikschläuchen ist deshalb die Fähigkeit, möglichst enge Kurvenradien mit möglichst großem Höhengewinn zu bewältigen, von entscheidender Bedeutung für Gleitflieger. Dabei kommt einer exakten Zentrierung der Kreisbahn im Aufwind-schlauch besondere Bedeutung zu.

Nach PENNYCUICK (1971b, 1989) ist der minimal nutzbare Radius von Thermikschläuchen durch die Flächenbelastung (Quotient aus Körpergewicht und Flügelfläche; vgl. Formel 27) und durch den maximalen Auftriebs-Beiwert festgelegt. Die Flächenbelastung hat diesbezüglich mehr Gewicht, weil sich die maximalen Auftriebs-Beiwerte zwischen Arten mit vergleichbarer Flügelgeometrie und Fluggeschwindigkeit (also mit vergleichbaren Reynolds-Zahlen, s. Kap. 5.3) nur wenig unterscheiden (TUCKER 1987). Vergleicht man Geierarten mit unterschiedlichem Verbreitungsgebiet aber gleicher ökologischer Einnischung, so fällt auf, daß Arten mit einem Verbreitungsschwerpunkt in klimatisch kälteren Regionen gegenüber ihren klimatisch begünstigten Verwandten i.d.R. niedrigere Flächenbelastungen aufweisen. Sie können deshalb bei gleichem Höhenverlust engere Kurvenradien fliegen und so schwächere Thermikkonstellationen ausnutzen. Ihre aerodynamischen Kenngrößen deuten demnach auf eine Adaptation an ungünstigere Thermikverhältnisse hin. So kommt man durch vergleichende Auswertung der verfügbaren Daten (GLUTZ et al. 1971, MENDEL-SOHN et al. 1989, PENNYCUICK 1971a, MUNDY et al. 1992, WEICK 1980) zu dem Ergebnis, daß beispielsweise der afrikanische Sperbergeier (*Gyps rueppellii*) im Vergleich zum gleichschweren, eurasischen Gänsegeier (*Gyps fulvus*) eine um etwa 10 % höhere Flächenbelastung aufweist, ebenso wie der südafrikanische Fahlgeier (*Gyps coprotheres*) im Vergleich zum Schneegeier (*Gyps himalayensis*). Auch beim Vergleich zwischen den Unterarten des Bartgeieres ergibt sich ein ähnliches Bild: Beim afrikanischen *Gypaetus barbatus meridionalis* ist der Wert im Vergleich zum europäischen *Gypaetus barbatus aureus* etwa um 5 % erhöht. Nach PENNYCUICK (1972) bewirkt eine hohe Flächenbelastung höhere Überlandgeschwindigkeiten im Gleitflug. Somit ist die höhere Flächenbelastung vergleichbarer afrikanischer Geierarten durchaus sinnvoll, weil sie ein schnelleres Erreichen lokalisierter Kadaver ermöglicht und so die z. T. erhebliche Konkurrenz gegenüber Raubsäugern mindert (s. Kap. 5.3).

Beim Vergleich verschiedener Vogelarten mit ihren jeweils charakteristischen Flügelgeometrien kommt PENNYCUICK (1971b) am Beispiel des Weißrückengeiers (*Pseudogyps africanus*) zu dem Schluß, daß Geier evolutiv entweder auf die optimale Ausnutzung enger Thermikschläuche hin selektiert sind, oder aber daß ihre Flügelgeometrie durch die speziellen Erfordernisse beim Starten und Landen begrenzt ist (durch Bo-

denrelief begrenzte Schlagamplitude). Ansonsten wären Gänsegeier mit einem größeren Streckungsverhältnis der Schwingen bei der Ausnutzung von Thermikschläuchen mit mehr als ca. 17 m Durchmesser im Vorteil; zudem wären mit derartigen Flügelgeometrien höhere Überlandgeschwindigkeiten möglich, was sich positiv auf die Effizienz bei der Nahrungssuche auswirken würde (vgl. Kap. 5.2.4 und Kap. 5.3).

Wie Geier diese Orientierungsleistungen sensorisch vollbringen ist unklar. Einerseits können Relativbeschleunigungen beim Eintritt oder Verlassen eines Thermikschlauches mit den Organen des Innenohrs, aber auch durch passive Dehnung der Flugmuskeln (Funktion der Muskelspindeln) perzeptiert werden. Andererseits treten bei gleichförmigem Steigen oder Sinken keine Beschleunigungsvorgänge auf, so daß z. B. beim Steigen im Thermikschlauch ein anderer Orientierungsmechanismus gegeben sein muß. Hier kann die Beobachtung des Geländehorizonts eine relative Orientierung ermöglichen. Bei größeren Entfernungen zum Gelände-relief werden entsprechende, relative Sehwinkel aber minimal, sodaß hier auch das enorme Auflösungsvermögen des Geierauges (vgl. FISCHER 1969) bald seine Grenzen findet. Eine alternative Höhenorientierung könnte ein hypothetisches Organ zur relativen oder absoluten Luftdruckmessung ermöglichen. Die Perzeption von Luftdruckänderungen ist zumindest für Tauben (*Columba livia*) nachgewiesen. Dabei wird eine Auflösung von ca. 1 mbar erreicht, was je nach Meereshöhe einer Höhenänderung von  $\geq 8$  m entspricht (KREITHEN & KEETON 1974). Möglicherweise erfolgt die Orientierung auch nach dem „Try and Error“-Prinzip durch gezielt exzentrisches Kreisen im Thermikschlauch; dabei würden durch die unterschiedlichen vertikalen Luftgeschwindigkeiten (s.o.) perzeptierbare Relativbeschleunigungen verursacht.

Auch das Auffinden von thermikaktiven Bereichen durch Geier ist unklar. Hier könnten einerseits Lernprozesse eine Rolle spielen (gezieltes Anfliegen sonnenbeschienener Hänge mit geeigneter Bodenbedeckung, Bildung von Cumuluswolken als Thermikzeiger); andererseits kann die Beobachtung von Artgenossen oder anderen Gleitfliegern hilfreich sein. Aufgrund der enormen Sehleistung kommen auch passiv im Aufwind treibende Partikel (z. B. Blätter) als Aufwindzeiger in Frage. Denkbar, wenngleich nicht nachgewiesen, ist auch die Auswertung von Polarisations-, Streuungs- und Brechungseffekten des Lichtes durch inhomogene Luftmassen, wie sie in thermischen Konvektionsströmungen vorkommen. Derartige Orientierungsmechanismen wären insbesondere dann von Vorteil, wenn Bereiche thermischer Aktivität nicht durch Wolkenbildung erkennbar sind (Blauthermik). Sensorisch ist die Perzeption von UV-Licht sowie von polarisiertem Licht für Tauben (*Columba livia*) nachgewiesen (KREITHEN 1978). Es ist somit anzunehmen, daß Tauben und andere Vogelarten die genannten Reizqualitäten zur Orientierung nutzen.

Der enorme Anpassungsgrad im Flugverhalten der Geier kommt u. a. in ihrem „Abstraktionsvermögen“

zum Ausdruck; offensichtlich „wissen“ die Vögel bereits beim Abflug am Zoo, bei welchen Windbedingungen über welchen Geländestrukturen des Untersbergs effiziente Aufwindkonstellationen herrschen. So führt beispielsweise eine nur geringfügig andere Windrichtung zu vollständig unterschiedlichem Flugverhalten (vgl. Abb. 34a, 35a), obwohl zunächst beim Kreisen in Thermikschläuchen über dem Zoo keine Entscheidungshilfen für die eine oder andere Flugroute zur Verfügung stehen. Trotzdem wird im einen Fall ein westlicher, im anderen Fall ein östlicher Bogen als Flugroute gewählt. Auch Überlegungen zu den mit den Flugaktivitäten korrespondierenden Energie-Budgets (s. Kap. 4.5 und Kap. 5.2.3) sprechen für optimal angepaßtes Flugverhalten.

Flugbiologisch beurteilt kommt kritischen Phasen im Spätherbst eine Schlüsselrolle zu: Während dieser Jahreszeit sind im Untersuchungsgebiet Wettersituationen häufig, in denen keine längeranhaltenden Flugaktivitäten möglich sind (z.B. lang anhaltende Hochnebellagen im Wechsel mit windstillen Schönwettertagen ohne Thermik oder Hindernisaufwinde). Während solcher Phasen gelingt es den Geiern i.d.R. nicht, nach der Nahrungsaufnahme am Zoo zu ihren Schlafwänden am Untersberg zurückzukehren. Solche Wettersituationen können in freier Wildbahn bedrohlich werden, wenn sie mehrere Wochen andauern und Nahrungssuchflüge schließlich notwendig werden. In diesem Zusammenhang scheinen die herbstlichen Witterungsbedingungen einen erheblichen Einfluß auf die Mortalitätsraten der Juvenilvögel zu haben (vgl. Kap. 4.8 und Kap. 5.4).

### 5.2.2 Thermoregulatorische Anpassungen

Berücksichtigt man die Verbreitung der Gänsegeier über alle Klimaregionen dieser Erde, die auch intraspezifisch enorme Gegensätze einschließt, so sind spezielle thermoregulatorische Anpassungsmechanismen zu postulieren. PRINZINGER (1990, 1991, 1992) hat die verschiedenen Mechanismen der Thermoregulation bei Vögeln zusammengefaßt. Demnach können Vögel bereits durch morphologische und ethologische Anpassungen die Isolationswirkung ihres Gefieders (Wärmedurchgangszahl) in erheblichem Umfang verändern (s.u.) und so ihre Körpertemperatur über einen relativ großen Bereich ohne nennenswerte Veränderungen ihrer Stoffwechselrate regeln (Thermoneutralzone). Reichen diese Maßnahmen nicht aus, so muß die Thermoregulation durch physiologische Mechanismen (also unter Energieaufwand) unterstützt werden. Direkte Messungen an Arten der Gattung *Gyps* liegen leider noch nicht vor, werden aber demnächst veröffentlicht (BAHAT in Vorb.).

Bei den untersuchten Gänsegeiern war Temperaturstress zunächst mit geöffneten Flügelhaltungen (vgl. MÄCK 1987, KUSHLAN 1973) verbunden. CLARK (1969), KENNEDY (1969), KAHL (1971) und PRINZINGER (1990) haben darauf hingewiesen, daß geöffnete Flügelhaltungen u. a. eine thermoregulatorische Funk-

tion erfüllen. Je nach Sonneneinstrahlung, relativer Lufttemperatur, Luftbewegung und Spreizung des Gefieders kann es dabei zu Energieaufnahme (Sonnenbaden) oder Energieabgabe durch Konvektion kommen. Die nackten bzw. dünn beduhten Körperstellen (Kopf, Hals, Brust und Ständer) unterstützen diese Funktion erheblich (BAHAT & HOUSTON 1994, LAROCHELLE et al. 1982). Durch die Exposition nackter Hautpartien kann ohne großen Wasserverlust sehr effizient Wärme abgegeben werden. LAROCHELLE et al. (1982) haben für den Rabengeier (*Cathartes aura*) gezeigt, daß eine Veränderung der Wärme-Durchgangszahl der Körperoberfläche im Verhältnis 1:4 möglich ist. Dies wird vermutlich durch die Vasomotorik des Gefäßsystems unterstützt und kontrolliert.

Wird die Energieeinstrahlung und/oder die Lufttemperatur zu hoch, so werden schattige Sitzwarten aufgesucht oder die Geier „hecheln“ (z. B. im Zusammenhang mit der Nahrungsaufnahme und den aggressiven Auseinandersetzungen ums Futter). Reichen diese Maßnahmen nicht aus, so kommt es bei geeigneten Flugbedingungen zu thermoregulatorischen Flugaktivitäten. MAHONEY (1983) hat für Rabengeier (*Cathartes aura*) gezeigt, daß bereits bei inaktiven Vögeln 50 % der gesamten Wärmeabgabe durch einfache Konvektion möglich ist und daß erst bei übermäßiger Körperbelastung dieser Prozentsatz deutlich sinkt. Demnach können durch Luftkonvektion erhebliche Wärmemengen ohne Wasserverlust abgegeben werden, zumal im energiesparenden Gleitflug die Stoffwechselrate nur wenig steigt (vgl. Kap. 4.5 und Kap. 5.2.3). Gerade Gleitflieger mit ihrer energiesparenden Flugweise können durch Kreisen im thermischen Aufwind die für sie günstigsten Flughöhen bzw. Lufttemperaturen wählen und so ihre Energiebilanz optimieren.

Thermoregulatorische Flugaktivitäten treten naturgemäß in gemäßigten Klimazonen seltener auf als in Gebieten mit hohen Temperaturen; sie waren deshalb in den Alpen nur im Hochsommer nachweisbar. Ganz allgemein dürften sie in wärmeren Klimabereichen für alle Gleitflieger eine sehr effiziente Form der Thermoregulation darstellen. LEVY (1990) vermutet ähnliche Zusammenhänge zwischen Flughöhe, Lufttemperatur und Thermoregulation beim Schmutzgeier (*Neophron percnopterus*) in Israel.

Raben- bzw. Truthahngeier (*Coragyps atratus*, *Cathartes aura*) als Bewohner von gemäßig-warmen Bereichen der Neuen Welt zeigen bereits ein hervorragendes Isolationsvermögen des Gefieders, das nur von ausgesprochenen „Kältespezialisten“ wie dem Alpenschneehuhn (*Lagopus mutus*) oder von Wasservögeln (hoher Wärmeverlust durch das Medium Wasser) übertroffen wird (PRINZINGER 1991). Es können also auch für Arten der Gattung *Gyps* entsprechende morphologische Anpassungen angenommen werden, die bei der Besiedlung kälterer Regionen oder großer Höhen vorteilhaft sind. Auch die große Körpermasse bietet diesbezüglich aufgrund des günstigen Verhältnisses von Volumen zu Oberfläche gute Voraussetzungen. Zusammengenommen dürften diese ethologischen und morphologischen Mechanismen bei Gänsegeiern eine



eurytherme Adaptation bewirken und ein sehr breites Spektrum an Umgebungstemperaturen ermöglichen. Über spezielle physiologische Anpassungen bei der Thermoregulation des Gänsegeiers ist derzeit noch nichts bekannt. LAROCHELLE et al. (1982) haben aber am Rabengeier (*Cathartes aura*) festgestellt, daß dieser seine Körpertemperatur im Bereich 37,7 – 42,9°C variieren und dadurch seinen thermoregulatorischen Energieaufwand minimieren kann (Außentemperaturbereich 15 – 45°C). Im Vergleich zu 25°C ergab sich eine Erhöhung der Stoffwechselrate um 20 % (15°C) bzw. 60 % (45°C). Dabei geht der vergleichsweise große Anstieg bei 45°C auf Hecheln und den damit verbundenen evaporativen Wasser- und Wärmeverlust zurück. Nach MAHONEY (1983) kann es dabei zu Defiziten in der Wärmeabgabe von bis zu 50 % kommen. Obwohl Gänsegeier als Altvogel zu einer systematisch anderen Gruppe gehören, sind vergleichbare Anpassungsmechanismen anzunehmen (BAHAT in Vorber.).

### 5.2.3 Energie- und Zeit-Budgets

Nach den Ergebnissen von Kap. 4.3 kommt dem Standortwechsel vom Zoo zurück zu den Brutwänden insofern eine besondere Bedeutung zu, als dabei 500 Höhenmeter überwunden werden müssen und zudem das Fluggewicht durch die Nahrungsaufnahme um bis zu 20 % erhöht ist. Deshalb kann dieser Standortwechsel insbesondere dann zum Problem werden, wenn Brutvögel trotz Schlechtwetters ihre Jungen versorgen müssen. Im Gegensatz zu den Altvögeln, die bis zu 3 Wochen ohne Nahrung unbeschadet überdauern, können Jungvögel maximal 2 Tage ohne Nahrung auskommen (MENDELSON & LESHEM 1983). In kritischen Entwicklungsphasen (nach HOUSTON 1989 liegt der maximale Nahrungsbedarf zwischen dem 60. und 70. Lebenstag) können mehrere Fütterungen pro Tag notwendig sein (MENDELSON & LESHEM 1983, BENECKE 1992, SCHWAB 1994). Deshalb müssen Brutvögel auch dann auf Nahrungssuche gehen, wenn andere Artgenossen wegen der schlechten Flugbedingungen die Kolonie nicht verlassen (vgl. BENECKE 1992, SCHWAB 1994). Wie in Kap. 4.3 dargestellt, ist dies aber bezüglich des Rückflugs vom Zoo (Nahrungsquelle) zur Brutwand nicht bei allen Wetterlagen möglich (vgl. Abb. 36a, 37a). Diesbezügliche Probleme werden allerdings während der Brut- und Huderphase insofern geschmälert, als durch das Ausapern von Fallwild (Schneeschnitzel) ein lokales Futterangebot am Untersberg zur Verfügung steht, das nach eigenen Beobachtungen auch genutzt wird (vgl. Abb. 27).

KOMEN (1992) hat für freifliegende Gänsegeier (untersuchte Art: *Gyps coprotheres*) einen Grundumsatz (Erhaltungsstoffwechsel, BMR) von 2420 kJ/Tag und einen durchschnittlichen Energieumsatz von etwa 3000 kJ/Tag ermittelt. Dies entspricht bei der ermittelten Assimilationseffizienz von ca. 86 % und dem mittleren Energiegehalt von Fleisch (6,2 KJ/g) einer täglichen Nahrungsmenge von ca. 450 bzw. 560 g oder 3 bzw.

4 kg pro Woche. Entsprechend bestimmten MENDELSON & LESHEM (1983) 429 g / Tag an gekäfigten Gänsegeiern der Art *Gyps fulvus*. Diese Werte dürften auch für die hier untersuchten Tiere zutreffen. Aufgrund der Fettreserven und des Erhaltungsstoffwechsels hat KOMEN (1992) 20 Tage als maximale Hungerperiode bestimmt, ein Wert, der praktisch identisch mit den eigenen Ergebnissen ist (21 Tage). Überträgt man die Daten nach KOMEN (1992) auf die untersuchten Tiere, so stehen für Lokomotion durchschnittlich etwa 600 kJ pro Tag zur Verfügung. Berücksichtigt man den Wirkungsgrad der Muskulatur mit 23 % (PENNYCUICK 1989), so können etwa 140 kJ als mechanische Arbeit verrichtet werden. Damit kann nach PENNYCUICK (1989) bei mäßiger Thermik (2 m/s) eine horizontale Gleitflugstrecke von etwa 40 km bewältigt werden, im Ruderflug ist dieselbe Energiemenge bereits nach etwa 4 km aufgezehrt. Bezogen auf die untersuchte Geierkolonie bedeutet dies, daß ein Gänsegeier den Zoo (je nach Thermikintensität) etwa 3 – 6 mal täglich anfliegen kann (Hinflug, Landung und Rückflug); für einen aktiven Schlagflug zurück zur Brutwand wäre dagegen das 2,5-fache der täglich verfügbaren Energiemenge notwendig. Dieser Unterschied läßt sich im wesentlichen darauf zurückführen, daß beim Segelflug die, für die Höhendifferenz notwendige Energiemenge den aufsteigenden Luftmassen entzogen wird, während sie beim Schlagflug zusätzlich zur Muskelarbeit anfällt. Dabei ist es unbedeutend, ob es sich um thermische oder dynamische Aufwinde handelt (PENNYCUICK 1973, SACHS 1993). Neben der negativen Energiebilanz bleibt fraglich, ob der Muskelapparat des Gänsegeiers überhaupt dazu in der Lage wäre, die enorme Leistung für einen aktiven Steigflug entlang der direkten Verbindungslinie zu produzieren. Dazu müßten im Mittel 12,5 Höhenmeter auf 100 m Wegstrecke überwunden werden. Für den Fall, daß diese Höhendifferenz auf eine längere Wegstrecke umgelegt würde, vergrößert sich der Energieaufwand für den Ruderflug weiter. Auffällig ist, daß nie ein Versuch des direkten Schlagflugs zur Brutwand beobachtet werden konnte. Die Abb. 36a/37a belegen, daß die Schlafwand bei ungünstigen Flugbedingungen weder kreisend noch im Schlagflug zu erreichen ist. Gerade der erfolglose Versuch über einen Zeitraum von ca. 3 Stunden (vgl. Abb. 36) spricht dafür, daß hier physiologische Grenzen des Muskel- bzw. Flugapparats vorliegen.

Bezüglich der Zeitbudgets fällt auf, daß sich in vielen Fällen die Flugaktivität über einen Zeitraum erstreckt, der deutlich über die für die entsprechende Standortveränderung benötigte Mindestflugzeit hinausgeht (vgl. Abb. 34a, 35a). Dies trifft auch dann zu, wenn die Geier nach der Nahrungsaufnahme zum Untersberg zurückfliegen, also ganz offensichtlich nicht auf Nahrungssuche sind. Das verfügbare Zeitbudget limitiert also offensichtlich nicht die Dauer der Flugaktivität, es scheint vielmehr ein endogenes „Flugbedürfnis“ befriedigt zu werden. Nach (BÖGEL 1987) variiert der Anteil der Flugaktivität in Abhängigkeit von den Flugbedingungen erheblich. Auch dies deutet darauf hin, daß

nicht das verfügbare Zeit-, sondern das Energiebudget limitierend ist und den Anteil der unterschiedlichen Aktivitätsformen im Tagesablauf bedingt.

Vergleicht man das Ausmaß der Flugaktivitäten mit der Thermikintensität im Tagesverlauf, so fällt auf, daß sich der Aktivitätsgipfel am frühen Nachmittag (BÖGEL 1987) mit dem Thermikmaximum deckt (ca. 14 Uhr; vgl. Kap. 4.7, KALCKREUTH 1972).

Nach MÄCK & BÖGEL (1989), BENECKE (1992) sowie SCHWAB (1994) beginnen erste bzw. enden letzte Flugaktivitäten während der Dämmerung. Derartige Flugaktivitäten sind stets von kurzer Dauer; morgens dienen sie in erster Linie der Prüfung der Aufwindverhältnisse vor der Wand, abends eher kleinräumigen Standortveränderungen innerhalb der Kolonie. In Ausnahmefällen konnte aber auch nachts ein Flug von der Schlafwand am Untersberg hinüber zum Zoo dokumentiert werden, eine Standortveränderung, die aufgrund der Entfernung bzw. der Gleitzahl von Gänsegeiern bei allen Wetterlagen im reinen Gleitflug möglich ist (s. Kap. 4.2).

#### 5.2.4 Soziale Organisationsform

Viele Aktivitätsformen des Gänsegeiers werden in der Gruppe getätigt. Beobachtungen aus dem Bereich „Sozialverhalten“ deuten darauf hin, daß sich die Mitglieder der Kolonie individuell kennen (MÄCK 1987, BENECKE 1992). Deshalb dürfte es sich bei einer Gänsegeierkolonie um einen individualisierten Verband handeln (KLINGEL 1974), auch wenn KÖNIG (1974) darauf hingewiesen hat, daß sich die Mitglieder einer Fressgruppe i.d.R. nicht persönlich kennen. Sowohl im Bereich Komfortverhalten und Nahrungsaufnahme (MÄCK 1987) als auch bei den Flugaktivitäten (s. Kap. 4.3, BÖGEL 1987, SCHWAB 1994) hat soziale Stimulans (BARASH 1980) eine überragende Bedeutung.

Eine soziale Organisationsform bietet verschiedene Selektionsvorteile (WARD & ZAHAVI 1973, WEATHERHEAD 1983, WITTENBERGER & HUNT 1985). Bezogen auf Gänsegeier kommen hauptsächlich folgende Aspekte zum Tragen:

Zum einen können gemeinsame Schlafplätze zum Informationsaustausch über die Lage von Nahrungsressourcen genutzt werden. WARD & ZAHAVI (1973) haben darauf hingewiesen, daß solche Systeme der Informationsvermittlung nur bei solchen Arten einen Selektionsvorteil bieten, die sich von räumlich und zeitlich ungleichmäßig verteilten Nahrungsressourcen ernähren und die bei der Nahrungsbeschaffung nicht auf Überraschungsangriffe angewiesen sind (Die Sozialsysteme der territorialen Hetzjäger unter den Beutegreifern bieten andere Selektionsvorteile und dienen nicht der Informationsvermittlung). Diese Voraussetzung trifft auf wilde Gänsegeierkolonien in idealer Weise zu. Dabei setzt eine intraspezifische Informationsvermittlung keine differenzierte Lautäußerung (THALER et al. 1986) oder sonstige Kommunikationsformen voraus, sie kann auch durch Beobachten und Verfolgen gezielter Flug-

bewegungen anderer Individuen oder sogar anderer Arten erfolgen (HOUSTON 1974a, KRUIK 1967, PENNYCUICK 1973). Gerade unter Gänsegeiern ist der Sucherfolg bei der Nahrungssuche durch die Füllmenge des Kropfes besonders leicht zu kontrollieren. Entsprechend haben ANDERSON & HORWITZ (1979) nachgewiesen, daß die Ankunftszeiten verschiedener Geierarten am Aas nicht zufällig verteilt, sondern geklumpt sind. WITTENBERGER & HUNT (1985) haben darauf hingewiesen, daß zur richtigen Einschätzung der Sucheffizienz auch die Kenntnis des entsprechenden Zeit- und Energieaufwands notwendig ist. Bezogen auf Gänsegeier ist dies von untergeordneter Bedeutung, da bei geeigneten Flugbedingungen ein extrem energiesparender Suchflug möglich ist und aufgrund der Kadaverbiomasse und des Fassungsvermögens des Kropfes der Nahrungsbedarf für mehrere Tage bei einer einzigen Mahlzeit gedeckt werden kann.

Zum anderen kann die Effizienz bei der Nahrungssuche durch die gleichmäßige Verteilung der Einzeltiere im Raum (HOUSTON 1974a, 1983, KRUIK 1967, MUNDY et al. 1992, PENNYCUICK 1973, REISER 1910/1911) gesteigert werden, insbesondere bei großflächiger Nutzung der Ressourcen. Dabei kann eine zentral gelegene Schlaf- bzw. Brutwand bereits aus rein geometrischen Überlegungen zu einer Reduzierung des durchschnittlichen Energieaufwands führen (WITTENBERGER & HUNT 1985). Auch die Lage der Schlaf- bzw. Brutwände der untersuchten Geierkolonie kann (neben der geomorphologisch vorteilhaften Lage) durch ihre Nähe zum Zoo als sichere Nahrungsquelle erklärt werden. Nach PENNYCUICK (1972) treffen allerdings die territorialen Geierarten *Torgos tracheliotus* und *Trigonoceps occipitalis* vor den sozialen Arten am Aas ein, was für eine höhere Sucheffizienz spricht. Eine territoriale Organisationsform kann aufgrund der verminderten Nahrungskonkurrenz (Monopolisierung der Ressourcen gegenüber anderen Individuen derselben Art) also ebenfalls Selektionsvorteile bieten, sofern die Kadaver weniger großräumig verteilt sind und aufgrund der genauen Ortskenntnis innerhalb des Territoriums vor den i.d.R. dominanten sozialen Arten gefunden werden. Für beide oben genannten Arten schließt zudem die Nistplatzwahl (einzeln stehende Bäume) eine soziale Organisationsform sowieso aus (MUNDY et al. 1992). Eine vergleichbare „Zeigerfunktion“ für soziale Aasfresser kann in den Alpen durch z. T. fakultative Aasfresser wie Kollkrabe (*Corvus corax*), Steinadler (*Aquila chrysaetos*) und Bartgeier (*Gypaetus barbatus*) übernommen werden.

Ein weiterer Selektionsvorteil der sozialen Organisationsform liegt in der Dominanz gegenüber solitär lebenden, z. T. nur fakultativ aasfressenden Vogelarten wie Elstern, Kollkraben, Milanen und Schmutzgeiern (ANDERSON & HORWITZ 1979, ALVAREZ et al. 1976, FRANÇOIS & TERRASSE 1974, KÖNIG 1974, VALVERDE 1959). So können sich auch Steinadler (*Aquila chrysaetos*) nach eigenen Beobachtungen gegenüber einer Gänsegeier-Fressgruppe am Aas nicht durchsetzen. Diesen Selektionsvorteilen der sozialen Organisation steht der Nachteil der hohen intraspezifischen Konkur-

renz bei der Verteilung und Nutzung der Nahrungsressourcen gegenüber (KÖNIG 1976, 1983, WITTENBERGER & HUNT 1985). Es ist deshalb davon auszugehen, daß sich in der Bilanz ein Selektionsvorteil nur dann ergibt, wenn hauptsächlich große Kadaver verwertet werden, deren Biomasse für eine größere Freßgruppe ausreicht. HOUSTON (1974a) hat nachgewiesen, daß die Größe der Freßgruppe proportional mit der Biomasse des Kadavers steigt. Vergleicht man die sozial organisierten Arten der Gattung *Gyps* mit dem eher solitär lebenden Schmutzgeier bzw. dem territorialen Bartgeier, beides Arten, die entweder kleinere Kadaver nutzen und/oder Resteverwerter sind, so trifft diese Hypothese zu. Die intraspezifische Konkurrenz innerhalb größerer Freßgesellschaften wird beim Gänsegeier durch hochdifferenzierte Ausdrucksbewegungen geregelt (MÄCK 1987, KÖNIG 1974, VALVERDE 1959), wobei der Hungerintensität als Regelgröße eine entscheidende Bedeutung zukommt (ANDERSON & HORWITZ 1979, KÖNIG 1976).

### 5.3 Ökologische Einnischung und physiologische Anpassungen

Das hochgradig adaptierte Flugverhalten (s. Kap. 4.3 und 5.2.1) ist, zusammen mit der Fähigkeit bis zu 3-wöchige Hungerperioden schadlos zu überstehen, von ganz entscheidendem Anpassungswert für einen Aasfresser, der von einer zeitlich diskontinuierlichen Verteilung der Nahrungsressourcen abhängig ist. Nach HOUSTON (1983) können größere Geierarten längere Hungerperioden überstehen, weil sie größere Nahrungsmengen aufnehmen können (Kropfvolumen), einen größeren Anteil ihres Körpergewichts zur Speicherung von Reservestoffen nutzen können und eine relativ niedrigere Stoffwechselrate besitzen. Demgegenüber wird die Fähigkeit, thermische oder dynamische Aufwinde optimal zu nutzen durch das höhere Körpergewicht nur relativ wenig beeinflusst, insbesondere dann, wenn die Flügelfläche proportional zur Gewichtszunahme mitwächst und sich so die Flächenbelastung der Schwingen nicht verändert (vgl. Kap. 5.2.1, PENNYCUICK 1972, 1989). Für Areale mit häufigen Schlechtwetterlagen wie beispielsweise die Gebirge der Nordhalbkugel kann deshalb ein Selektionsdruck in Richtung großer Geierarten postuliert werden. Entsprechend gehören der Schneegeier (*Gyps himalayensis*) im Himalaja bzw. der eurasische Gänsegeier (*Gyps fulvus*) in den Alpen zu den größten und schwersten Geierarten des eurasischen Raumes.

Den z. T. enormen Flughöhen von über 10.000 m (LAYBOURNE 1974) sind Gänsegeier durch ein hochdifferenziertes Hämoglobinsystem exzellent angepaßt. Dabei wird durch eine Kaskade aus vier verschiedenen Hämoglobintypen mit unterschiedlicher Sauerstoffaffinität (HIEBL & BRAUNITZER 1988) einerseits die Bindung von Sauerstoff auch unter extrem niedrigem Sauerstoffpartialdruck ermöglicht, andererseits aber auch die Abgabe im Gewebe sichergestellt. Bereits in 8.000 m NN herrscht nur noch ein Sauerstoffpartial-

druck ( $PO_2$ ) von 67 mbar (6,6 % des Wertes in Meereshöhe). Dem steht beim nah verwandte Sperbergeier ein  $P_{50}$ -Wert für Sauerstoff von 21,9 mbar gegenüber (HIEBL & BRAUNITZER 1988). Typische Werte nicht höhenangepaßter Vogelarten liegen bei etwa 60 mbar (FARACI 1991). Beim Sauerstofftransfer zum Muskel spielt auch die extrem hohe Sauerstoffaffinität des Muskelhämoglobins ( $P_{50}$ -Wert 3,3 mbar) eine wesentliche Rolle (FARACI 1991). Weitere physiologische Anpassungen unterstützen die Anpassung an die hypoxischen Bedingungen großer Flughöhen bei Vögeln (FARACI 1991):

- hohe Gasaustausch-Effizienz der Lunge durch Gegenstromprinzip und geringen Diffusionswiderstand der Lungenmembran (Gasaustausch durch Diffusion und nicht durch Ventilation begrenzt),
- erhöhtes Schlagvolumen des Herzens,
- optimierte Zirkulationsverteilung des Blutes unter erniedrigtem  $PO_2$  (Erhöhung der Sauerstoff-Durchflußraten von Lunge, Herz, Muskeln und Gehirn),
- keine Erniedrigung der Gehirndurchflußrate durch verminderte Kohlendioxid-Partialdruck-Werte infolge von Hyperventilation wie bei Säugern,
- erhöhte Blutgefäßdichte im Gewebe,
- erhöhte Mitochondriendichte im Gewebe,
- erhöhte Aktivitäten der Atmungsenzyme.

Der Umstand, daß solche Anpassungen auch bei Arten vorkommen, die keine hochalpinen Lebensräume besiedeln, deutet darauf hin, daß derartige Flughöhen zeitweise auch in nichtalpinen Verbreitungsgebieten vorkommen können (HIEBL et al. 1987). Der außergewöhnlich breite Temperaturbereich (vgl. Kap. 5.2.2) bildet eine Parallele zu den atmungsphysiologischen Anpassungen und stellt eine Voraussetzung für die Erschließung solcher Flughöhen dar (Lufttemperaturen bis  $-50^\circ C$ ). FARACI (1991) weist darauf hin, daß die niedrigen Temperaturen in großen Flughöhen atmungsphysiologische Parameter (Dissoziationskurve des Hämoglobins) sogar günstig beeinflussen, sofern es zu einer geringfügigen Absenkung der Gewebetemperatur kommt.

Gänsegeier sind nicht die einzigen Aasverwerter. Alle Geierarten haben sich auf die Verwertung von Kadavern spezialisiert und viele haben sich die Selektionsvorteile einer sozialen Organisationsform zunutze gemacht (s. Kap. 5.2.4). Auch andere Greifvogelarten und viele Raubsäuger sind fakultative Aasverwerter. Demnach besteht – je nach Zusammensetzung der Biozönose – ein z. T. erheblicher Konkurrenzdruck zwischen den verschiedenen Arten. Es erhebt sich somit die Frage, wie die verfügbaren Nahrungsressourcen genutzt werden und welche Mechanismen sich zur Verminderung des Konkurrenzdrucks entwickelt haben.

Zwischen den einzelnen Geierarten geschieht dies durch die Nutzung verschiedener Kadaverteile mit entsprechenden morphologisch und ethologischen Differenzierungen (Schnabel und Hals bzw. Freßverhalten) (ALVAREZ et al. 1976, HOUSTON 1974b, 1975, KÖNIG 1976, 1983, KRUK 1967). Auch energetische

Aspekte, unterschiedliche Suchstrategien bzw. Flughöhen (ALVAREZ et al. 1976, KÖNIG 1974) und unterschiedliche Einzugsbereiche vermindern den Konkurrenzdruck (PENNYCUICK 1972). Fehlt eine solche ethoökologische Einnischung oder ist diese wenig ausgeprägt, so dominiert die größere über die kleinere Art (ANDERSON & HORWITZ 1979, KÖNIG 1976). Da alle Geierarten als Gleit- und Segelflieger die thermikbegünstigten Tageszeiten zur Nahrungssuche nutzen und der Suchaufwand zudem nicht absehbar ist, bestehen kaum Möglichkeiten, den Konkurrenzdruck durch zeitliche Einnischung zu verringern. Nach KÖNIG (1976, 1983) und HOUSTON (1983) sind allerdings die kleineren Geierarten (*Pseudogyps africanus*, *Necrosyrtes monachus*, *Trigonoceps occipitalis*, *Neophron percnopterus*) zu Ruderflug über eine Distanz von mehreren Kilometern befähigt und können durch ihre geringere Flächenbelastung (PENNYCUICK 1971a, 1972) zudem schwächere Aufwinde nutzen. Entsprechend können sie etwas früher mit der Nahrungssuche beginnen.

In einer vollständigen Biozönose besteht zudem ein z. T. erheblicher interspezifischer Konkurrenzdruck mit Raubsäugern, die am Kadaver dominieren (ALVAREZ et al. 1976, HOUSTON 1974b, 1983, KÖNIG 1976, KRUIK 1967). Der Sucheffizienz bzw. dem Zeitpunkt des Eintreffens am Aas kommt somit eine ganz entscheidende Bedeutung zu (KRUIK 1967). Nur durch ein frühzeitiges Eintreffen am Kadaver kann die interspezifische Konkurrenz beim Fressen minimiert werden. Wahrscheinlich ist in diesem Selektionsvorteil auch der evolutive Ursprung der sozialen Organisationsform bei vielen Geierarten zu sehen. HOUSTON (1974b, 1983) hat darauf hingewiesen, daß Geier aufgrund ihres energiesparenden Suchflugs (PENNYCUICK 1972) in idealer Weise auf die Nutzung weiträumig verteilter Nahrungsressourcen angepaßt sind und so die interspezifische Nahrungskonkurrenz mit Raubsäugern minimieren. Letztere etablieren Nahrungsterritorien und können deshalb ein sehr großflächig verteiltes und z. T. zeitlich stark fluktuierendes Nahrungspotential nicht optimal nutzen.

Im Vergleich zu terrestrischen Prädatoren haben Geier auch eine höhere Verdauungseffizienz entwickelt (HOUSTON 1984a, 1988a). Dies wird durch Ergebnisse von KOMEN (1992) untermauert, der am Fahlgeier (*Gyps coprotheres*) eine Assimilationseffizienz von bis zu 88 % ermittelte. Neben dem allgemeinen Zwang bei Vögeln zur Gewichtseinsparung könnte auch hier die häufig limitierte Freßdauer am Kadaver (inter- und intraspezifischer Konkurrenzdruck) als Selektionsfaktor fungiert haben. Zudem müssen obligatorische Aasfresser im Gegensatz zu fakultativ aasfressenden Beutegreifern ihre diskontinuierliche Nahrungsressource optimal verwerten, da der Zeitpunkt der nächsten Nahrungsaufnahme von äußeren Faktoren abhängt. Auch die enorme Speicherkapazität des Kropfes von bis zu 20 % des Körpergewichts wird nur als adaptive Anpassung der Geier an ihre necrophage Ernährungsweise verständlich. Offensichtlich ist der Nachteil stark

eingeschränkter Mobilität bzw. des deutlich erhöhten Prädatationsrisikos (Probleme beim Auffliegen) von untergeordneter Bedeutung.

Sensorisch läßt sich die enorme Sucheffizienz in offenen Landschaften am besten durch optische Lokalisation aus mittlerer Flughöhe leisten (FISCHER 1968, GRUBH 1978, HOUSTON 1974a, PENNYCUICK 1972). Olfaktorisch hätten Geier diesbezüglich gegenüber Raubsäugern keinen Selektionsvorteil; entsprechend ist ihr Geruchssinn schlecht entwickelt (FISCHER 1969, HOUSTON 1974a, KÖNIG 1974). Neuweltgeier mit ihren geschlossenen Lebensräumen können dagegen ihre Nahrung optisch nicht effizient lokalisieren; sie haben mit Ausnahme der hoch fliegenden Arten (HOUSTON 1984a, 1988b) einen guten Geruchssinn entwickelt (BANG 1967, HOUSTON 1984b, 1988b, STAGER 1964). Zudem stammen sie systematisch von einer anderen Gruppe ab (KÖNIG 1982, SEIBOLD & WINK 1994, SEIBOLD et al. 1994).

Neben der Erhöhung der interspezifischen Konkurrenz können Raubsäugerarten auch Aaspotential bereitstellen (GRUBH 1978, HOUSTON 1974b). Verschiedene Autoren sind deshalb der Meinung, daß die weitgehende Ausrottung der carnivoren (Begleit-) Fauna den Geierbeständen geschadet hat (BAUMGART 1974, WALTER 1979). Andererseits haben großflächige Rodungen und die damit einhergehende Erhöhung der Weidetierbestände seit der Römerzeit ausgiebige Arealgewinne für Gänsegeier in Europa bewirkt. Sie sind heute im gesamten europäischen Raum sowie in Südafrika in besonderem Maße von extensiver Weidetierhaltung abhängig (GLUTZ 1971, GRUBH 1978, HOUSTON 1983, MUNDY et al. 1992, PERCO & TOSO 1980). Ohne Lockerung der seuchenhygienischen Vorschriften zur Kadaverbeseitigung und das regelmäßige Auslegen von Schlachtabfällen könnten wahrscheinlich nur kleine Populationen überleben.

#### 5.4 Überlebensfähigkeit der Population und geeignete Managementmaßnahmen

Sieht man von der relativ niederen Reproduktions- und der hohen Mortalitätsrate ab, so liegen die übrigen populationsbiologischen Parameter der Zookolonie in derselben Größenordnung wie bei wilden Populationen anderer Geier- bzw. Großgreifvogelarten (BOSHOF & ROBERTSON 1985, HOUSTON 1974c, MUNDY et al. 1992, NEWTON 1979, TEMPLE & WALLACE 1989). Die Mortalität im ersten Jahr scheint – trotz der gesicherten Nahrungsversorgung am Zoo – im Vergleich zu südeuropäischen Populationen höher zu liegen, auch wenn aus Freilandstudien genaue Angaben nur über die Nestlingsmortalität vorliegen. Diese liegt zwischen 11 % (SCHWAB 1994) und 18 – 29% (ARROYO et al. 1990). LECONTE (1977) ermittelte in den französischen Pyrenäen 10 – 27% Mortalität bis zum Ausfliegen und schätzt die natürliche Mortalität bis zur Geschlechtsreife auf 50 %, eine Größenordnung, die in der untersuchten Kolonie bereits im 1. Lebensjahr auftritt. Be-

obachtungen sprechen dafür, daß diese hohe Mortalität im 1. Lebensjahr auf langfristiges „Festsitzen“ während ungünstiger Flugbedingungen im Herbst mit Verhungern zurückgeht (vgl. Kap. 5.2.2). Dabei verlieren die Juvenilen bei ihren ersten Flugversuchen häufig schnell an Höhe und erreichen schließlich den Talboden. Aufgrund unzureichender Thermikverhältnisse und fehlender Hindernisaufwinde im Talbodenbereich, ihrer Flugunerfahrenheit sowie der noch wenig trainierten Flugmuskulatur können sich die Jungvögel aus solchen Situationen häufig aus eigener Kraft nicht befreien. Dies ist umso verhängnisvoller, weil die Elternteile ihren Nachwuchs abseits vom Nest i.d.R. nicht füttern (eigene Beobachtungen, BENECKE 1992, ROBERTSON 1985, HADZOFE, pers. Mitt.). Zudem weisen Juvenilvögel allgemein eine geringere Effizienz bei der Nahrungssuche auf (SCHWAB 1994, WEATHERHEAD 1983) und haben nach eigenen Ergebnissen zudem eine schlechtere Fresseffizienz als immature oder adulte Individuen (s. Kap. 4.6). SCHWAB (1994) bzw. COURT (pers. Mitt.) berichten von ähnlichen „Unfällen“ in den Südpyrenäen bzw. in Israel. Dort scheint es sich aber um Einzelfälle zu handeln. Auch die, im Vergleich zu südeuropäischen Populationen etwa um einen Monat verspätete Brutchronologie (Ausflug etwa Anfang August anstatt Anfang Juli) wirkt sich in diesem Zusammenhang erschwerend aus. In einem Fall waren auch Deformationen des Flugskeletts nachweisbar, ein Tatbestand, den MUNDY & LEDGER (1986) bei afrikanischen Arten des Genus *Gyps* auf Calciummangel (zu wenig Knochenfragmente in der Nahrung) zurückgeführt haben. Auch HOUSTON (1978) hat das enorme Problem von Gänsegeiern bezüglich ihres Calciumhaushalts während der Brut und Jungenaufzucht betont und als Ursache für die auf ein Ei limitierte Gelegegröße bezeichnet. Diesbezüglich wirkt sich das Fehlen carnivorner Begleitfauna (größere Beutegreifer) in weiten Teilen Europas nachteilig aus, weil diese beim Verzehr der Beute Knochenbruchstücke bereitstellen. Ob im angesprochenen Fall tatsächlich Calciummangel für die Skelettdeformationen verantwortlich war, konnte im Nachhinein nicht abgeklärt werden. Zukünftig sollte während der Jungenaufzuchtphase bei der Fütterung am Zoo auf eine calciumreiche Diät besonderes geachtet werden. Der aufgezeigte Zusammenhang zwischen hoher Mortalitätsrate im ersten Jahr und den entsprechenden Flugbedingungen im Herbst/Winter (vgl. Kap. 5.2.1) kann demnach als Hinweis auf eine klimatisch bedingte Arealgrenze der Art gedeutet werden, die möglicherweise die derzeitige Brutverbreitung des Gänsegeiers erklären kann. Nach historischen Belegen haben Gänsegeier zwar nördlich der Alpen gebrütet (SCHÜZ 1964), die Art scheint aber auch in früheren Zeiten die Alpen im Winter verlassen zu haben (GLUTZ 1971, KINZELBACH 1963, TRATZ 1953). GENERO (1985) nennt zwar einzelne Brutbelege, die aber auf fragliche Quellen zurückgehen und nicht verifizierbar sind. Viele Autoren interpretieren den saisonalen Nomadismus als Strategie zur optimalen Nutzung begrenzter Nahrungsressourcen bzw. als Folge einer winterlichen Nahrungsverknappung im Som-

merhabitat (BERNIS 1983, GLUTZ 1971, MÄCK & BÖGEL 1989, SUSIĆ 1984, TRATZ 1953). Wieso sich im Zuge der Kontakte mit der Sommerpopulation aus den Hohen Tauern trotz des unlimitierten Nahrungsangebots am Zoo keine größere Kolonie entwickelt hat, bleibt unklar. Möglicherweise spielt dabei die mangelnde Attraktivität kleiner Kolonien (SCHWAB 1994) eine Rolle. Überlegungen zum Einfluß verschiedener Faktoren auf die Koloniegröße von BROWN et al. (1990) sind eher theoretischer Natur und mangels Alternativen (keine Nachbarkolonien) auf die bestehende Zoogruppe nicht anwendbar. Möglicherweise stellt das begrenzte Sitzwartenangebot am Zoo oder die Futterplatz- bzw. Kadavergröße einen limitierenden Faktor dar (vgl. Kap. 5.3). Ein reichhaltiges Sitzwartenangebot ist aufgrund des großen „Sicherheitsbedürfnisses“ von Geiern (GRUBH 1978, MÄCK 1987, KÖNIG 1974) sowohl vor, als auch nach dem Fressen essentiell. Denkbar wäre auch, daß ausgeprägte Zugtraditionen (vgl. IMMELMANN 1983) der übersommernenden Population einer dauerhaften Ansiedelung am Zoo entgegenstehen. Die VORTEX-Analysen zur Überlebensfähigkeit der Gruppe deuten darauf hin, daß die Geierkolonie langfristig auf Managementmaßnahmen angewiesen ist. Diesbezüglich bestehen drei Möglichkeiten: 1) Erhöhung der Reproduktionsrate 2) Verringerung der Mortalitätsrate 3) Bestandsstützungen. Bezüglich einer Erhöhung der Reproduktionsrate kann aufgrund fehlender Daten zum Geschlechterverhältnis in der Kolonie sowie ungünstiger Beobachtungsbedingungen an den Brutwänden kein konstruktiver Vorschlag gemacht werden. Genetische Untersuchungen wären hier hilfreich. Bezüglich der Mortalitätsursachen könnten im unmittelbaren Zoobereich die Unfallrisiken minimiert werden. Hier waren insgesamt 4 Gänsegeier in einem der nach oben offenen Raubkatzengehegen verunglückt (sofortiger Angriff und Tötung). Andere Verluste gingen auf spastisch aufgefunde Individuen zurück, die trotz sofortiger ärztlicher Behandlung i.d.R. nicht gerettet werden konnten. Die Krankheitsursache blieb ungeklärt; eine Vergiftung konnte aber weitgehend ausgeschlossen werden. Gelegentliche Bestandsstützungen haben bewirkt, daß die Kolonie über viele Jahre in ihrem Bestand gesichert war. Nach den durchgeführten Bestandsstützungen und Integrationsverläufen hat sich ein Auswildern von zoogeborenen juvenilen oder einjährigen Gänsegeiern am besten bewährt. Dies steht insofern im Widerspruch zu Erfahrungen aus dem Wiederansiedelungsprojekt von Gänsegeiern in den Französischen Cevennen, als dort bei der Freilassung altersgestaffelter Gruppen auch Adultvögel einen befriedigenden Verwilderungserfolg hatten (TERRASSE 1984, ZARAZIN 1993). Dort wurden die Vögel allerdings vor der Freilassung über Jahre in Großvolieren gehalten und hatten so ausreichend Gelegenheit zum Trainieren der Flugmuskulatur und zur Ausbildung einer Ortsprägung. Zudem dürfte sich der soziale Gruppenverband positiv auf den Ansiedlungsprozeß ausgewirkt haben. Ein derartiger Zusammenhang war allerdings am Salzbur-

ger Zoo nicht nachweisbar. Andererseits hatten Adultvögel auch in den Cevennen ein gegenüber adulten Wildvögeln um den Faktor 7 erhöhtes Mortalitätsrisiko. Die Freilassung von Alttieren führte dort aber zu einer schnellen Etablierung einer Brutpopulation. Die Freilassung von Alttieren kann demnach zum Erfolg eines Wiederansiedlungsprojekts beitragen, auch wenn mit relativ hohen Verlusten gerechnet werden muß.

## 5.5 Methodendiskussion

### 5.5.1 Home-Range-Modelle

BURT (1943) hat den Aktionsraum (Home Range) eines Tieres als denjenigen Raum definiert, der zur Befriedigung der alltäglichen Bedürfnisse wie Schlaf, Nahrungssuche, Komfortverhalten, Sexualverhalten, Jungenaufzucht, etc. genutzt wird. Im Gegensatz zum Territorium wird das Home Range nicht verteidigt (BARASH 1980). Erste Modelle, das Home Range eines Tieres aus einer Stichprobe von Einzellokalisationen abzuleiten, beschränkten sich auf die Formgebung. MOHR (1947) verbindet dazu die äußersten nachgewiesenen Punkte und ODUM & KUENZLER (1955) sowie SCHÖNER (1981) minimieren das so entstandene Polygon auf minimalen Umfang bei maximaler Fläche zum „Minimum Convex Polygon“, ein Verfahren, das VOIGT & TINLINE (1980) auch als „Minimum Area Method“ bezeichnen. MACDONALD et al. (1980), KENWARD (1987), BÖGEL (1987) sowie WHITE & GARROT (1990) haben darauf hingewiesen, daß die Abgrenzungsgenauigkeit des Verfahrens (Formgebung) unzureichend ist und daß häufig Bereiche in den Aktionsraum eingeschlossen werden, die effektiv ungenutzt bleiben. WHITE & GARROT (1990) haben deshalb aus den Einzellokalisationen ein konkaves Polygon mit maximalem Umfang bei minimaler Fläche diskutiert und BERBERICH (1989) hat den Aktionsraum als „Wolke“ beschrieben, die sich aus der Gesamtheit der (entsprechend der Peilgenauigkeit) zu Kreisen erweiterten Einzellokalisationen ergibt („Buffermethode“). All diese Home-Range-Modelle lassen aber keine Differenzierung des Aktionsraums nach der Nutzungsfrequenz zu. Periphere Einzelereignisse bestimmen Größe und Form, die Ergebnisse sind deshalb in hohem Maße von der Untersuchungsdauer beeinflusst. HAYNE (1949) versuchte mit der Angabe des Aktivitätszentrums als erster die innere Struktur des Home Range zu beschreiben. Verschiedene parametrische Wahrscheinlichkeitsmodelle, die eine Abgrenzung der Aktionsraumgröße in Abhängigkeit von der Nutzungsfrequenz ermöglichen, wurden von COOPER et al. (1983), JENNRICH & TURNER (1969), KOEPL et al. (1975), MAZURKIEWICZ (1971) und WINKLE (1975) entwickelt. Diese Modelle sind zwar kaum vom Stichprobenumfang beeinflusst (GUSTAFSON & FOX 1983, MACDONALD et al. 1980, WHITE & GARROT 1990), sie sind aber von der geometrischen Form auf Kreise oder Ellipsen festgelegt. Ihre Formgebung repräsentiert

deshalb i.d.R. die biologischen Gegebenheiten ungenügend (GARSHELIS 1982, GUSTAVSON & FOX 1983, METZGAR 1972). Als non-parametrische Modelle ohne feste Formvorgaben wurden einerseits Gitternetzmethoden entwickelt (MAXON 1978, SINIFF & TESTER 1965, VOIGT & TINLINE 1980), die aber in Abhängigkeit von der gewählten Gittergröße stark unterschiedliche Ergebnisse liefern, große Datenmengen voraussetzen (KENWARD 1987) und zu Vergleichszwecken wenig geeignet sind (BÖGEL 1987, MACDONALD et al. 1980). Andererseits haben FORD & KRUMME (1979) und WRAY et al. (1992) Modelle entwickelt, die ebenfalls an keine bestimmte Formgebung gebunden sind und bei der Aktionsraumabgrenzung die Nutzungsintensität berücksichtigen. Mit dem ebenfalls nicht-parametrischen „Harmonic Mean Modell“ (DIXON & CHAPMAN 1980) wurde erstmals die innere Organisation des Aktionsraums durch die Abgrenzung von Isolinien gleicher Nutzungsintensität transparent. Dazu werden die Nachweispunkte auf ein Gitterraster projiziert und alle Gitterpunkte gemäß ihrer reziproken Entfernung zu allen Nachweispunkten gewichtet. Durch dieses Verfahren werden Einzelpunkte, die einem Gitterpunkt (zufällig) besonders nahe sind, übermäßig stark gewichtet. Die erzielten Ergebnisse variieren deshalb stark mit der relativen Lage und Maschenweite des Gitterrasters (WORTON 1989), weshalb SPENCER & BARRET (1984) sowie SAMUEL et al. (1985) das Verfahren modifizierten. WORTON (1989) weist zudem darauf hin, daß das Ergebnis keine Wahrscheinlichkeitsdichte repräsentiert, und NAEF-DAENZER (1993) bemängelt die schlechte räumliche Auflösung sowie Unzulänglichkeiten in der Formgebung. Die „Isoplethen-Methode“ nach MÜLLER (1990) ist diesbezüglich vergleichbar, gewichtet aber die einzelnen Gitterpunkte nicht nach ihrer reziproken Entfernung zu den einzelnen Lokalisationen, sondern nach der Zahl der Lokalisationen pro Rasterquadrant. Dadurch ist das Verfahren unempfindlicher bezüglich der Lage der Einzelnachweise relativ zu den Gitterschnittpunkten, die Ergebnisse werden aber ebenfalls stark von der gewählten Maschenweite und Orientierung des Gitterrasters beeinflusst. ANDERSON (1982) entwickelte mit der FOURRIER-Transformation eine Alternative, deren Ergebnisse aber ebenfalls deutlich von den gewählten Gitterparametern (Gittergröße, Koordinatenursprung und Achsenorientierung) abhängen (WORTON 1989). Auch KENWARD (1987) führte mit dem „Cluster-Modell“ eine Methode ein, welche die innere Organisation des Aktionsraums entsprechend der Nutzungsfrequenz darstellen und mehrere Aktivitätszentren ausweisen kann. Bezüglich der Formgebung gelten aber dieselben Einschränkungen wie für das „Minimum Convex Polygon“. Erst mit dem „Kernel-Estimator“ gelang WORTON (1989) die Einführung eines nicht-parametrischen Home-Range-Modells, das nur minimal von der Lage oder Größe des gewählten Gitterrasters beeinflusst wird. Nach HARRIS et al. (1990) kommt es aber ähnlich wie auch beim „Harmonic mean“-Modell zu einer zu starken Gewichtung peripherer Daten. Deshalb hat NAEF-DAENZER (1993) eine Radiusbegrenzung in

den Bewertungsalgorithmus implementiert, wodurch das Modell in seinem räumlichen Auflösungsvermögen den biologischen Erfordernissen der bearbeiteten Tierart und der Datenqualität angepaßt werden kann. Es kann deshalb als das geeignetste Home-Range-Modell gelten und kam für die vorliegende Studie zur Anwendung.

### 5.5.2 Modelle zur Habitataignung und deren Übertragbarkeit

Modelle sollen reale Situationen und Prozesse nachbilden. Sie kommen dann zum Einsatz, wenn bestimmte Parameter nicht oder nicht mit vertretbarem Aufwand gemessen bzw. erhoben werden können. Durch die vereinfachte Betrachtungsweise können Modelle die Realität nicht fehlerfrei beschreiben. Bezüglich der vorliegenden Untersuchung liegen über einige relevante Parameter keine flächendeckenden Angaben vor. So sind beispielsweise keine Zahlen über Wild- und Weidetierdichten (Auftriebszahlen) und deren räumliche und zeitliche Verteilung verfügbar. Andere Variablen wie Sitzwarten- und Brutnischenangebot sowie Einsehbarkeit des Habitats müssen subjektiv beurteilt werden. Auch bei der Abschätzung des Aufwindpotentials ist man auf modellartige Abschätzungen angewiesen, die nicht über direkte Meßdaten verifizierbar sind. Insofern dienen die unter Kap. 3.10 erläuterten Modelle zur Habitataignung als Bewertungsgrundlage, um die verschiedenen Areale im Untersuchungsgebiet entlang eines Gradienten zu gewichten und dadurch vergleichbar zu machen. Je nach Komplexität des zu bewertenden Parameters können die wirklichen Verhältnisse mehr oder weniger vom Modell abweichen. Dabei spielt die Anzahl und der Differenzierungsgrad der benutzten Variablen eine entscheidende Rolle. Trotz vereinfachter Annahmen haben Modellansätze aber in vielen Fällen bei der Beschreibung der Nistplatz- und Habitatwahl die realen Verhältnisse gut beschreiben können (DONÁZAR-SANCHO et al. 1989, DONÁZAR et al. 1993, GONZALES et al. 1990, 1992, KOSTRZEWA 1987).

Aufgrund der oben ausgeführten Zusammenhänge ist bei den verschiedenen Modellen zur Habitataignung mit unterschiedlichen Bewertungsunschärfen zu rechnen: Beispielsweise läßt sich das anthropogene Störpotential, das von Siedlungen und Verkehrswegen ausgeht, recht genau modellieren, wenn man von der Plastizität im Verhalten einer Art absieht (unterschiedlich große Fluchtdistanzen, etwaige Habituationseffekte).

Auch das Modell zur Nutzbarkeit von Felswänden zu Brutzwecken dürfte die realen Verhältnisse gut treffen, da im Bereich der Nördlichen Kalkalpen davon ausgegangen werden kann, daß Felswände in geeigneter Höhenlage auch zur Brut geeignete Felsnischen aufweisen. Der Umstand, daß aus dem vorhandenen Angebot nicht mehr genutzt wird, kann also mit hoher Wahrscheinlichkeit durch die relative Lage der besetzten Brutwände zum Zoo (geringe Distanz zur Futterquelle) und die günstige geomorphologische Lage begründet werden.

Beim Modell zum potentiellen Aasangebot, das einen

möglichen Fallwildanfall aus der Geländesteilheit abgeleitet, kann ebenfalls von einer großen Aussagekraft ausgegangen werden, weil die zugrundeliegende Annahme eines relativ gleichmäßig verteilten Wildbestandes realistisch ist. Beim Modellieren des nutzbaren, natürlichen Nahrungspotentials müssen dagegen einige unschärfere Einschätzungen implementiert werden, beispielsweise die Einsehbarkeit oder das Wartenangebot verschiedener Habitattypen. Trotzdem liegen die wenigen sicheren Nachweise der Fallwildnutzung alle in gut bewerteten Bereichen, was die Aussagekraft des Modells unterstreicht.

Die Zusammenhänge, die das Zustandekommen und das Ausmaß von Aufwindkonstellationen beeinflussen, sind dagegen sehr komplex: Einerseits lassen sich die geometrischen Konstellationen wie z. B. Hangexposition und Hangneigung relativ zur Windrichtung oder zum Sonnenstand exakt quantifizieren; andererseits gibt es eine Reihe von Effekten, die sich einer exakten Modellierung entziehen. So kann beispielsweise die Windgeschwindigkeit nicht als Konstante betrachtet werden. Nach HÄCKEL (1985) nimmt sie mit zunehmendem Abstand vom Boden zu und wird von der Bodenstruktur beeinflusst:

$$v_{(h)} = v_0 \left( \frac{h}{h_0} \right)^{c-1}$$

mit:  $v_0$ : Windgeschwindigkeit in Referenzhöhe  
 $h_0$ : Referenzhöhe  
 $C$ : Habitatspezifische Konstante

Nach den Daten des Wetteramts liegen die Windgeschwindigkeiten an der Untersbergspitze etwa um den Faktor 2,5 über denen des Talbodens. Gleichzeitig erfolgt eine Drehung der Windrichtung um etwa 20° gegen den Uhrzeigersinn. Deshalb wurden zu den Berechnungen Meßwerte aus mittlerer Höhe benutzt, die sowohl bezüglich Windgeschwindigkeit als auch Windrichtung intermediär liegen. Dadurch kommt es zu einer Überschätzung der Hangaufwinde im unteren, bzw. zu einer Unterschätzung im oberen Hangbereich. Dynamische Hindernisaufwinde (vertikale Windkomponente) haben im oberen Hangbereich in einem Abstand von ca. 15 – 45 m von der Hangkante ihre stärkste Ausprägung (HÄCKEL 1985, JANSSEN & TÄNZLER 1985, KALCKREUTH 1972). Da Geier bei der Ausnutzung von Hindernisaufwinden diese Hangbereiche gezielt anfliegen, dürfte der Einfluß der relativen Flughöhe (Höhe über Grund) von untergeordneter Bedeutung sein.

Der Einfluß unterschiedlicher Rauigkeit der Bodenbedeckung dürfte nach HÄCKEL (1985) im Untersuchungsgebiet etwa zu Unterschieden in einer Größenordnung von 10 % beitragen (Konstante C in obiger Formel). Nichtlaminare Strömungen über rauhen Geländestrukturen oder an Abbruchkanten führen zudem zu Verwirbelungen, die sich – insbesondere in vertikal strukturiertem Gelände – auch auf die Windrichtung auswirken (z. B. „Rotoreffekte“ im Bereich von Bergspitzen oder „Überfallwind“ hinter der Abbruchkante am Grat).

Auch leeseitig kann es bei Hindernisaufwinden zu sogenannten Aufwindwellen kommen, über Bereichen also, denen das Modell ein geringes Hangaufwindpotential zuschreibt. Dies trifft im Untersuchungsgebiet insbesondere bei Süd-Föhnlagen zu, die im Herbst und Winter besonders ausgeprägt sind und deshalb für die untersuchte Geierkolonie von besonderer Bedeutung sind. Solche Föhnlagen sind durch hohe Horizontalwindgeschwindigkeiten (40 – 100 km/h) aus südlicher Richtung gekennzeichnet, die zu turbulenten Rotorströmungen im bodennahen Bereich der Quertäler bzw. entlang des Alpennordrandes führen, sowie zu ausgedehnten Wellenaufwinden in Höhenlagen ab 500 m über Grund. Diese Föhnwellen können effiziente Aufwinde bis in Höhen von über 7000 m NN erzeugen und wirken sich durch große Wellenlängen bzw. periodische Wiederholung noch in Entfernungen von bis zu 200 km vom Alpenkamm aus (KALCKREUTH 1972). Bei der Abschätzung des thermischen Aufwindpotentials führen nicht quantifizierbare Effekte ebenfalls zu Unschärfen: Beispielsweise treten im Tagesverlauf regelmäßige Berg-/Tal-Windsysteme auf (ENDERS 1979, HOFMANN 1992, JANSSEN & TÄNZLER 1985, KALCKREUTH 1972), die morgens auch über abgeschatteten Hängen zu anabatischen Aufwinden führen können (Sogwirkung aufsteigender Luftmassen über der Sonnenseite) oder abendliche katabatische Fallwinde verursachen (Absinken der sich abkühlenden Luft). Auch andere Faktoren, welche Ausmaß, Höhenausdehnung und Regelmäßigkeit thermischer Aufwinde beeinflussen, mußten unberücksichtigt bleiben, wie z. B. die „Rauhigkeit“ der Bodenbedeckung als Voraussetzung für die Ablösung von Thermikschläuchen oder der Temperatur- und Feuchtigkeitsgradient der Atmosphäre. Labile Luftschichtungen mit Temperaturgradienten von 0,6 – 0,8°C / 100 m bzw. relativ feuchte Luft können die Thermikausbildung ebenfalls fördern (KALCKREUTH 1972). Hohe Bodenfeuchte oder feuchte Bodenbedeckung führen dagegen zu hohem Energieverlust durch Verdunstung und hoher Wärmeleitfähigkeit mit verzögerter Bodenerwärmung. Sonnentage nach einer Schlechtwetterphase werden aus diesem Grunde überbewertet, und sonnenabgewandte Hangbereiche werden in der Praxis noch schlechtere Thermikverhältnisse bieten, als es die Bewertung durch das Modell zum Ausdruck bringt. Andererseits kann es durch die höhere Wärmespeicherkapazität feuchter Böden abends zu sogenannter Umkehrthermik kommen, wenn trockenere Hangbereiche bereits katabole Talwinde aufweisen (KALCKREUTH 1972). Auch die Höhenabhängigkeit der solaren Bestrahlungsstärke, die im Untersuchungsgebiet nach ENDERS (1976) Unterschiede im Höhengradienten von bis zu 30 % verursacht, blieb unberücksichtigt. Hochgelegene Bereiche im Untersuchungsgebiet können deshalb im Modell unterbewertet sein. KALCKREUTH (1972) hat darauf hingewiesen, daß obere Hangbereiche aufgrund ihrer Lage oberhalb der Tallinversion und der früheren Sonneneinstrahlung frühere Flugaktivitäten gestatten. Auch Länge und Reliefstruktur der Hänge haben einen Einfluß auf das Thermikgeschehen (KALCKREUTH 1972). Die geschil-

derten Zusammenhänge können sowohl horizontal als auch vertikal zu kleinräumigen Variationen der Aufwindkonstellationen führen, die im Bewertungsmodell nicht darstellbar sind.

Neben diesen nicht berücksichtigten Effekten sei noch auf eine grundlegende Schwäche des Modells zur Thermikbewertung hingewiesen. Nach Formel 7 verbessert sich die Bewertung mit zunehmender Sonneneinstrahlungsdauer. Dies steht im Widerspruch zu der Erfahrung, daß die Intensität thermischer Aufwinde i.d.R. ein breites Maximum zwischen ca. 12 und 16 Uhr MOZ aufweist (KALCKREUTH 1972). Thermikbewertungen für den späten Nachmittag und frühen Abend werden dadurch überbewertet. Dieser Effekt wirkt sich allerdings nur auf ebene Flächen, sowie wenig geneigte Süd- und Südwesthänge aus, da nur diese eine ununterbrochene Einstrahlungsdauer bis zum späten Nachmittag aufweisen (alle Bewertungen in Kap. 4.3 beziehen sich auf Uhrzeiten vor 15 Uhr MOZ, werden also von dem genannten Effekt nicht betroffen). Die Bewertungen des Thermikpotentials für 16 und 18 Uhr (s. Kap. 4.7) werden aber tendenziell zu optimistisch ausfallen.

In der Regel werden sich dynamische Hindernisaufwinde und thermische Aufwinde in ihrer Wirkung addieren. Eine additive Verknüpfung von dynamischen Hindernisaufwinden und thermischen Aufwinden wird aber bei größeren Windgeschwindigkeiten die realen Verhältnisse nicht richtig beschreiben, weil ausgeprägte Horizontalwinde die Ausbildung thermischer Aufwinde behindern oder sogar unterbinden können. Deshalb wurde bei der additiven Verknüpfung beider Aufwindquellen eine Skalenlimitierung vorgenommen (s. Kap. 3.10).

Auf die Schwierigkeiten bei der Verknüpfung der Einzelbewertungen zu einem pauschalen Modell zur Habitataignung ist bereits in Kap. 3.10 hingewiesen worden. Hierbei kommt insbesondere zum Tragen, daß einerseits jeder Einzelfaktor limitierend sein kann, andererseits aber Bereiche, die z. B. als Bruthabitat völlig ungeeignet sind, zum Fliegen oder zur Nahrungssuche hervorragend geeignet sein können. Ein für Gänsegeier optimal geeigneter Lebensraum besteht aus einem räumlichen Mosaik (Nebeneinander) von Kompartimenten, die jeweils nur einen ganz spezifischen Habitatananspruch befriedigen und keinesfalls bezüglich aller Bewertungsfaktoren optimal sind.

Die Beurteilung der Habitataignung bezüglich der Faktoren Aufwindpotential, Nahrungsangebot, anthropogenes Störpotential und Brutplatzangebot trifft eine Bewertung, die für alle aasfressenden und felsbrütenden Großgreifvögel Gültigkeit haben dürfte. Leider steht einer Übertragung der Modelle über das GIS auf andere geografische Einheiten (z. B. Alpenbogen) das Fehlen einer geeigneten digitalen Datenbasis entgegen. Derzeit ist als großräumige, länderübergreifende Datenbasis nur die „Digital Chart of the World“ im Digitalisierungsmaßstab von 1:1.000.000 verfügbar. Diese Datenbasis beinhaltet aber keine Daten über die Bodenbedeckung und liefert aus Maßstabsgründen unzureichende Angaben über Infrastruktur (anthropogenes Störpotential) und zu wenig differenzierte Informationen über das Geländere relief (Nivellierung). Deshalb wur-



de auf die Anwendung der Modelle zur Habitateignung auf den Alpenbogen verzichtet. I.d.R. sind auch Literaturangaben über die Verbreitung aasfressender Großgreifvögel räumlich zu wenig differenziert um die Aussagen der Modelle großräumig zu verifizieren (GLUTZ 1971, GENSBØL & THIEDE 1986).

### 5.5.3 Flugmechanische Modelle

Stoffwechselformen, wie sie unter Laborbedingungen routinemäßig durchgeführt werden (z.B. über Messung der Umsatzraten von Sauerstoff und Kohlendioxid unter Berücksichtigung der Evaporation) sind im Freiland nicht durchführbar. Die Bestimmung von Energieumsätzen an freifliegenden Vögeln kann zwar über die Energiebilanz zwischen aufgenommener Nahrung und Exkrementen (KOMEN 1992) oder über die Abbauraten schweren Wassers erfolgen (GESSAMAN et al. 1991a, PENNYCUICK et al. 1990); dies setzt aber entweder die lückenlose Dokumentation aller Fress- und Exkretionsvorgänge voraus (Bilanzmethode) oder den Wiederfang der Versuchstiere nach 24 – 48 h zur Ermittlung der verbliebenen Konzentration schweren Wassers. Zudem lassen sich mit diesen Methoden immer nur mittlere Stoffwechselraten über relativ große Zeitintervalle bestimmen. Deshalb sind Aussagen über den Energieaufwand für einzelne Flugaktivitäten nicht möglich. Flugmechanische Modelle bieten diesbezüglich klare Vorteile, da sie den physikalisch notwendigen Energiebedarf für einzelne Flugaktivitäten quantifizieren und keiner Annahmen über die physiologische Assimilationseffizienz und den mechanischen Wirkungsgrad des Muskelapparats bedürfen (PENNYCUICK 1989). TUCKER (1973), NACHTIGALL (1984) sowie PENNYCUICK (1989) haben unter kontrollierten Laborbedingungen (Windkanal) gezeigt, daß flugmechanische Modelle die physiologisch ermittelten Energieumsätze mit guter Genauigkeit beschreiben können. Viele Eingangsparameter (Gewicht, Spannweite, Streckungsverhältnis der Flügel, Flügel- und frontale Körperquerschnittsfläche) sind einfach meßbar oder können der Literatur entnommen werden (MENDELSON et al. 1989, PENNYCUICK 1972); andere Größen wie z.B. der Widerstands-Beiwert ( $c_w$ ) oder der Auftriebs-Beiwert ( $c_A$ ) müssen entweder im Windkanal ermittelt werden oder können nach exakter Vermessung der Flügelprofile näherungsweise berechnet werden (NACHTIGALL 1984). Wie in Kap. 3.11 dargelegt, setzt sich der Gesamtwiderstand aus den Komponenten „induzierter Widerstand“, „Profil-Widerstand“ sowie „parasitärer Widerstand“ zusammen (Entsprechendes gilt für den Widerstands-Beiwert  $c_w$ ). Deshalb beeinflussen einzelne Komponenten nicht nur die Flugleistung (s. Kap. 3.11), sondern auch die aerodynamischen Kenndaten. Nach TUCKER (1987) sowie PENNYCUICK (1975, 1989) verändern sich sowohl der induzierte Widerstand als auch der Profilwiderstand mit der Flügelgeometrie. Dabei entziehen sich einzelne Komponenten einer exakten

Quantifizierung (insbesondere der Profilwiderstand); sie können aber für starre Flügelgeometrien relativ gut abgeschätzt werden. TUCKER (1987) hat versucht, die Effekte variabler Flügelgeometrie auf diese Komponenten zu quantifizieren. Die resultierenden Unterschiede bei der Bestimmung von aerodynamischen Polaren waren allerdings wenig ausgeprägt (TUCKER 1987).

Individuelle Unterschiede in den aerodynamischen Beiwerten sind nach NACHTIGALL (1984) gering, obwohl sich die Flügelprofile und ihre aerodynamischen Kenndaten vom proximalen Flügelansatz hin zu distalen Flügelbereichen deutlich verändern (NACHTIGALL 1979). TUCKER (1987) sowie TUCKER & HEINE (1990) haben darüberhinaus festgestellt, daß sogar Arten mit völlig unterschiedlichen Flügelgeometrien (Juggarfalke, Rabengeier und Wüstenbussard) überraschende Ähnlichkeiten in aerodynamischen Kenngrößen aufweisen, insbesondere dann, wenn die Daten auf gleiche Reynolds-Zahlen bezogen werden (Die Re-Zahl hat Relevanz für dimensionsabhängige Strömungsphänomene und ergibt sich nach TUCKER 1987 aus Profildicke  $b$ , Fluggeschwindigkeit  $v$ , Luftdichte  $\rho$  und Luftviskosität  $\mu$  als:  $Re = b \cdot v \cdot \rho / \mu$ ). Zumindest bei vergleichbaren Flügelgeometrien und im Bereich unkritischer Reynoldszahlen (vgl. NACHTIGALL 1979) können deshalb Beiwerte mit geringen Fehlern auf andere Vogelarten übertragen werden. Deshalb überrascht es kaum, daß an verschiedenen Alt- und Neuweltgeiern durchaus vergleichbare Ergebnisse erzielt werden (eigene Ergebnisse, McGAHAN 1973a, 1973b, PENNYCUICK 1971b, 1972, TUCKER 1988).

Unschärfen bei der Bestimmung von Energieumsätzen ergeben sich dagegen durch die Abschätzung der Thermikintensität (vertikale Luftgeschwindigkeit) oder aus der Übertragung von meteorologischen Meßdaten (Windrichtung bzw. Windgeschwindigkeit) von der Meßstelle auf andere Lufträume. Diese Parameter gehen in die flugmechanischen Rechnungen ein und verursachen Fehler, deren Ausmaß von der räumlichen und zeitlichen Variation des Meßparameters abhängt.

Auch der, im Vergleich zum Grundumsatz erhöhte Energieaufwand für physiologische Grundfunktionen wie Kreislauf und Respiration, läßt sich nicht genau ermitteln, beträgt aber nach Messungen von TUCKER (1973) je etwa 5 % der physikalischen Leistung. Bei aerober Stoffwechselfunktion kann demnach die physiologisch bedingte Erhöhung der Umsatzrate mit einem Aufschlag von 10 % gut angenähert werden und wurde in dieser Form auch berücksichtigt (s. Kap. 3.11).

Neben der Bestimmung der Flugleistung können flugmechanische Modelle auch der Abschätzung der, mit dem Formationsflug verbundenen, relativen Energieersparnis dienen (HUMMEL 1973, 1978). Bezogen auf Gänsegeier haben solche Modelle aber nur bei Paarbindungsflügen eine gewisse Relevanz, da sich zur Maximierung der Sucheffizienz einzelne Mitglieder einer Kolonie i.d.R. großflächig im Luftraum verteilen (s. Kap. 5.2.4).

Tab. 9: Einfluß des Telemetriesenders auf flugrelevante Parameter.

Parameter	Gleitflug	Schlagflug
Energiebedarf pro Flugstrecke	- 0,5 %	+ 4,6%
optimale Fluggeschwindigkeit	+ 0,7 %	- 0,7%
Gleitverhältnis	- 1,3 %	-
minimale Sinkgeschwindigkeit	+ 1,5 %	-
Minimalgeschwindigkeit	+ 1,0%	-
optimaler Thermikradius	+ 1,9 %	-

#### 5.5.4 Telemetriesender und dessen Einfluß auf flugrelevante Parameter

Eine telemetrische Markierung kann mit Rückwirkungen auf Verhalten (HOOGE 1991, RAMAKKA 1972), Konstitution (HELB & DIEHL 1986, PERRY 1981), Stoffwechselrate (GESSAMEN et al. 1991a, 1991b, PENNYCUICK et al. 1990), Bruterfolg (FOSTER et al. 1992), Flugstrecken (GESSAMEN & NAGY 1988, PENNYCUICK & FULLER 1987), Flugprofile (PENNYCUICK & McALLISTER 1989) und Mortalität (BURGER et al. 1991, CARROLL 1990, PATON et al. 1991) der besenderten Individuen verbunden sein. OBRECHT et al. (1988) haben den Einfluß des Telemetriesenders auf die Aerodynamik des Vogelkörpers näher untersucht. Bezogen auf verschiedene Parameter (Energiebudget, Flugstrecken, Flugprofile, etc.) betrug der Sendereinfluß je nach Studie und untersuchter Art zwischen < 2 % (GESSAMEN et al. 1991a, 1991b, PENNYCUICK et al. 1990) und bis zu 100 % (GESSAMEN & NAGY 1988). Während kurzzeitige Verhaltensänderungen häufig auftreten (vgl. KENWARD 1987, FULLER 1994), sind langfristige Effekte selten und deuten häufig auf ein zu hohes Sendergewicht hin (JOHNSON & BERNER 1980). Auch wenn die allermeisten telemetrischen Arbeiten von keinen methodischen Rückwirkungen berichten und viele Autoren einen signifikanten Einfluß auf die erzielten Ergebnisse widerlegen (HINES & ZWICKEL 1985, KÁLÁS et al. 1989, KLUGMAN & FULLER 1990, KORSCHGEN et al. 1984, OLSEN et al. 1992, SEDINGER et al. 1990, SNYDER 1985, SODHI et al. 1991, TAYLOR 1991), sollte der mögliche Sendereinfluß auf die Ergebnisse evaluiert werden. KENWARD (1987) weist darauf hin, daß das Ausmaß der Verhaltensänderungen häufig auch vom Zeitpunkt der Besenderung abhängt und viele Tiere während des Balzverhaltens und der Jungenaufzucht besonders empfindlich reagieren können. Nach FRANK & SUDMANN (1993) muß auch individuell mit deutlich unterschiedlichen Reaktionen gerechnet werden. Im Zuge der Sendermarkierung der Gänsegeler kam es nur zu kurzfristigen Verhaltensänderungen, die sich einerseits auf die Intensivierung der Gefiederpflege nach der Besenderung und andererseits auf eine Meidung des Zoos in den Tagen nach der Fangaktion bezogen. All diese Verhaltensänderungen verschwanden bei immaturren Individuen binnen weniger Tage. Bei (sub)adulten Vögeln konnten sie sich dagegen auf maximal 2 Wo-

chen erstrecken (BÖGEL 1987). Im Zuge der Entwicklung des Sendergeschirrs kam es im Prototypstadium bei immaturren Bartgeiern (*Gypaetus barbatus*) aufgrund von Wachstumsprozessen und fehlender Elastizität zu Verträglichkeitsproblemen (BÖGEL & MÄCK 1989); in späteren Entwicklungsphasen an Gänsegeiern führte in einem Fall eine, durch den Vogel bedingte Materialbeschädigung, zu einer mangelnden Passgenauigkeit (Geschirr zu lose) und in der Folge zu ernsthaften Schürfungen im Bereich des Flügelbugs. In späteren Entwicklungsphasen kam es in zwei Fällen zur Beschädigung des Geschirrmaterials bevor sich die Sollbruchstelle löste. Dies kann ohne Verlust an Elastizität durch Überzug der Silikonschnur mit einem Teflonschlauch vermieden werden. In 16 (84,2 %) von insgesamt 19 Anwendungen des Sendergeschirrs kam es dagegen zu keinerlei Verträglichkeitsproblemen, wobei die Geschirre z. T. nicht die volle Senderlaufzeit am Vogel verblieben (Wiederfang bzw. Unfall). Der Einfluß des Senders auf die flugrelevanten Parameter wurde nach PENNYCUICK (1989) ermittelt. Demnach bleibt der Einfluß auf alle relevanten Parameter < 4,6 % (Tab. 9). Berücksichtigt man, daß ein voller Kropf dieselben Flugparameter um bis zu 16 % verschlechtert (vgl. Kap. 4.2), so kann trotz einer additiven Wirkung (Sender und voller Kropf) von einem vernachlässigbaren Einfluß des Telemetriesenders auf die Ergebnisse dieser Studie ausgegangen werden.

#### 5.5.5 Telemetriesystem

Ein Ziel der Methodenentwicklung lag in der Adaptierbarkeit der Methode auf andere Tierarten, Fragestellungen und Untersuchungsgebiete. Nach den in diesem Pilotprojekt gesammelten Erfahrungen und den in Kap. 5.6.2 diskutierten Angaben zur Datenqualität kann gesagt werden, daß sich die Methode zur universellen Anwendung im zoologischen Bereich eignet. Durch die Kompatibilität mit allen gängigen Telemetriesendern müssen bezüglich Gewicht und Größe der Sender oder dem möglichen Einsatzspektrum keine Einschränkungen gemacht werden, d. h. es gelten nur die allgemein für die Sendermarkierung von Tieren gültigen Beschränkungen: Sender ab ca. 1 Gramm stehen zur Verfügung und das Beziehungsgefüge zwischen Sendergewicht, Reichweite und Lebensdauer bestimmt die entsprechenden Grenzen.

Einschränkend muß allerdings angemerkt werden, daß die in Kap. 5.6.2.3 diskutierten Wechselwirkungen mit dem topografischen Umfeld dazu führen, daß in verschiedenen Einsatzbereichen mit unterschiedlich guten Ergebnissen gerechnet werden muß. Deshalb werden Anwendungen in topografisch schwierigem Gelände ungenauere Ergebnisse liefern und häufiger fehlerbehaftet sein. Dichte Vegetation ist in diesem Sinne ebenfalls nachteilig, insbesondere wenn aufgrund der besondern Tierart bzw. aus Reichweitegründen die Empfangsanlagen innerhalb des Waldbestands stehen müssen. Diesbezüglich ist dringend eine Mastkonstruktion zu empfehlen, die eine Antennenhöhe von ca. 4 m (doppelte Wellenlänge) über der Baumkrone ermöglicht, was wegen des damit verbundenen Reichweitengewinns ohnehin zweckmäßig ist.

In ähnlicher Weise wirkt sich die Orientierung der Sendeantenne am Tier aus. Aus Gründen, die in Kap. 5.6.2.3 diskutiert werden, wird eine Sendermontage mit möglichst vertikaler Sendeantenne die besseren Ergebnisse liefern als eine horizontale oder gar spiralförmig gewickelte Antenne.

Bei Anwendungen, in denen sich derart ungünstige Systemvoraussetzungen nicht vermeiden lassen, sollte deshalb ein dichteres Netz an Peilanlagen zum Einsatz kommen. Auch wenn die Ergebnisse einzelner Peilstationen divergieren, so kommt es doch im Bereich des Tierstandorts zu einer Häufung der Peilstrahlenschnittpunkte. LENTH (1981) hat Verfahren der direktionalen Statistik eingeführt, die in solchen Fällen noch relativ genaue Standortkoordinaten liefern können (s. Kap. 5.6.2.5). Grundsätzlich ist es deshalb zweckmäßig, eine angemessene Systemkonfiguration bzw. den Anteil an fehlerhaften Standortbestimmungen experimentell durch Auslegen von Testsendern zu bestimmen.

Die Fähigkeit des Systems, Impulsdauer- und Impulsintervall-codierte Meßdaten mitzuerfassen, kann unter Verwendung von PDM/PIM-Modulationsverfahren in anderen Anwendungen vielseitig genutzt werden: von einfacher Aktivitätserfassung (EXO 1989, KENWARD et al. 1982) über die Messung exogener Parameter wie Temperatur (HIRONS & OWEN 1982), Licht (ALTHOFF et al. 1989), Luftdruck/Flughöhe (BÖGEL & BURCHARD 1992), Salinität (GARNER et al. 1989), Wasserdruck/Tauchtiefe (MARTIN et al. 1992) bis hin zur Messung endogener Parameter wie Körpertemperatur (BUTLER 1980, SCHOBER 1992), Verdauungsaktivität (KUECHLE et al. 1987), Herzschlagfrequenz (DIEHL & VOGT 1988, GESSAMEN 1974, SCHOBER 1992), Muskelkontraktion (BUTLER 1980), Hirnaktivität (SCHMIDT et al. 1989), Atemfrequenz (WOAKES & BUTLER 1975, 1980) oder auch Fließgeschwindigkeiten in Gefäßen (SMITH & BARNES 1989) ist ein weites Einsatzspektrum möglich. Dabei muß allerdings berücksichtigt werden, daß aufgrund der Aufgabenteilung in Standort- und Impulsmessung, durch das sukzessive Abarbeiten mehrerer Individuen sowie durch die benutzten Modulationsverfahren keine kontinuierliche Meßreihe möglich ist. Deshalb sind sich langsam verändernde Meßparameter mit weniger Informationsverlust zu er-

fassen als solche, die schnelle und sprunghafte Meßwertänderungen aufweisen.

Im Gegensatz zur Standortbestimmung gibt es bei Impulsmessungen keine topografisch bedingten Meßfehler. Deshalb kann innerhalb des Empfangsbereichs mit einer konstanten Auflösung von  $\pm 1$  ms gerechnet werden. Projekte, die Daten zur besseren Abschätzung der Methoden-Übertragbarkeit liefern werden, sind eine Reh- und Rotwilduntersuchung des Forschungsinstituts für Wildtierkunde in Wien, eine Studie über die Weiße Oryxantilope (*Oryx leucocephalus*) in der Negevüste (Israel), sowie Studien über verschiedene Säuger- und Vogelarten im Nationalpark Donaña in Spanien.

## 5.6 Datenqualität

### 5.6.1 Genauigkeit der Temperatur- und Luftdruckmessung

Werden Eichkurven über Regressionsfunktionen angenähert, so ergeben sich je nach Paßgenauigkeit der Kurven Näherungsfehler in unterschiedlichem Ausmaß. In Abb. 56 ist der diesbezügliche Fehler für die Temperaturmessung dargestellt. Daraus wird ersichtlich, daß die Abweichung gegenüber den Eichdaten im Temperaturbereich von  $-15^{\circ}\dots+50^{\circ}\text{C}$  innerhalb von  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  bleibt. Wie in Kap. 3.5 dargestellt, dient die Temperaturmessung in erster Linie dazu, die temperaturabhängigen Regressionsparameter bei der Luftdruck- bzw. Flughöhenmessung zu bestimmen. Da diese sich erst bei Temperaturabweichungen von mehr als  $5^{\circ}\text{C}$  wesentlich verändern, sind Regressionsfehler in der Größenordnung von  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  vernachlässigbar. Zudem werden relative Temperaturänderungen von  $0,1^{\circ}\text{C}$  aufgelöst, so daß z. B. die Effizienz von thermoregulatorischem Verhalten sicher bewertet werden kann.

Bei der Luftdruckmessung ist dagegen eine möglichst hohe Genauigkeit notwendig, weil sich bereits geringe Luftdruckänderungen deutlich auf die Flughöhe auswirken: Fehler in der Luftdruckmessung von beispielsweise 1 % können bei der barometrischen Höhenbestimmung zu Abweichungen von bis zu 100 m führen. Somit kommt hier der Paßgenauigkeit der Regressionsfunktion eine besondere Bedeutung zu. Abb. 57 zeigt, daß die absoluten Meßfehler (umgerechnet auf Höhenmeter) im Bereich 400 ... 950 mbar innerhalb  $\pm 50$  m bleiben. Dies entspricht einem Höhenbereich vom Talboden (440 m NN) bis ca. 6000 m NN. Blieben die Sendertemperaturen unberücksichtigt, so würden sich durch thermische Drifteffekte Meßfehler von bis zu 250 m ergeben (Abb. 58).

Da die barometrische Höhenformel von einer linearen Temperaturschichtung der Atmosphäre von  $0,65^{\circ}\text{C} / 100$  m ausgeht, ergeben sich in der Praxis zusätzliche Fehler bei der Höhenberechnung, sofern die Temperaturschichtung der realen Atmosphäre hiervon abweicht. In Formel 5 wird deshalb der zwischen Berg und Tal gemessene Temperaturgradient der Atmosphäre berücksichtigt. Es wird aber vorausgesetzt, daß dieser über den gesamten Höhengradienten konstant ist. Dies trifft aber nicht für alle Wetterlagen zu, so daß

Tab. 10: Experimentelle Bestimmung der Genauigkeit der Höhenmessung im Feld.

Senderstandort		Berechnete Daten		
Höhe [m]	Luftdruck [mbar]	Luftdruck [mbar]	Höhe [m]	Differenz [mbar] / [m]
442	952	951	444	- 1 / + 2
442	952	948	478	- 4 / + 36
480	968	963	519	- 5 / + 39
480	968	962	528	- 6 / + 48
*555	958	953	597	- 5 / + 42
648	948	943	687	- 5 / + 39
650	948	943	687	- 5 / + 37
650	948	942	696	- 6 / + 46
*671	945	939	719	- 6 / + 48
780	914	912	794	- 2 / + 14
991	890	888	1011	- 2 / + 20
*1097	897	900	1066	+ 3 / - 31
1287	858	861	1261	+ 3 / - 26
1287	858	858	1289	± 0 / + 2
*1448	859	856	1473	- 3 / + 25
*1905	811	808	1933	- 3 / + 28
*2073	794	787	2126	- 7 / + 53
*2713	732	725	2773	- 7 / + 60
*2837	720	724	2797	+ 4 / - 40
*2960	709	706	2999	- 3 / + 39
*3178	689	693	3129	+ 4 / - 49
*3572	655	660	3517	+ 5 / - 55
*3630	651	652	3614	+ 1 / - 16
*3688	646	647	3676	+ 1 / - 12

\* Referenz: geeichter Sportflugzeug-Höhenmesser.

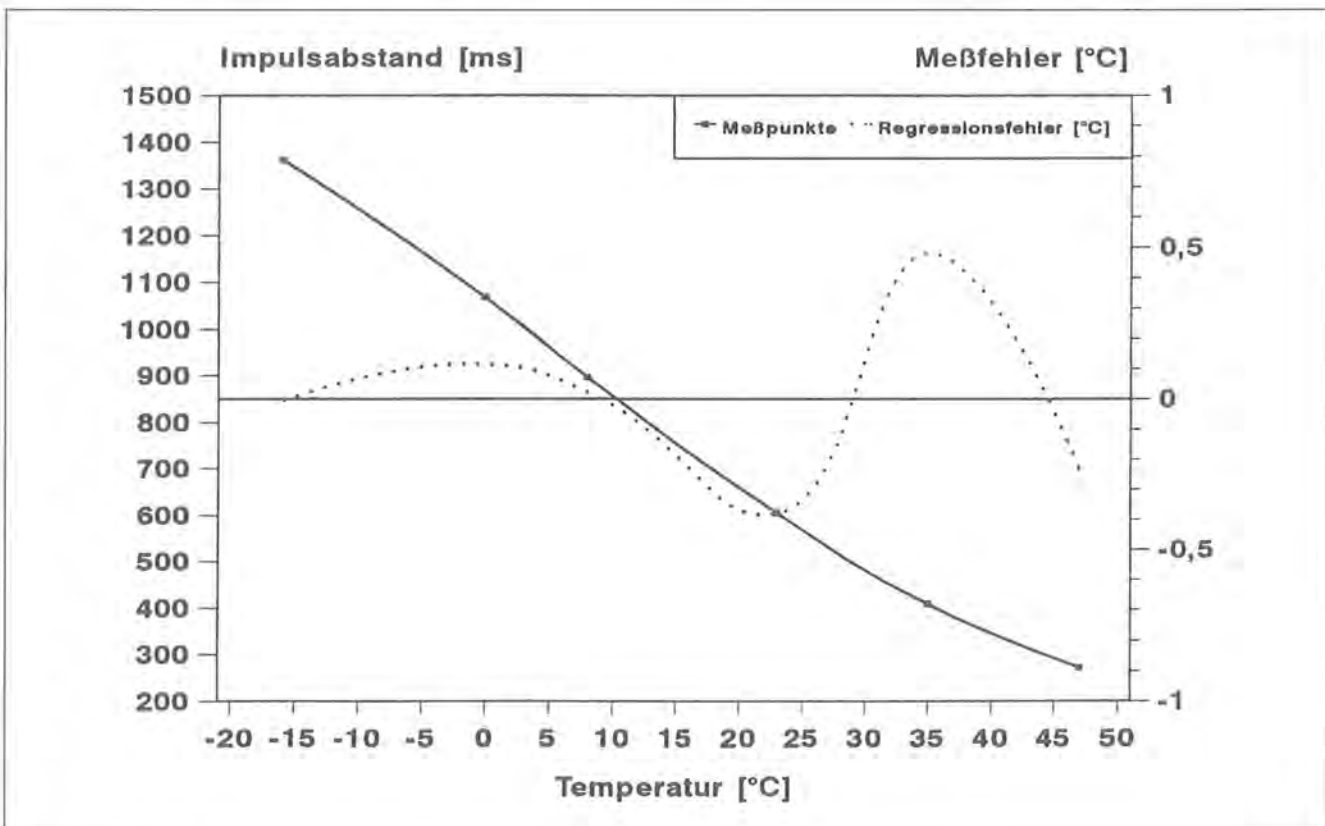


Abb. 56: Temperatur-Übertragungsfunktion eines Senders mit Regressionsfehler.

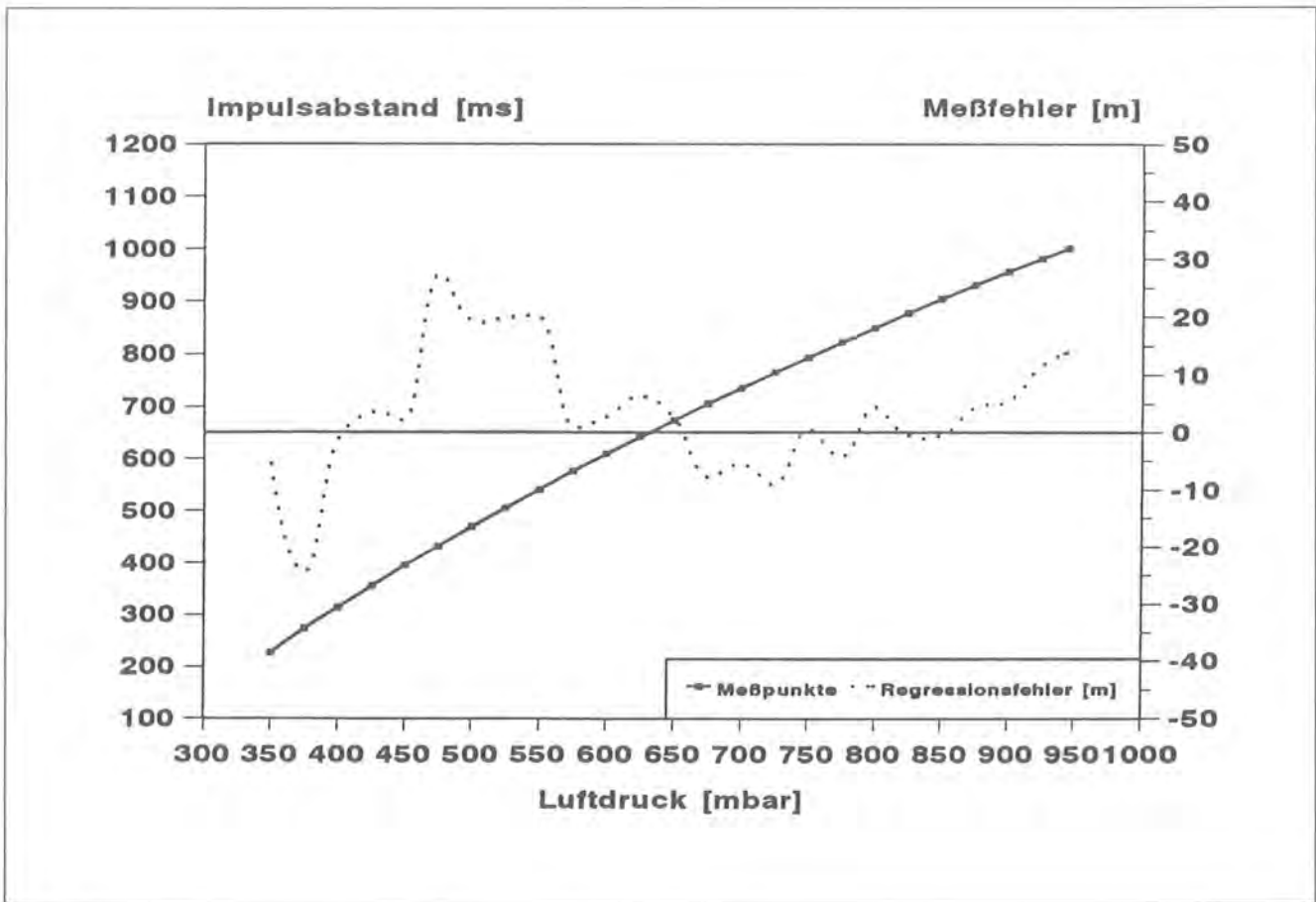


Abb. 57: Luftdruck-Übertragungsfunktion eines Senders mit Regressionsfehler.

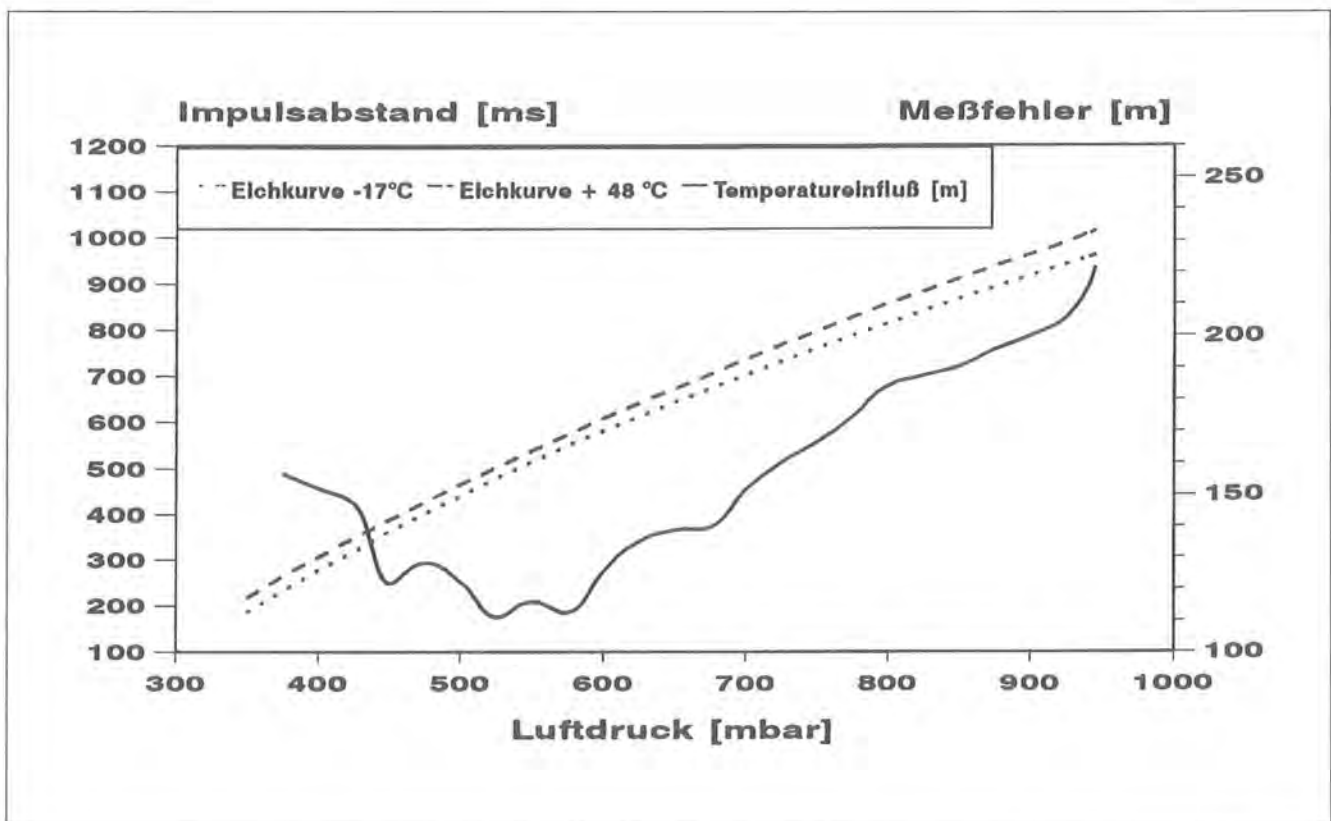


Abb. 58: Temperatureinfluß auf den Fehler bei der Flughöhenbestimmung: Abweichung von der mittleren Übertragungsfunktion (vgl. Abb. 57).

sich daraus wetterabhängig mehr oder weniger große Meßfehler bei der Höhenbestimmung ergeben. Erfahrungsgemäß sind diese bei Inversionswetterlagen recht ausgeprägt und können trotz hoher relativer Auflösung (s.u.) bis zu 150 m betragen. Derartige Fehler lassen sich nur verringern, wenn aus Höhenschichten Luftdruckreferenzen vorliegen, die möglichst wenig von der effektiven Flughöhe abweichen. Es muß dann nur über kleine Höhengradienten extrapoliert werden, so daß ein Netz von Referenzsendern über verschiedene Höhenstufen diesbezügliche Fehler erheblich minimieren kann. Feldtests haben in einem Bereich zwischen 440 und 3700 m Höhe Gesamtfehler in der Höhenbestimmung von maximal 60 m ergeben (mittlere Abweichung:  $\pm 33,6$  m  $\Delta < 2,5\%$ ,  $s = 16,2$ ,  $n = 24$ , s. Tab. 10).

Wie auch bei der Temperaturmessung ist die relative Auflösung wesentlich besser: Luftdruckänderungen von  $\pm 2$  mbar sind reproduzierbar, was (je nach Höhengschicht) einer Flughöhenänderung von  $\pm 16...30$  m entspricht. Dies war bei der Analyse der Flugbiologie von besonderer Bedeutung.

In der Regel reagieren Meßfühler unterschiedlich, je nachdem ob der eigentliche Meßwert in aufsteigender oder absteigender Richtung erreicht wird, ein Phänomen, das als Hysterese bezeichnet wird. Das Ausmaß der Hysterese war bei der Temperaturmessung experi-

mentell nicht zu bestimmen und betrug bei der Luftdruckmessung  $\pm 1$  mbar (entsprechend  $\pm 8...15$  m). Sie ist somit etwa halb so groß wie die relative Auflösung des Systems. Bei beiden Meßmodi ist der Hystereseeffekt sicher in einer, gegenüber der absoluten Meßgenauigkeit vernachlässigbaren Größenordnung. Durch Alterungsprozesse ändern sich die Kennlinien der Meßfühler im Sender. Nachkalibrierungen ergaben eine Langzeitstabilität bei der Temperaturmessung von  $\pm 1^\circ\text{C}$ , bei der Luftdruckmessung von  $\pm 5$  mbar. Sofern sich die Regressionsparameter der Sender über den Untersuchungszeitraum änderten, wurde ein zeitlich kontinuierlicher Übergang postuliert und die Regressionsfunktionen entsprechend angeglichen.

### 5.6.2 Peilgenauigkeit

Die erzielbare Peilgenauigkeit ist von zentraler Bedeutung bei der Analyse raumbezogener Daten wie der Abgrenzung von Home Ranges, der Analyse der Habitatnutzung, der Flugbiologie oder intra- bzw. interspezifischer Interaktionen.

Drei Komponenten tragen zu Peilfehlern bei: 1) die systembedingten Winkelauflösung, 2) Symmetriefehler der Antenne und 3) topografisch bedingte Peilfehler. Bei der experimentellen Bestimmung der Peilgenauig-

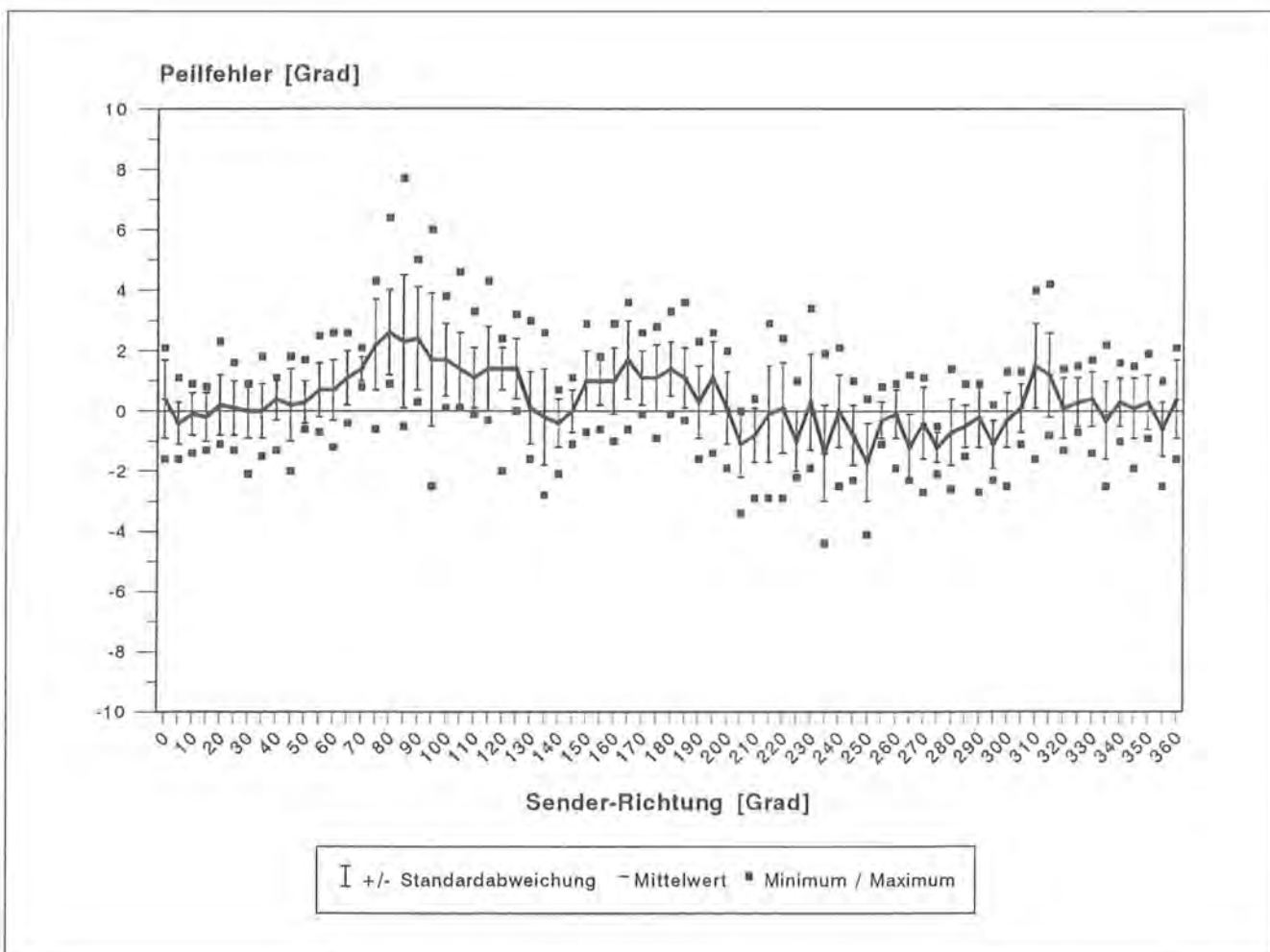


Abb. 59: Symmetriefehler einer Dopplerantenne (Senderentfernung 50 m,  $n=10$  paarweise gemittelte Rechts-/Links-Rotationen).

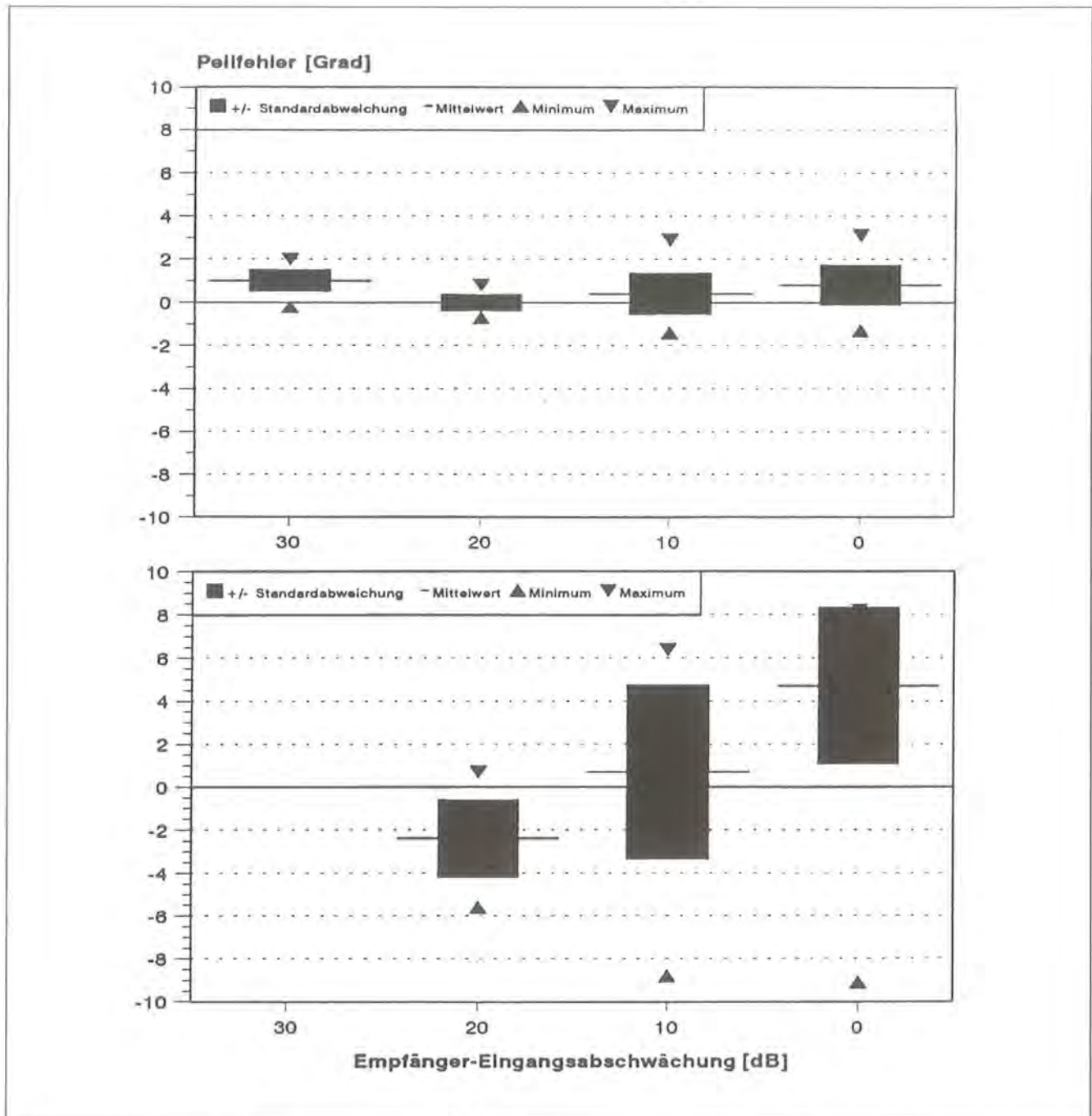


Abb. 60: Einfluß der Geländetopografie auf die Peilgenauigkeit in Abhängigkeit von der Empfängerempfindlichkeit (Senderentfernung 5,2 km, n = 25 paarweise gemittelte Rechts-/Links-Rotationen). Optimale Topografie (oben), Multipath-Empfangssituation (unten).

keit muß berücksichtigt werden, daß nur Punkt 1) eine für alle 3 Peilanlagen konstante Größe darstellt, Punkt 2) für jede Empfangsantenne bereits unterschiedliche Werte verursacht und Punkt 3) situationsbedingt in großem Ausmaß variiert. Es ist deshalb zweckmäßig, die genannten Einflüsse getrennt zu quantifizieren.

#### 5.6.2.1 Systembedingte Peilgenauigkeit (Peilsystemfehler)

Die systembedingte Peilgenauigkeit ergibt sich aus der Winkelauflösung des Dopplerpeilers. Sie ist eine Funk-

tion des Frequenzhubs, also letztlich abhängig von der Rotationsfrequenz und dem Kreisdurchmesser (Basis) der Dopplerantenne (vergl. HÄMMERLE 1989). Als Maß für die Winkelauflösung kann die Reproduzierbarkeit einer Peilsituation gelten: Die doppelte Streuung der gemessenen Winkel beschreibt ein Konfidenzniveau von 95 % (lediglich 5 % der Peilungen liegen außerhalb dieser Streubreite). Legt man dieses Maß zugrunde, so ergibt sich unter optimalen Bedingungen eine Winkelauflösung von  $\leq 1^\circ$ . Nach der Klassifizierung von BENOIT (1989) entspricht dies der (höchsten) Peilgüte „A“ bei einer Einstufung in 4 Klassen.

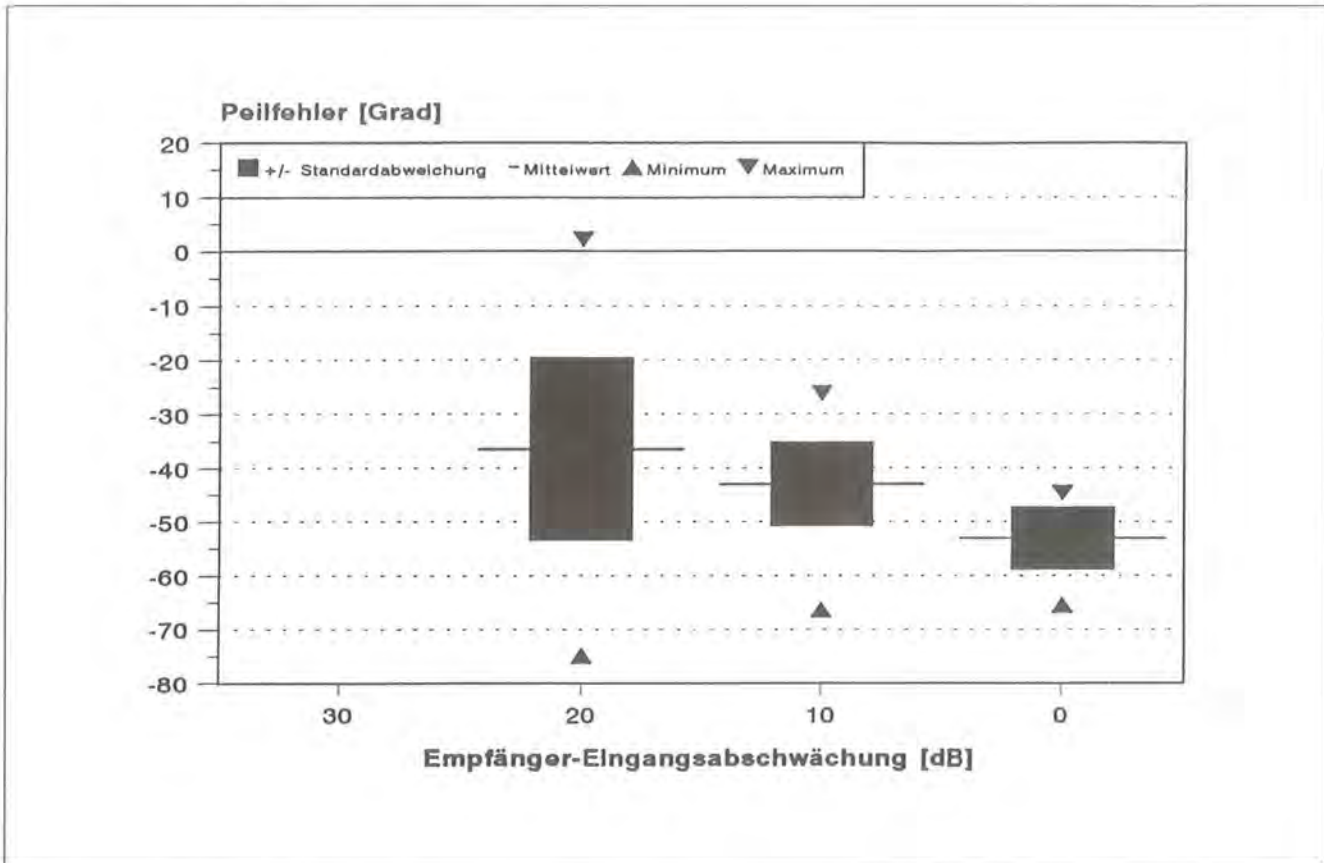


Abb. 61: Peilfehler für eine Peilsituation mit topografisch ungünstigem Umfeld in Abhängigkeit von der Empfängerempfindlichkeit (Senderentfernung 6,8 km, n = 25 paarweise gemittelte Rechts-/Links-Rotationen).

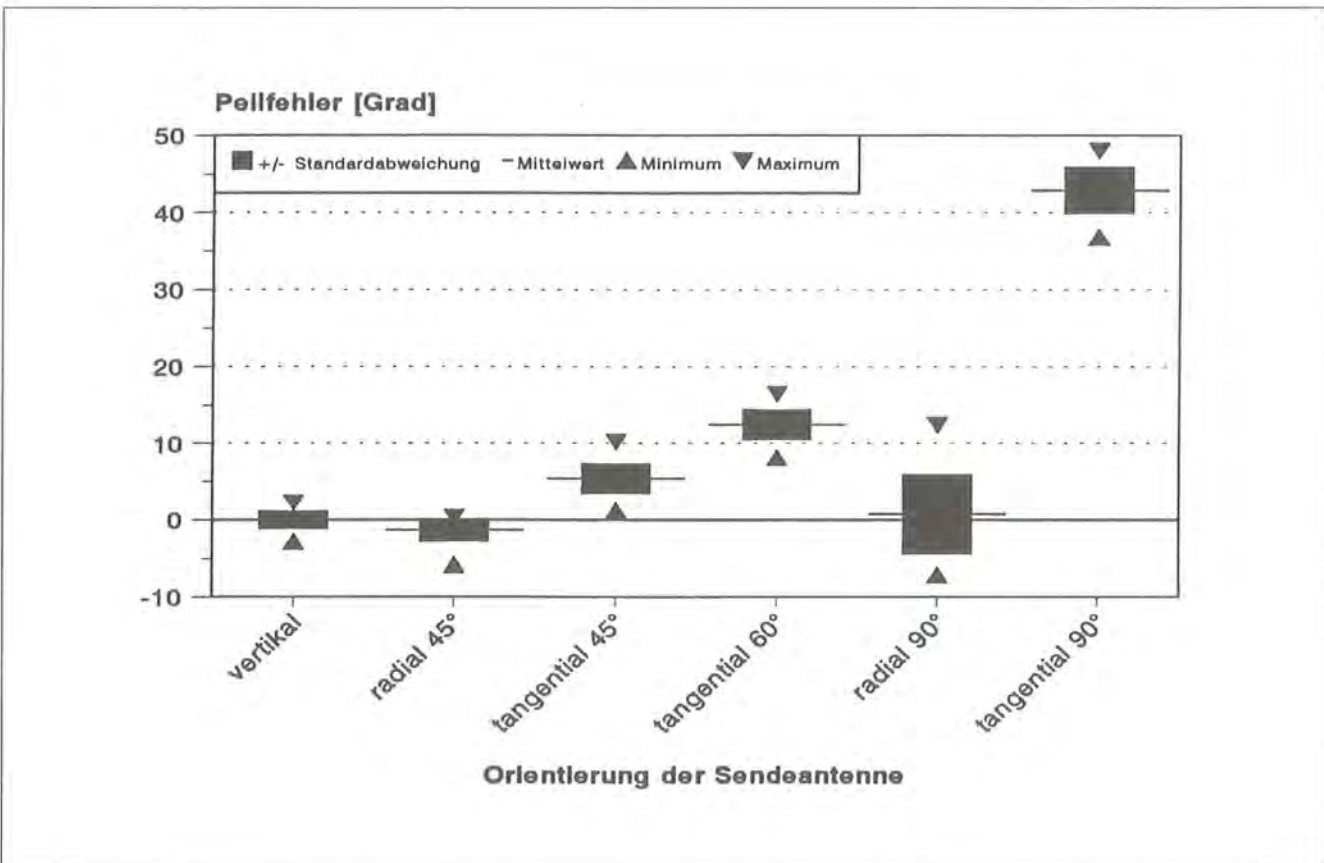


Abb. 62: Einfluß der Orientierung der Sendeantenne auf den Peilwinkel (Senderentfernung 11,1 km, n = 25 paarweise gemittelte Rechts-/Links-Rotationen).



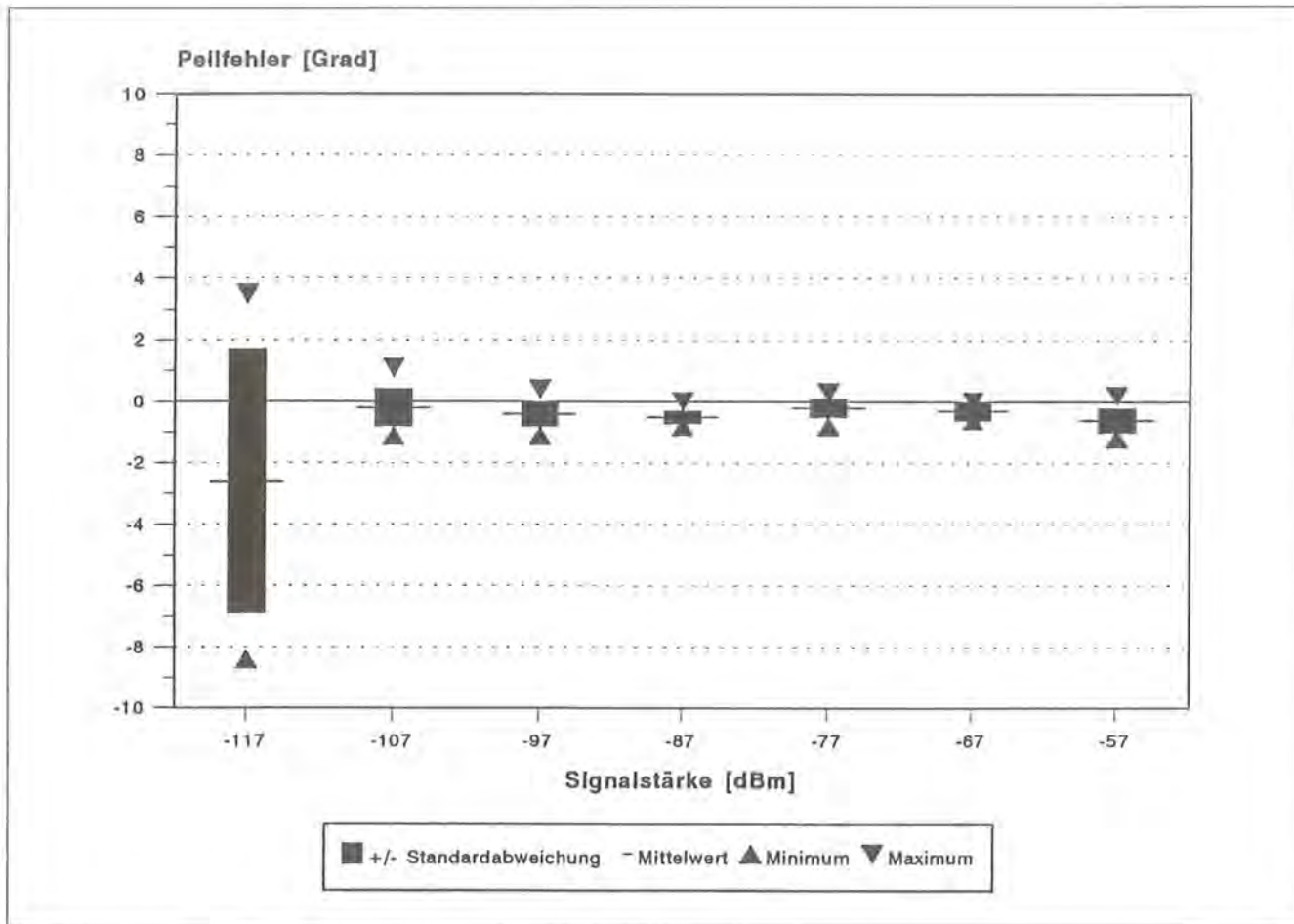


Abb. 63: Einfluß der Signalstärke auf die Peilgenauigkeit (Senderentfernung 50 m, n = 10 paarweise gemittelte Rechts-/Links-Rotationen).

### 5.6.2.2 Symmetriefehler der Antenne (Antennensystemfehler)

Die Bestimmung von Symmetriefehlern einer Dopplerantenne kann nur experimentell im Nahfeld erfolgen. Abb. 59 zeigt, daß diesbezügliche Deviationen bis zu 3° betragen können. Liegt ein derartiges Richtungs-Eichdiagramm von der Dopplerantenne vor, so können die gemessenen Mißweisungen bei allen Peilrichtungen rechnerisch eliminiert werden. Allerdings ist die experimentelle Bestimmung eines solchen Eichdiagramms unter praktischen Bedingungen aufgrund der vielschichtigen Wechselwirkungen mit dem topografischen Umfeld kaum möglich. Deshalb wurde dieser Peilfehler nur an einer Antenne exemplarisch bestimmt, um dessen Ausmaß größenordnungsmäßig zu kennen.

### 5.6.2.3 Topografisch bedingte Peilfehler (Wellenausbreitungsfehler)

Die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen ist verschiedenen physikalischen Gesetzmäßigkeiten unterworfen (BAUR 1989). Aufgrund von Wechselwirkungen mit dem topografischen Umfeld variieren Peilfehler si-

tuationsbedingt. Diesbezügliche Effekte, die sich auf die Datenqualität der Funkpeilung auswirken, sind in BENOIT (1989) zusammengefaßt und können nach den Ergebnissen dieser Studie erhebliche Ausmaße annehmen (bis zu 60°). Da es nicht möglich ist, flächendeckend alle möglichen Peilsituationen zu simulieren, ist eine statistische Angabe über die Häufigkeit solcher Peilfehler nicht möglich. Es können hier nur beispielhaft Peilsituationen angeführt und analysiert werden, die mit unterschiedlich großen Peilfehlern behaftet sind. Abb. 60 dokumentiert den kleinräumigen Einfluß der Geländetopografie auf die Peilgenauigkeit. Die Entfernung zu der Peilanlage betrug in beiden Fällen 5.2 km. Die Orientierung der Sendeantenne war in beiden Fällen optimal; es wurde lediglich der Senderstandort um ca. 50 m verändert (vom Gipfel des Hellbrunner Berges hinunter ans Zoogebäude, das etwa 50 m vor einer Felswand liegt). Der Peilfehler vergrößert sich im Vergleich von < 1° auf ca. 5°. Parallel dazu zeigt sich eine Abhängigkeit des gemessenen Winkels von der gewählten Empfängerempfindlichkeit (vgl. Abb. 60). Dies deutet darauf hin, daß eine durch Reflexion verursachte und durch Mehrwegeempfang (Multipath) gekennzeichnete Empfangssituation die Winkelbestimmung des Dopplerpeilers beeinträchtigt. Dabei erreicht eine Wellenfront die Empfangsantenne auf dem Umweg über die Felswand, also in einem anderen Winkel

und zu einem späteren Zeitpunkt als die direkt vom Sender kommende Wellenfront. Da die Winkelbestimmung im Dopplerpeiler über die Ermittlung der Einfallsrichtung bzw. über eine Phasenmessung erfolgt (s. Kap. 3.7), wird sie durch Mehrwegeempfang verfälscht. Die schaltbare Signalabschwächung am Dopplerempfänger bestimmt nun in Verbindung mit der Signalbegrenzung im FM-Diskriminator das Amplitudenverhältnis zwischen direkter und indirekter Welle und somit den gemessenen Winkelwert (HÄMMERLE 1989, S. 154). In solchen Fällen ist davon auszugehen, daß der bei geringster Empfindlichkeit gemessene Winkelwert den kleinsten Peilfehler aufweist. Denselben Effekt dokumentiert Abb. 61 in noch ausgeprägterer Form: Der Peilfehler erreicht hier in Abhängigkeit von der Empfängerempfindlichkeit bis  $> 40^\circ$ . Auch die Orientierung der Sendeantenne hat einen Einfluß auf Wahrscheinlichkeit und Ausmaß von Reflexionen (Abb. 62). Deshalb können sich lokomotorische Aktivitäten der Tiere indirekt auf die Peilgenauigkeit auswirken. Der Erkennung solcher Multipath-Empfangssituationen kommt daher bei der Datenauswertung und -plausibilisierung eine ganz zentrale Bedeutung zu.

#### 5.6.2.4 Einfluß der Signalstärke und der Entfernung auf die Peilgenauigkeit

Signalstärke und Senderentfernung haben keinen wesentlichen Einfluß auf die Peilgenauigkeit, sofern der Rauschabstand des Empfangssignals keinen kriti-

schen Wert unterschreitet. Fällt die Signalstärke unter ca.  $-110$  dBm, so verschlechtert sich die Peilgenauigkeit sprunghaft (Abb. 63). Ähnliches, wenngleich mit etwas fließenderem Übergang, gilt für die Senderentfernung (Abb. 64), da sich die Signalstärke proportional zum Quadrat (freie Wellenausbreitung) bzw. zur 3. Potenz (bodennahe Wellenausbreitung) der Senderentfernung verhält. Allerdings bleiben in beiden Fällen die erzielten Peilgenauigkeiten über denen, die mit anderen Peilverfahren in vergleichbaren Situationen zu erzielen sind (vgl. BÖGEL 1987).

#### 5.6.2.5 Bestimmung der Standortkoordinaten aus den Peilstrahlen

Die Peilstrahlen der einzelnen Peilstationen schneiden sich aufgrund der unter 5.6.2.1 bis 5.6.2.4 diskutierten Zusammenhänge nicht in einem einzigen Punkt. Deshalb muß zur Bestimmung des Tierstandorts ein Verfahren gewählt werden, das die Standortkoordinaten näherungsweise bestimmt. Hierzu gibt es im wesentlichen drei Möglichkeiten: 1) Mittelung aller X/Y Koordinaten der einzelnen Schnittpunkte (Bestimmung des geometrischen Schwerpunkts), 2) Geometrische Verfahren wie z. B. Bestimmung des Inkreis- oder Umkreis-Mittelpunkts des Peilstrahlen-Dreiecks und 3) statistische Verfahren, die den Standort nach Wahrscheinlichkeitsmodellen bestimmen (LENTH 1981). Verfahren 1) ist universell verwendbar und einfach umzusetzen, Verfahren 2) ist in asymmetrischen Peilkonfigurationen

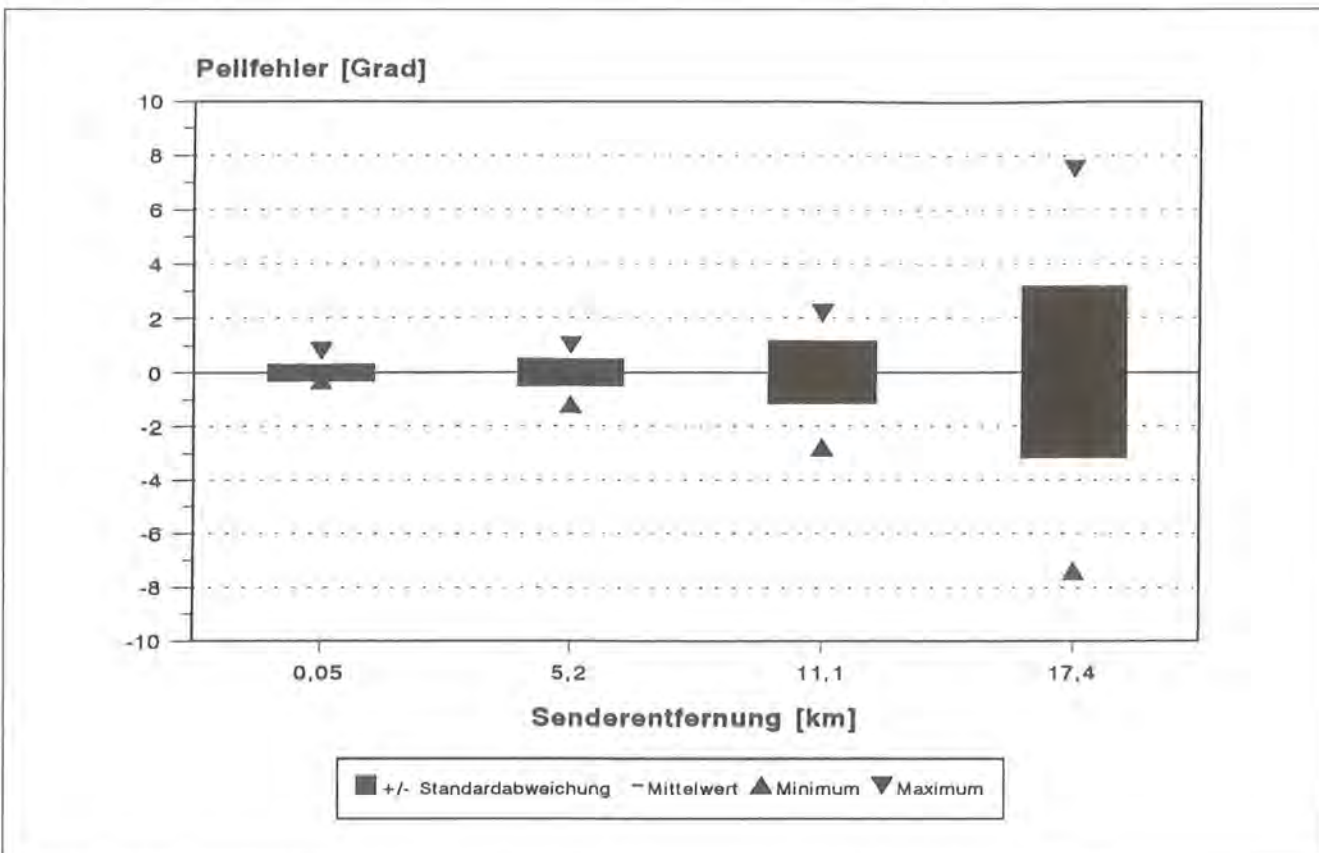


Abb. 64: Einfluß der Senderentfernung auf die Peilgenauigkeit (n = 25 paarweise gemittelte Rechts-/Links-Rotationen).

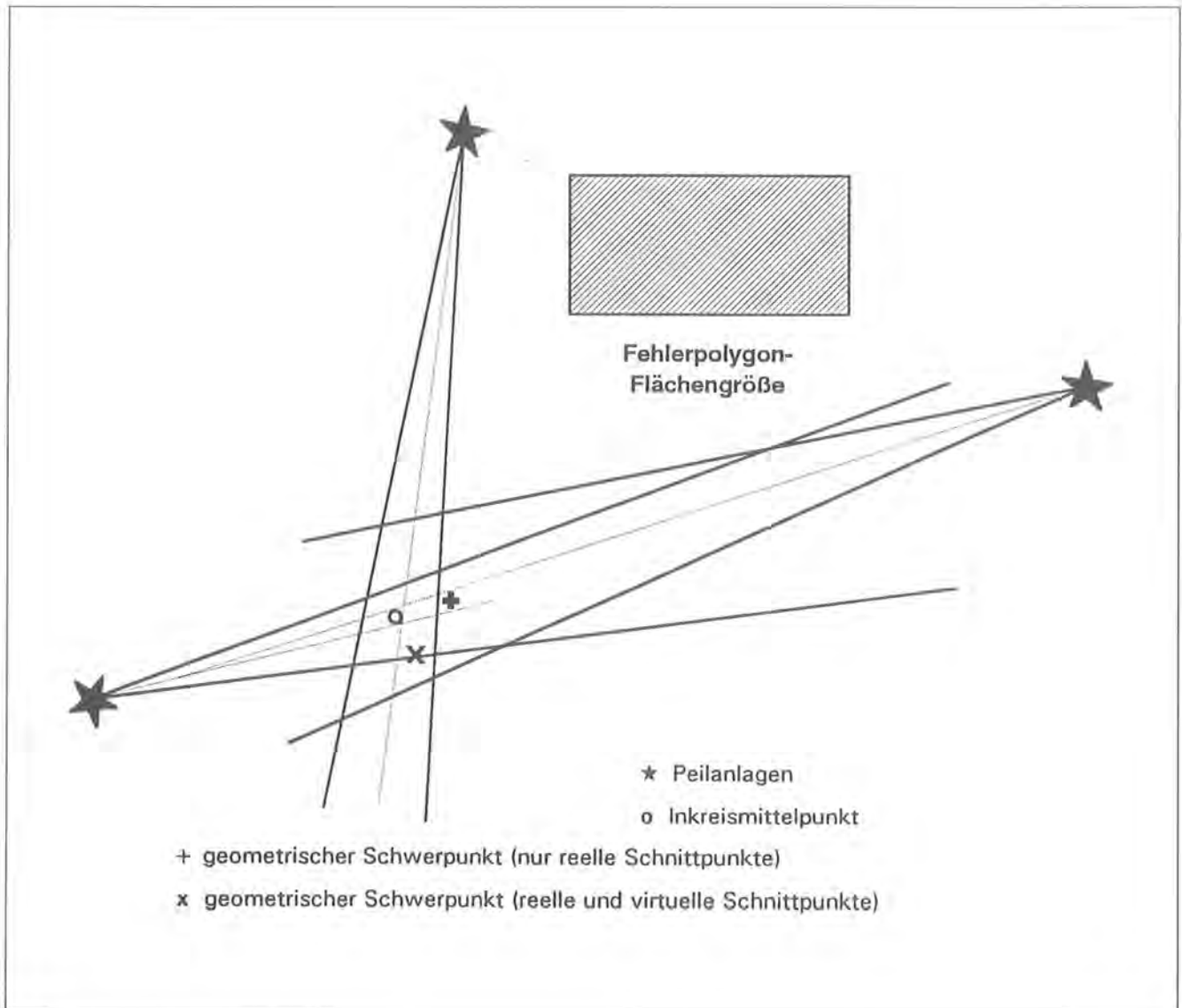


Abb. 65: Vergleich geometrischer Verfahren zur Bestimmung der Standortkoordinaten aus den Peilstrahlen.

(ungleichseitiges Peilstrahlen-Dreieck) genauer, aber nur für eine Konfiguration aus 3 Peilanlagen anwendbar und die unter 3) aufgeführten Verfahren bieten den Vorteil hoher Genauigkeit („Most Likelihood Estimator“), z. T. sogar bei topografisch verfälschten Peilstrahlen („Andrews-“ und „Huber- Estimator“). Diese Verfahren benötigen aber möglichst viele Peilstrahlen; bei Systemkonfiguration mit nur 3 Peilanlagen versagen diese Verfahren häufig und liefern dann keinerlei Standortkoordinaten (WHITE & GARROT 1990). Deshalb erfolgte in dieser Studie die Standortbestimmung nach Verfahren 2) über die Bildung des Inkreis-Mittelpunkts des Peilstrahlen-Dreiecks (s. Kap. 3.7). Im Vergleich zu anderen, nicht statistischen Methoden ist dieses Verfahren recht robust gegenüber ungünstigen Peilgeometrien und liefert deshalb die wahrscheinlichsten Standortkoordinaten (Abb. 65). Als Maß für die Güte einer Standortbestimmung diente die Fehlerpolygonfläche, die sich aus der Streuung der einzelnen Schnittpunkte der Peilgeraden berechnet (s. Kap. 3.6).

#### 5.6.2.6 Zusammenfassende Diskussion der Peilgenauigkeit

Die maximal erzielbare Peilgenauigkeit des hier vorgestellten Dopplerpeilsystems erreicht die besten Werte vergleichbarer Systeme (BENOIT 1989, GRABAU 1989, SARGEANT et al 1965). In der Praxis wird diese Datenqualität allerdings aufgrund topografischer Wechselwirkungen (Wellenausbreitungsfehler, s. Kap. 5.6.2.3) nur selten erreicht. Je nach Topografie und Bodenbedeckung des Untersuchungsgebiets sowie Orientierung der Sendeantenne am Tier können Ausmaß und Häufigkeit der Peilfeiler erhebliche Ausmaße annehmen. Bei der Datenauswertung ist deshalb die Erkennung suboptimaler Peilsituationen essentiell. Dies erfordert mindestens 3 gültige Peilstrahlen und setzt – je nach Größe des Untersuchungsgebiets – i.d.R. wesentlich mehr als 3 Peilanlagen voraus. Deshalb war es in der vorliegenden Studie nicht möglich, den Anteil solcher suboptimalen Peilsituationen exakt

zu quantifizieren. Experimente mit ausgelegten Sendern (s. Kap. 5.6.2.3) legen aber nahe, daß die typische (mittlere) Peilgenauigkeit deutlich geringer ist und bei ca.  $10^\circ$  liegen dürfte. Zudem kann sich die effektive Datenrate bei der Datenplausibilisierung (Verwerfen zweifelhafter Peildaten) erheblich reduzieren. Auch GARROT et al. (1986), HUPP & RATTI (1983), CHU et al. (1989) sowie SCHOBER et al. (1984) haben für konventionelle Peilverfahren gezeigt, daß es in topografisch ungünstigem Gelände zu Peilfehlern von bis zu  $168^\circ$  kommen kann. Bei konventionellen Peilverfahren, die den Peilwinkel aus dem Amplitudenverlauf ableiten, tragen auch lokomotorische Aktivitäten der Tiere zu suboptimalen Peilergebnissen bei (BÖGEL 1987, TESTER 1971). Dieser Effekt hat zwar beim Dopplerpeilverfahren aufgrund der amplitudenunabhängigen Arbeitsweise keinen Einfluß; je nach Senderanbringung (Orientierung der Sendeanenne) können aber durch Mehrwegeempfang ähnliche Effekte bei der Lokomotion von Tieren entstehen.

Neben der Winkelauflösung beeinflussen geometrische Überlegungen die Güte der Standortbestimmung. Dabei spielt der Schnittwinkel der Peilgeraden sowie die Entfernung zu den Peilanlagen eine wesentliche Rolle, weil sie Form und Größe des Fehlerpolygons bestimmen (WHITE & GARROT 1990, HEEZEN & TESTER 1967, KENWARD 1987). Dabei vergrößert sich mit zunehmender Entfernung von den einzelnen Peilstationen der maximale lineare Fehler (s. Abb. 66) und somit

auch die Fläche des Fehlerpolygons; stumpfe Schnittwinkel bewirken dagegen eine langgestreckte Form des Fehlerpolygons und können deshalb bereits bei mittlerer Entfernung ungenaue Peilungen bewirken. NAMS & BOUTIN (1991) haben darauf hingewiesen, daß Fehlerpolygone wenig geeignet sind, die Standortgenauigkeit bei Systemkonfigurationen von mehr als zwei Peilanlagen richtig zu beschreiben. SALTZ & ALKON (1985) haben deshalb die längste Polygondiagonale und SALTZ & WHITE (1990) die Hauptachse der Konfidenzellipse zur Beschreibung des maximalen, linearen Peilfehlers als Maß zur Beurteilung der Lokalisationsgüte vorgeschlagen. PACE & WEEKS (1990) haben dagegen ein Verfahren entwickelt, das auch unterschiedliche Peilgenauigkeiten einzelner Peilanlagen berücksichtigen kann.

Die durchschnittliche Peilgeometrie wird auch durch die relative Lage der Peilanlagen zueinander beeinflusst. WHITE (1985) hat entsprechende Vorschläge für eine optimale Peilanlagengeometrie erarbeitet. Er kommt zu dem Schluß, daß symmetrische Anordnungen zu den besten Ergebnissen führen. Solche theoretischen Überlegungen sind aber in nicht homogen strukturiertem Gelände (z. B. Gebirge) nicht umsetzbar, weil dort die Geländetopografie sowie logistische Überlegungen die Standortwahl bestimmen.

Neben der eigentlichen Peilgenauigkeit können Standortveränderungen der Tiere zu einem erheblichen Lokali-

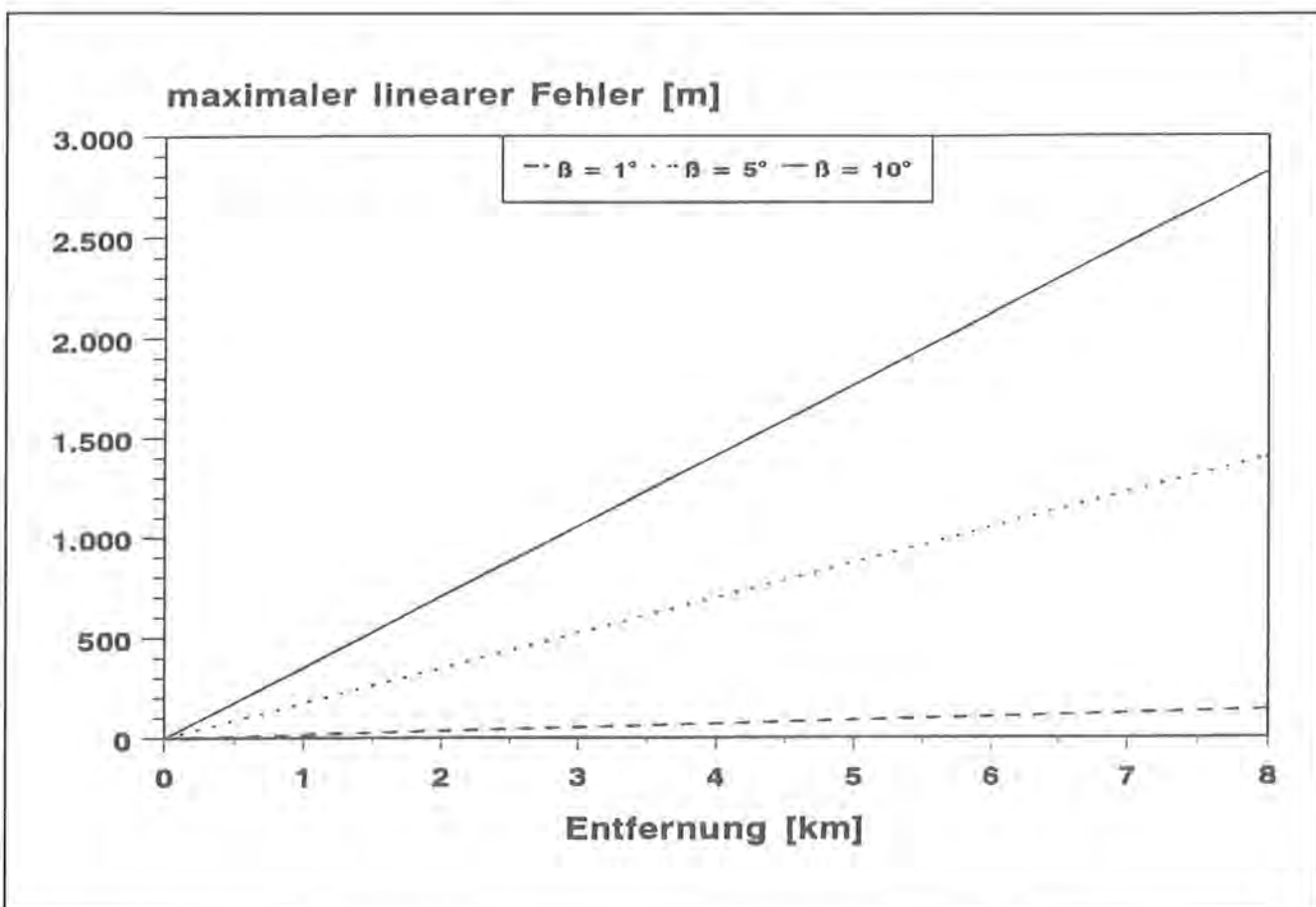


Abb. 66: Maximaler linearer Peilfehler (f) einer Peilanlage in Abhängigkeit von der Entfernung (e), nach:  $f = 2 \tan(\beta/2) \cdot e$  ( $\beta$ : Winkelauflösung des Peilsystems; verschiedene  $\beta$ -Werte beschreiben unterschiedlich große topografisch bedingte Peilfehler).

sationsfehler beitragen, wenn die einzelnen Winkelmessungen nicht zeitlich synchron erfolgen (BÖGEL 1987, BURGER et al. 1991, SCHMUTZ & WHITE 1990, WHITE & GARROT 1990, SINIFF & TESTER 1965). Bedingt durch das Dopplerpeilverfahren beträgt im Falle der vorliegenden Studie der maximale Zeitversatz nur ca. 15 Sekunden und ist somit sicherlich vernachlässigbar. Die verschiedenen, oben aufgezählten Einflüsse auf die Peilgenauigkeit sowie die in Kap. 5.6.2.5 diskutierten Verfahren zur Standortbestimmung aus den Peilstrahlen haben vielfältige Auswirkungen auf die Interpretation der biologischen Sachverhalte. Beispielsweise werden zurückgelegte Wegstrecken und korrespondierende Geschwindigkeiten erheblich beeinflusst (BÖGEL 1987, SINIFF & TESTER 1965, SPRINGER 1979), insbesondere dann, wenn Streckenabschnitte zwischen Einzelpunkten über größere Zeitintervalle kumuliert werden. Auch bei Analysen zur Habitatwahl kann es zu falschen Interpretationen kommen, wenn Standortnachweise aufgrund der oben beschriebenen Zusammenhänge den falschen Habitattypen zugeordnet werden (NAMS 1989, SAMUEL & KENOW 1992). Dies ist besonders entlang von Habitatgrenzen zu erwarten, wodurch Habitatpräferenzen oder -meidungen „verwischt“ werden können. NAMS (1989) hat deshalb darauf hingewiesen, daß die notwendige Stichprobengröße für einen statistischen Nachweis mit zunehmender Unschärfe der Standortbestimmung dramatisch steigt, und SAMUEL & KENOW (1992) haben nachgewiesen, daß diesbezügliche Fehler auch von der Habitatausstattung und -komplexität abhängen (mittlere Flächengröße und Länge der Grenzlinien). Neben Peilfehlern können sich Zeitreihenfehler negativ auf die erzielten Ergebnisse auswirken (CRESSWELL & SMITH 1992). Diesbezüglich können „verpaßte“ Einzelnachweise eine falsche Raumnutzung vortäuschen, was zu einer Unterschätzung zurückgelegter Wegstrecken führt (HEEZEN & TESTER 1967, LAUNDRÉ et al. 1987). GARSHELIS (1983) hat deshalb die Wichtigkeit einer räumlich und zeitlich gleichmäßigen Datenerhebungsroutine unterstrichen. Darüberhinaus können zeitlich korrelierte Daten bei bestimmten statistischen Auswertungsverfahren (Verletzung der Bedingung nach Unabhängigkeit) zu Interpretationsfehlern bzw. ungültigen Ergebnissen führen (SCHÖNER 1981, SWIHART & SLADE 1985). Nach ANDERSEN & RONGSTAD (1989) müssen sich autokorrelierte Datensätze aber nicht auf Home Range Analysen auswirken. Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, daß es in Bereichen zwischen den Peilanlagen sowie in deren unmittelbarem Umfeld aus geometrischen Gründen zu den genauesten Standortbestimmungen kommt (HEEZEN & TESTER 1967, LEE et al. 1985, TESTER 1971, WRIGHT 1985). Demgegenüber ist im Bereich der Basislinie (Verbindungsline zwischen den Peilanlagen) mit den ungenauesten Standorten zu rechnen. Auch werden Peilungen von Vögeln im freien Luftraum erheblich genauer sein als solche vor Felswänden, bei denen Mehrwegeempfang die Datenqualität verschlechtert (Zoo, Abhänge des Untersbergs). Durch die hohen Datenraten und die exakte Synchronisation

des Dopplersystems treten demgegenüber chronologische Unzulänglichkeiten der Datenerhebung in den Hintergrund; Probleme durch zeitlich korrelierte Datenreihen müssen dagegen bei der Auswertung besonders beachtet werden.

### 5.6.3 Weiterentwicklungen des Telemetriesystems

Die Erfahrungen im praktischen Einsatz des Telemetriesystems zur Erfassung der dreidimensionalen Habitatnutzung der Gänsegeier haben einige Perspektiven zur Methodenverbesserung aufgezeigt:

- 1) Wie in Kap. 5.6.2.3 dargestellt, wird die Peilgenauigkeit durch topografische Einflüsse häufig stark beeinträchtigt. Dadurch wird eine Standortfindung nicht nur erschwert, sondern es kann zu falscher Dateninterpretation kommen. Theoretisch lassen sich derartige Peilsituationen durch Oberwellen im demodulierten Signal erkennen (HÄMMERLE 1989) und somit verwerfen. Ein derartiger „Multipath-Detektor“ würde das Risiko von Fehlinterpretationen deutlich reduzieren und damit auch den Zeitaufwand der Datenplausibilisierung drastisch reduzieren.
- 2) Die Trennung von Peilung und Impulsmessung in zwei getrennte Erfassungsaufträge erhöht die Komplexität des Steuerprogramms und verlängert die Scanroutine. Dadurch wird die Datenrate reduziert, ein Nachteil der besonders dann zum Tragen kommt, wenn viele Tiere simultan erfaßt und zu Plausibilisierungszwecken Meßdaten redundant erhoben werden sollen. Kommt es aufgrund unplausibler Daten zu mehrfacher Meßwiederholung, können aufeinanderfolgende Daten eines bestimmten Tieres zehn Minuten und mehr auseinanderliegen. Dies ist häufig zu lang, um eine detaillierte Erfassung des Flugverhaltens zu gewährleisten. Flugrouten können dadurch „gerundet“ und Höhenänderungen „verschliffen“ werden. Durch eine Verlängerung des Datenwortes im Übertragungsprotokoll zwischen Steuer-PC und Peilempfänger ließen sich beide Meßaufträge sowie Plausibilitätschecks gleichzeitig abarbeiten. Entsprechend würde sich das zeitliche Auflösungsvermögen des Systems verdoppeln.
- 3) Mit der Zahl der Peilstationen erleichtert sich die Dateninterpretation erheblich. Durch eine Systemkonfiguration, die in allen Bereichen des Untersuchungsgebiets mindestens drei Peilstrahlen sicherstellt, ließe sich die Dateninterpretation weitgehend automatisieren. Da der Zeitaufwand für die Plausibilisierung eines Datensatzes ein Vielfaches der Zeit für die eigentliche Datenerfassung in Anspruch nimmt, wäre dies ein großer Fortschritt. Gerade die immense Datenmenge, die das System liefert, verlangt nach einer EDV-gestützten Datenplausibilisierung und nach automatisch ablaufenden Auswerterroutinen. Bei der Überwachung von großen Arealen reicht dabei die derzeitige Systemkapazität nicht aus. Durch eine Erweiterung des Datenwortes im Übertragungsprotokoll um 2 Bits ließen sich bis zu 30 Peilstationen in das Peilsystem integrieren und

sich so die oben gestellte Forderung realisieren.

- 4) Der Schaltungsaufbau des Flughöhensenders bringt eine periodische Umschaltung zwischen Luftdruck- und Temperaturmessung mit einem temperaturabhängigen Umschaltintervall von ca. 6...50 Sekunden mit sich (s. Kap. 3.5). Dabei können im Umschaltmoment fragmentierte Impulsintervalle entstehen, die weder einen gültigen Temperatur- noch Luftdruckwert ergeben. Solche Meßfehler ließen sich durch eine modifizierte Triggerung des Umschalters vermeiden. Auch ein konstantes (temperaturunabhängiges) Umschaltintervall von ca. 10 Sekunden wäre vorteilhaft, um regelmäßig vollständige Datensätze sicherzustellen.
- 5) Durch eine Erhöhung der Sendeleistung von 4 auf ca. 20 mW ließen sich durch das Dopplerverfahren bedingte Reichweiteverluste gegenüber schmalbandigen CW-Empfängern mit Richtantenne kompensieren und dadurch Phasen ohne Funkkontakt minimieren.

#### 5.6.4 Datenqualität des Geografischen Informationssystems (GIS)

Die Genauigkeit in der Abgrenzung räumlicher Strukturen im GIS ist abhängig vom Digitalisierungsmaßstab. Die Datenbasis für das Untersuchungsgebiet wurde im Maßstab 1:50.000 hochgezeichnet und digitalisiert. Zusätzlich liegen im Deutschen Teil des Untersuchungsgebiets Daten im Maßstab 1:10.000 vor. Die Genauigkeit der Abgrenzung von Strukturen beträgt demnach 50 bzw. 10 m und ist somit sicherlich genauer als die Peilgenauigkeit unter praktischen Bedingungen. Bezüglich der Klassifizierung von Hangneigungs- und Expositionsstufen finden sich detaillierte Angaben in SPANAU & SIUDA (1985). Einen einheitlich anerkannten Klassifikationsschlüssel für Habitat-/Landnutzungstypen gibt es nicht, so daß auch diesbezüglich „Unschärfen“ auftreten. Durch die hohe Aggregation der 187 Biototypen in 6 Klassen (s. Kap. 3.8) sind diesbezügliche Fehler aber vernachlässigbar.

#### 5.6.5 Qualität der Wetterdaten

Alle Wetterdaten stammen vom amtlichen Wetteramt der Stadt Salzburg. Die Daten genügen also den meteorologischen Standards und sind somit hinrei-

chend genau. Qualitative Einstufungen wie etwa die Abgrenzung zwischen „bewölkt“ und „heiter“ sind dagegen immer subjektiv beeinflusste Ermessenssache. Derartige Klassifikationen wurden aber bei der Datenauswertung nur in Einzelfällen herangezogen. Leider sind bezüglich der Thermikintensität keine quantifizierbaren amtlichen Daten verfügbar. Lokale Windsysteme werden zudem in besonderem Maße von geomorphologischen Konstellationen beeinflusst (HÄCKEL 1985). Deshalb können sowohl thermische als auch dynamische Hindernisaufwinde lokal stark variieren. Das Ausmaß diesbezüglicher Fehler wird in Kap. 5.5.2 abgeschätzt.

## 6 Ausblick

Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, daß das entwickelte ADF-Telemetriesystem einen großen Fortschritt bezüglich automatischer Überwachung von freilebenden Wildtieren markiert. Als wesentliche Leistungsmerkmale sind das sehr hohe zeitliche und gute räumliche Auflösungsvermögen, ein sehr breites Einsatzspektrum und die Kompatibilität mit konventionellen Trackingkomponenten zu nennen. Diesen Vorteilen steht ein hoher finanzieller und infrastruktureller Aufwand für die Errichtung der Peilanlagen gegenüber. Demgegenüber kommt eine satellitentelemetrische Überwachung nach dem Dopplerverfahren zwar ohne infrastrukturellen Aufwand aus; sie ist aber auf größere Tiere, kurze Untersuchungszeiträume, geringe Datenraten und geringes räumliches Auflösungsvermögen beschränkt und zudem mit hohen Unterhaltskosten verbunden.

Als vielversprechende Alternative könnte die Nutzung des GPS-Satelliten-Navigationssystems (Global Positioning System) einen neuen Meilenstein markieren (CUPAL et al. 1992); Das System bietet bei entsprechenden Glättungsverfahren Genauigkeiten bis in den Meterbereich bei einer zeitlichen Auflösung von mehr als einer Sekunde (ACHLEITNER et al. 1993). Die im GPS-Empfänger am Tier anfallenden Daten müssen zwischengespeichert und über eine Boden-zu-Boden oder eine Satelliten-Telemetriestrecke eingeholt werden. Dadurch wird aber auch dieses Verfahren im wesentlichen auf die Überwachung größerer Wirbeltiere, kurzer Untersuchungsperioden und/oder niedriger Erfassungsraten beschränkt bleiben.

## 7 Zusammenfassung

1. Ein Telemetriesender zur Temperatur- und barometrischen Luftdruckmessung wurde entwickelt und ermöglicht erstmals die dreidimensionale Erfassung der Raumnutzung von Vögeln auf telemetrischem Wege. Dazu ist die Verwendung von Luftdruck-Referenzen im Untersuchungsgebiet notwendig.
2. Ein weiterentwickeltes Rucksackgeschlirr gestattet eine rückwirkungsarme Befestigungsmethode für Telemetriesender bis 200 g nahe am Körperschwerpunkt und stellt einen Senderabwurf nach Ablauf der Batteriebensdauer sicher.
3. Ein Telemetriesystem nach dem Doppler-Peilverfahren wurde entwickelt, das mit herkömmlichen Telemetriesendern kompatibel ist und in weiten Bereichen auf verschiedene Tierarten, Fragestellungen und Untersuchungsgebiete adaptiert werden kann.
4. Neben einer Winkelmessung können Pulsintervallcodierte Meßdaten erfaßt werden. In der vorliegenden Studie wurde dies zur Messung der Gefiedertemperatur und des Luftdrucks genutzt.
5. Alle Peilstationen werden von einem zentralen PC über Funkstrecken gesteuert. Die Berechnung der Aufenthaltsorte sowie der Temperatur-, Luftdruck- und Höhenwerte erfolgt ohne Aktualitätsverlust. Die grafische Darstellung der Meßergebnisse auf einer Karte des Untersuchungsgebiets ermöglicht einen schnellen Überblick auf dem Bildschirm.
6. Das Telemetriesystem erreicht eine Peilgenauigkeit von bis zu  $1^\circ$  und Datenraten von maximal 1 Datensatz alle 5 Sekunden. Topografische Wechselwirkungen mit dem Gelände und andere Phänomene der Wellenausbreitung führen aber zu einer z. T. erheblichen Beeinträchtigung der Datenqualität bei der Standortbestimmung.
7. Der Aktionsraum der freifliegenden Geierkolonie des Salzburger Tierparks „Hellbrunn“ wurde telemetrisch erfaßt; er beträgt ca.  $150 \text{ km}^2$ .
8. Unter Anwendung eines geografischen Informationssystems wurden Modelle zur Beurteilung der Thermiksituation und der dynamischen Hindernisaufwinde entwickelt. Diese gestatten eine Beurteilung der Flugbedingungen für verschiedene Wetersituationen. Die Flugbedingungen variieren im Tages- und Jahresverlauf erheblich.
9. Die Flugaktivitäten der Gänsegeier zeigen deutliche Korrelationen zum Wettergeschehen. Durch angepaßtes Flugverhalten können Geier häufig mangelnde Thermik durch dynamische Hindernisaufwinde ersetzen.
10. Im Winter verschlechtern sich die Flugbedingungen spürbar. Kleinräumig sind aber i.d.R. immer Bereiche mit guten Flugbedingungen verfügbar. Durch ihre große Flugerfahrung und ihre Fähigkeit zu mehrwöchigem Hungern können adulte Gänsegeier die Winterperiode schadlos überstehen.
11. Juvenilvögel haben aufgrund ihrer ungenügenden Flugerfahrung und Kondition hohe Verluste im ersten Lebensjahr. Sie weisen zudem eine geringere Freßeffizienz auf.
12. Die täglich zur Verfügung stehende Energiemenge gestattet den Geiern bei durchschnittlichen Flugbedingungen maximale Flugstrecken von ca. 40 km pro Tag. Es gibt Hinweise darauf, daß das Energiebudget den Anteil verschiedener Aktivitätsformen im Tagesverlauf bestimmt. Durch angepaßtes Flugverhalten werden z. T. erhebliche Energieeinsparungen erzielt.
13. Flugaktivitäten können eine thermoregulatorische Funktion haben. Nach Anstieg der Gefiedertemperatur über die Körpertemperatur wurde durch Thermiksegeln eine Abkühlung des Gefieders um bis zu  $24^\circ\text{C}$  erreicht.
14. Die Anwendung flugmechanischer Modelle auf Gänsegeier ergab eine minimale Sinkgeschwindigkeit von  $0,89 \text{ m/s}$  bei einer Fluggeschwindigkeit von  $11,3 \text{ m/s}$ . Als günstigstes Gleitverhältnis wurden  $14,7:1$  bei einer Fluggeschwindigkeit von  $14,9 \text{ m/s}$  ermittelt. Thermikradien ab  $26,2 \text{ m}$  können effizient genutzt werden.
15. Die flugmechanischen Kenngrößen deuten im Vergleich zu anderen Geierarten auf eine Adaptation an wenig thermikbegünstigte Lebensräume hin.
16. Die Bestandsgröße der freifliegenden Kolonie des Salzburger Tiergartens „Hellbrunn“ fluktuierte über die Jahre zwischen 10 und 19 Individuen. Bei einer Reproduktionsrate von 40 – 50 % und einer Mortalität im ersten Lebensjahr von 40 – 65 % ist nach populationsbiologischen Modellen die langfristige Überlebensfähigkeit der Kolonie ohne Managementmaßnahmen nicht sichergestellt.
17. Bei Bestandsstützungen durch die Freilassung zugeborener Geier hatten Juvenilvögel und einjährige Individuen die besten Integrationserfolge. Altvögel hatten nur geringe Chancen, sich zu integrieren.

## 8 Literatur

- ACHLEITNER, E., HEIN, G.W., FRANZ, H.P. & R. HELFRICH im Druck: Receiver-independent sophisticated DGPS/ GIS data logging and analysis software. Proc. 3<sup>rd</sup> Int. GPS/ GIS Conf., Seattle, WA, U.S.A. June 21–22, 1993.
- ALVAREZ, F., ARIAS DE REYNA, L. & F. HIRALDO 1976: Interactions among avian scavengers in Southern Spain. *Ornis Scand.* 7: 215–226.
- AMLANER, C.J. & D.W. MACDONALD (eds.), 1980: A Handbook on Biotelemetry and Radiotracking, Pergamon Press, Oxford, pp. 804.
- ANDERSEN, D.E. & Q.J. RONGSTAD 1989: Home-range estimates of red-tailed hawks based on random and systematic relocations. *J. Wildl. Manage.* 53(3): 802–807.
- ANDERSON, D.J. & R.J. HORWITZ 1979: Competitive Interactions among vultures and their avian competitors. *Ibis* 121: 505–509.
- ANDERSON, D.J. 1982: The home range: a new nonparametric estimation technique. *Ecology* 63: 103–112.
- ANGERBJÖRN, A. & D. BECKER 1992. An Automatic Location System. In PRIEDE, I.G. & S.M. SWIFT (eds.): *Wildlife Telemetry*. Ellis Horwood, London, pp. 68–75.
- ALTHOFF, D.P., STORM, G.L., COLLINS, T.W. & V.B. KUCHELE 1989: Remote sensing system for monitoring animal activity, temperature, and light. In AMLANER, C.J. (eds.): *Biotelemetry X*. University of Arkansas Press, Fayetteville, U.S.A., pp. 116–124.
- ARROYO B., FERREIRO, E. & GARZA, V. 1990: Il censo nazionale de buitre leonado (*Gyps fulvus*). Población, distribución, demografía y conservación. ICONA-Colección Técnica / Raycar, Madrid, Spanien, pp. 100.
- BAHAT, O. & D.C. HOUSTON 1994: Thermal Imaging of Temperature Regulation in Griffon Vultures. *J. Orn.* 135 (Sonderheft): p. 98.
- BARASH, D.P. 1980: *Soziobiologie und Verhalten*. Parey, Berlin-Hamburg, pp. 338.
- BANG, B.G. 1967: The nasal organs of the Black and Turkey Vultures: a comparative study of the Cathartid species. *J. Morph.* 115: 153–184.
- BAUMGART, W. 1974: Wie steht es um Europas Geier? *Falke* 21: 258–267, 300–308.
- BAUR, K. 1989: *Physikalische Grundlagen der Funkpeilung*. In GRABAU, R. & K. PFAFF (eds.): *Funkpeiltechnik*. Frankh'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, pp. 25–79.
- BENECKE, J. 1992: *Ethologie und Vokalisation von Gänsegeiern (*Gyps fulvus*) bei der Jungenaufzucht*. Diplomarbeit an der Universität Frankfurt, pp. 128.
- BENOIT, P. 1989: *Peilfehler*. In GRABAU, R. & K. PFAFF (eds.): *Funkpeiltechnik*. Frankh'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, pp. 281–308.
- BENVENUTI, S. 1993: Bird-borne satellite transmitters: current limitations and future prospects. *Avocetta* 17: 35–39.
- BERBERICH, W. 1989: *Das Raum-Zeitmuster des Rotfuchses*. Nationalpark Berchtesgaden, Forschungsberichte Nr. 17, pp. 71.
- BERNIS, F. 1983: Migration of the Common Griffon Vulture in the Western Palaearctic. In WILBUR, S.J. & J.A. JACKSON (eds.): *Vulture Biology and Management*. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, California, U.S.A., pp. 185–196.
- BERTHOLD, P. 1990: *Vogelzug*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt. pp. 252.
- BERTHOLD, P., GRIESINGER, J., NOWAK, E. & U. QUERNER 1991: Satelliten-Telemetrie eines Gänsegeiers (*Gyps fulvus*) in Spanien. *J. Orn.* 132: 327–329.
- BERTHOLD, P., NOWAK, E. & U. QUERNER 1992: Satelliten-Telemetrie beim Weisstorcht (*Ciconia ciconia*) auf dem Zugweg – eine Pilotstudie. *J. Orn.* 133(2): 155–163.
- BERTHOLD, P., NOWAK, E. & U. QUERNER 1995: Satelliten-Telemetrie eines Zugvogels von Mitteleuropa bis in das südafrikanische Winterquartier: eine Fallstudie am Weißstorcht (*Ciconia ciconia*). *J. Orn.* 136: 73–76.
- BÖGEL, R. 1987: *Radiotelemetrische Untersuchungen am Gänsegeier *Gyps fulvus* (HABLIZL 1783)*. Diplomarbeit an der Universität Ulm, pp. 123.
- BÖGEL, R. 1991a: *Automatic Radio-Tracking*. Proceedings of the International Colloquium „Radiotelemetry for Tracking Terrestrial Vertebrates“. Parc National du Mercantour / CLS-ARGOS / IBM France. Monaco, 12.–13. Dezember 1988, pp. 115–124.
- BÖGEL, R. 1991b: *Einsatzmöglichkeiten der Telemetrie zur Überwachung ausgewilderter Bartgeier – eine Methodenabwägung*. Schweizer Dokumentationsstelle für Wildtierforschung (ed.): *Bartgeier-Bulletin* 13: 43–46.
- BÖGEL, R. 1993: *Flugbiologische Anpassungen des Gänsegeiers (*Gyps fulvus*) an den alpinen Lebensraum*. In PFANNENSTIEL, H.-D.: *Kurzpublikationen der 86. Jahresversammlung der Deutschen Zoologischen Gesellschaft*. Fischer Verlag, Stuttgart, p. 4.
- BÖGEL, R. 1994: *Measuring Locations and Flight Altitudes of Griffon Vultures (*Gyps fulvus*) by an Automatic Telemetry System*. In MEYBURG, B.-U. & R.D. CHANCELLOR (eds.): *Raptor Conservation Today*. WWGBP / The Pica Press, London, pp. 325–333.
- BÖGEL, R. & U. MÄCK 1989: *Öko-ethologische Untersuchungen im Rahmen des Pilotprojekts zur Wiederansiedlung des Bartgeiers (*Gypaetus barbatus*) in den Alpen*. In MÄCK, U. & R. BÖGEL: *Untersuchungen zur Ethologie und Raumnutzung von Gänse- und Bartgeiern*. Nationalpark Berchtesgaden, Forschungsbericht Nr. 18, pp. 147.
- BÖGEL, R., MÄCK, U. & d'OLEIRE-OLTMANN, W. 1990: *Radiotelemetrische Untersuchungen an Gänse- und Bartgeiern (*Gyps fulvus*, *Gypaetus barbatus*) in den Alpen*. In v.d. ELZEN, R., SCHUCHMANN, K.-L. & K. SCHMIDT-KOENIG: *Current Topics in Avian Biology*: 201–210.
- BÖGEL, R., & D. BURCHARD, 1992: *An air pressure transducer for telemetering flight altitude of birds*. In PRIEDE, I.G. & S.M. SWIFT (eds.): *Wildlife Telemetry*. Ellis Horwood, London, pp. 100–106.
- BÖGEL, R., d'OLEIRE-OLTMANN, W. & H.P. FRANZ 1995: *An Integrated System for Resource Inventory, Wildlife Monitoring and Management Using GIS, GPS and ADF-Telemetry Techniques*. In BISSONETTE, J.A. & P.R. KRAUSMAN (eds.): *Integrating people and wildlife for a sustainable future*. The Wildlife Society, Bethesda, Maryland, U.S.A. pp. 551–555.
- BOSHOF, A.F., ROBERTSON, A.S. & P.M. NORTON 1984: *A Radio-Tracking Study of an Adult Cape Griffon Vulture *Gyps coprotheres* in the South-Western Cape Province*. *S.Afr. J. Wildl. Res.* 14(3): 73–78.
- BOSHOF, A.F. & A.S. ROBERTSON 1985: *Post-nestling mortality in Cape Vultures*. *Ostrich* 56: 204–207.
- BRANDER, R. & W.W. COCHRAN 1969: *Radio Location Telemetry*. In GILES, R.H. (ed.): *Wildlife Management Techniques*. Wildl. Soc., Washington D.C., U.S.A., pp. 95–103.



- BROWN, C.R., STUCHBURY, B.J. & P.D. WALSH 1990: Choice of colony size in birds. *TREE* 5: 398-402.
- BUNDESAMT für Seeschifffahrt und Hydrographie 1993: Nautisches Jahrbuch oder Ephemeriden und Tafeln für das Jahr 1994. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg 1993.
- BURCHARD, D. 1989: Direction Finding in Wildlife Research by Doppler Effect. In AMLANER, C.J. (eds.): *Biotelemetry X*. University of Arkansas Press, Fayetteville, U.S.A., pp. 169-177.
- BURCHARD, D. 1991: Doppler-Peiler mit verbesserten Eigenschaften. *UKW-Berichte* 2/92: 66-80.
- BURGER, L.W., RYAN, M.R. JONES, D.P. & A.P. WYMIALOWSKI 1991: Radio transmitters bias estimation of movements and survival. *J. Wildl. Manage.* 55(3): 693-697.
- BURT, W.H. 1943: Territoriality and Home Range Concepts as Applied to Mammals. *J. Mammal.* 24: 346-352.
- BUSTAMANTE, J., BÖGEL, R. & W. d'OLEIRE-OLTMANN 1994: Predictions derived from a Population Viability Analysis of the Captive Bearded Vulture Population and the Population Released in the Alps. *Schweizer Dokumentationsstelle für Wildtierforschung* (ed.): *Bartgeier-Bulletin* 15: 35-40.
- BUTLER, P.J. 1980: The use of radio telemetry in the study of diving and flying of birds. In AMLANER, C.J. & D.W. MACDONALD (eds.): *A Handbook on Biotelemetry and Radiotracking*, Pergamon Press, Oxford, pp. 569-577.
- CARROLL, J.P. 1990: Winter and spring survival of radio-tagged gray partridge in North Dakota. *J. Wildl. Manage.* 54(4): 657-662.
- CHU, D.S., HOOVER, B.A., FULLER, M.R. & P.H. GEISSLER 1989: Telemetry location error in a forested habitat. In AMLANER, C.J. (eds.): *Biotelemetry X*. University of Arkansas Press, Fayetteville, U.S.A., pp. 188-194.
- CLARK, G.A. 1969: Spread-wing postures in Pelecaniformes, Ciconiiformes, and Falconiformes. *The Auk* 86(1): 136-139.
- CLARK, T.W., BACKHOUSE, G.N., & R.C. LACY 1991: Report of a workshop on population viability analysis assessment as a tool for threatened species management and conservation. *Australian Zoologist* 27: 28-35.
- COCHRAN, W.W. 1972: Long-Distance Tracking of Birds. In GALLNER, S.R., KÖNIG, K.S., JACOBS, G.J. & R.E. BELLEVILLE (eds.): *Animal Orientation and Navigation*, NASA SP-262, pp. 606. (US Government Printing Office, Washington D.C., U.S.A.).
- COCHRAN, W.W., WARNER, D.W. & J.R. TESTER 1964: The Cedar Creek Automatic Radio-Tracking System. Minnesota Museum of National History, Techn. Rep. No. 7.
- COCHRAN, W.W., WARNER, D.W., TESTER, J.R. & V.B. KUECHLE 1965: Automatic Radio-Tracking System for monitoring Animal Movements. *BioScience* 15(2): 98-100.
- COLIN, R., CRAIGH, F. & C. WILLIAM 1983: Some Experience with an Automatic Grid Antenna Radio System for Tracking Freshwater Fish. In PINCOCK, D.G., 1983 (ed): *Proc. of the 4th Intern. Wildl. Biotel. Conf.*, pp. 135-149.
- CONE, C.D. 1962: Thermal Soaring of birds. *Amer. Sci.* 50: 180-209.
- COOPER, R.J., MACDONALD, L.L. & M.B. KING 1983: Applications of Circular Statistics to Wildlife Telemetry Studies. In PINCOCK, D.G. (ed.): *Proc. of the 4th Intern. Wildl. Biotel. Conf.*, pp. 276-298.
- CRESSWELL, W.J. & D. SMITH 1992: The effects of temporally autocorrelated data on methods of home range analysis. In PRIEDE, I.G. & S.M. SWIFT (eds.): *Wildlife Telemetry*. Ellis Horwood, London. pp. 272-284.
- CUPAL, J.J., LACY, L.J. & F.G. LINDZEY 1992: A GPS Animal Tracking System. In MANCINI, P., FIORETTI, S., CRISTALLI, C. & R. BEDINI (eds.): *Biotelemetry XII*, Proceedings of the 12th International Symposium on Biotelemetry, Ancona, Italy, 1992. Litografia Felici, Pisa, pp. 298-304.
- DEAT, A., MAUGET, C., MAUGET, R., MAUREL, D. & A. SEMPÉRÉ 1980: The Automatic, Continuous and Fixed Radio Tracking System of the Chizé Forest: Theoretical and Practical Analysis. In AMLANER, C.J. & D.W. MACDONALD (eds.): *A Handbook on Biotelemetry and Radiotracking*, Pergamon Press, Oxford, pp. 439-451.
- DIEHL, P. & H. VOGT 1988: Fortschritte in der radiotelemetrischen Herzfrequenzmessung an Singvögeln. In *Arbeitskreis Telemetrie* (ed.): *Proceedings of the European Telemetry Conference*, Garmisch-Partenkirchen, Germany, pp. 307-316.
- DIXON, K.R. & J.A. CHAPMAN 1980: Harmonic mean measurement of animal activity areas. *Ecology* 61: 1040-1044.
- DONÁZAR-SANCHO, J.A., RUIZ, O.C. & C.F. LEON 1989: Factors influencing the distribution and abundance of seven cliff-nesting raptors: a multivariate study. In MEYBURG, B.-U. & R.D. CHANCELLOR (eds.): *Raptors in the Modern World*. WWGBP, Berlin, London & Paris, pp. 545-552.
- DONÁZAR, J.A., HIRALDO, F. & J. BUSTAMANTE 1993: Factors Influencing nest site selection, breeding density and breeding success in the Bearded Vulture *Gypaetus barbatus*. *J. Applied Ecology* 30: 504-514.
- DONÁZAR, J.A. 1993: Los Buitres Ibéricos-Biología y conservación. Revero, Madrid, Spanien. pp 256.
- DUNSTAN, T.C. 1972: Radio-Tagging Falconiform and Strigiform birds. *Rapt. Res.* 6: 93-102.
- ELKINS, N. 1988: *Weather and Bird Behaviour*. T&AD Poyser, Calton, England. pp. 239.
- ENDERS, G. 1976: *Theoretische Topoklimatologie*. Nationalpark Berchtesgaden, Forschungsbericht Nr. 1, pp.92.
- EXO, K.M. 1989: Tagesperiodische Aktivitätsmuster des Steinkauzes (*Athene noctua*). *Die Vogelwarte* 35: 94-114.
- EXO, K.M., EGGERS, U., LASCHEFSKI-SIEVERS, R. & G. SCHEIFFAHRT 1992: Monitoring activity patterns using a micro-computer-controlled radiotelemetry system, tested for waders (*Charadrii*) as an example. In PRIEDE, I.G. & S.M. SWIFT (eds.): *Wildlife Telemetry*. Ellis Horwood, London, pp. 79-87.
- FANCY, F.G., PANK, L.F., DOUGLAS, D.C., CURBY, C.H., GARNER, G.W., AMSTRUP, S.C. & W.L. REGELIN 1988: *Satellite Telemetry: A new tool for wildlife research and management*. U.S. Fish and Wildlife Service, Resource Publication 172, Washington, D.C., U.S.A., pp. 54.
- FARACI, F.M. 1991: Adaptations to Hypoxia in birds: How to fly high. *Annu. Rev. Physiol.* 53: 59-70.
- FISCHER, A.B. 1969: Laboruntersuchungen und Freilandbeobachtungen zum Sehvermögen und Verhalten von Altweltgeiern. *Zool. Jb. Syst.* 96: 81-132.
- FISCHER, W. 1968: In GRIZMEK, B. (ed.): *Grizmek's Tierleben, Enzyklopädie des Tierreichs, Band 7 (Vögel I)*. Kindler, Zürich, pp. 387-389.

- FISCHER, W. 1974: Die Geier. Die neue Brehm Bücherei 311, A. Ziemsen, Wittenberg-Lutherstadt. pp. 176.
- FORD, R.G. & D.W. KRUMME 1979: The analysis of space use patterns. *J. Theor. Biol.* 76: 125–155.
- FOSTER, C.C., FORSMAN, E.D., MESLOW, E.C., MILLER, G.S., REID, J.A., WAGNER, F.F., CAREY, A.B. & J.B. LINT 1992: Survival and reproduction of radio-marked adult spotted owls. *J. Wildl. Manage.* 56(1): 91–95.
- FRANÇOIS, J. & M. TERRASSE 1974: Comportement de quelques rapaces nécrophages dans les Pyrénées. *Nos oiseaux* 32: 289–299.
- FRANK, D. & S.R. SUDMANN 1993: Wird die Jungenaufzucht der Flußseeschwalbe (*Sterna hirundo*) durch eine radiotelemetrische Untersuchung der Altvögel negativ beeinflusst? *Die Vogelwarte* 37: 111–117.
- FRANZ, H. 1979: Ökologie der Hochgebirge. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart. pp. 495.
- FREY, H. & W. WALTER 1989: The reintroduction of Bearded Vultures *Gypaetus barbatus* into the Alps. In MEYBURG, B.-U. & R.D. CHANCELLOR (eds.): *Raptors in the Modern World*, WWGBP, Berlin, London & Paris, pp. 341–344.
- FULLER, M.R. 1994: Wildlife Radiotelemetry. In BOOKHOUT T.A. (ed.): *Research and Management Techniques for Wildlife and Habitats*. The Wildlife Society, Bethesda, Maryland, U.S.A., pp. 370–418.
- FULLER, M.R. & J.R. TESTER 1973: An Automatic Radio Tracking System for Biotelemetry. *Raptor Research* 7: 105–106.
- GARNER, G.W., AMSTRUP, S.C., DOUGLAS, D.C. & C.L. GARDNER 1989: Performance and utility of satellite telemetry during field studies of free-ranging polar bears in Alaska. In AMLANER, C.J. (ed.): *Biotelemetry X*. University of Arkansas Press, Fayetteville, U.S.A., pp. 66–76.
- GARROT, R.A., WHITE, G.C., BARTMANN, R.M. & D.L. WEYBRIGHT 1986: Reflected Signal Bias in Biotelemetry Triangulation Systems. *J. Wildl. Manage.* 50(4): 747–752.
- GARSHELIS, D.L. 1983: The Role of Sampling Intensity in the Selection of a Home Range Model. In PINCOCK, D.G. (ed.): *Proc. of the 4th Intern. Wildl. Biotel. Conf.*, pp. 276–298.
- GENERO, F. 1985: Indagine sulla presenza del Grifone, *Gyps fulvus*, sulle Alpi orientali. *Riv. ital. Orn.*, Milano 55 (3–4): 113–126.
- GENSBØL, B. & W. THIEDE 1986: Greifvögel. BLV, München. pp. 384.
- GESSAMEN, J.A. 1974: Telemetry of electrocardiograms from free-living birds: a method of electrode placement. *Condor* 76: 479–481.
- GESSAMEN, J.A. & K.A. NAGY 1988: Transmitter loads affect the flight speed and metabolism of homing pigeons. *Condor* 90: 662–668.
- GESSAMEN, J.A., WORKMAN, G.W. & M.R. FULLER 1991a: Flight performance, energetics and water turnover of Tipler pigeons with a harness and dorsal load. *Condor* 93: 546–554.
- GESSAMEN, J.A., FULLER, M.R., PEKINS, P.J. & G.E. DUKE 1991b: Resting metabolic rate of Golden Eagles, Bald Eagles, and Barred Owls with a tracking transmitter or an equivalent load. *Wilson Bull.* 103(2): 261–265.
- GONZALES, L.M., BUSTAMANTE J. & F. HIRALDO 1990: Nesting habitat selection by the Spanish Imperial Eagle *Aquila adalberti*. *Biological Conservation* 51: 311–319.
- GONZALES, L.M., BUSTAMANTE J. & F. HIRALDO 1992: Factors influencing the present distribution of the Spanish Imperial Eagle *Aquila adalberti*. *Biological Conservation* 59: 45–50.
- GOODMAN, D. 1987: The demography of chance extinction. In SOULÉ, M.E. (ed.): *Viable Populations for Conservation*. Cambridge University Press, Cambridge, England. pp. 11–34.
- GLUTZ VON BLOTZHEIM, U.N. (ed.) 1971: *Handbuch der Vögel Mitteleuropas*. Akad. Verlagsges., Frankfurt, Band 4: 235–259.
- GRABAU, R. 1989: Vergleichende Bewertung der verschiedenen Peilverfahren. In GRABAU, R. & K. PFAFF (eds.): *Funkpeiltechnik*. Franckh'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, pp. 239–243.
- GRIESINGER, J. im Druck: Autumn migration of Griffon Vultures (*Gyps fulvus*) in Spain. *Proceedings of the 6<sup>th</sup> Congress on Biology and Conservation of Mediterranean Raptors*, 21.–25.09.1994, Palma de Mallorca, Spain.
- GRUBH, R.B. 1978: The Griffon Vultures (*Gyps bengalensis*, *G. indicus* & *G. fulvus*) of Gir Forest: Their Feeding Habits and the Nature of Association with the Asiatic Lion. *J. Bomb. Nat. Hist. Soc.* 75 Suppl.: 1058–1068.
- GUSTAFSON, K.A. & L.B. FOX 1983: A Comprehensive Interactive Computer Program for Calculating and Plotting Home Ranges and Distribution. In PINCOCK, D.G. (ed.): *Proc. of the 4th Intern. Wildl. Biotel. Conf.*, pp. 299–317.
- HÄCKEL, H. 1985: *Meteorologie*. UTB-Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, pp. 382.
- HÄMMERLE, R. 1989: Dopplerpeiler. In GRABAU, R. & K. PFAFF (eds.): *Funkpeiltechnik*. Franckh'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, pp. 148–173.
- HALLER, H. 1983: Die Thermikabhängigkeit des Bartgeiers *Gypaetus barbatus* als mögliche Mitursache für sein Aussterben in den Alpen. *Der ornitholog. Beob.* 80: 263–272.
- HARRIS, S., CRESSWELL, W.J., FORDE, P.G., TREWHELLA, W.J., WOOLLARD, T. & S. WRAY 1990: Home-range analysis using radio-tracking data – a review of problems and techniques particularly as applied to the study of mammals. *Mammal. Rev.* 20: 97–123.
- HAYNE, D.W. 1949: Calculation of size of Home range. *J. Mammalogy* 30: 1–18.
- HEEZEN, K.L. & J.R. TESTER 1967: Evaluation of Radio-Tracking by Triangulation with Special Reference to Deer Movements. *J. Wildl. Manage.* 31(1): 124–141.
- HELB, H.W. & P. DIEHL 1986: Radiotelemetric monitoring of heart rate in behavioural studies of songbirds. In *Proc. European Telem. Conf.* Garmisch Partenkirchen, Germany, pp. 62–71.
- HERREN, H. & R. HAURI 1963: Gänsegeier, *Gyps fulvus*, als Sommergäste in den Salzburger Alpen. *Orn. Beob.* 60: 25–30.
- HIEBL, I., SCHNEEGANSS, D., GRIMM, F., KOSTERS, J. & G. BRAUNITZER 1987: High-altitude respiration of birds: the primary structures of the major and minor haemoglobin component of European vulture (*Aegypius monachus*, *Aegypinae*). *Biol. Chem. Hoppe-Seyler* 368: 11–18.
- HIEBL, I. & G. BRAUNITZER 1988: Anpassungen der Hämoglobine von Streifengans (*Anser indicus*), Andengans (*Chloephaga melanoptera*) und Sperbergeier (*Gyps rueppellii*) an hypoxische Bedingungen. *J. Orn.* 129(2): 217–226.
- HINES, J.E. & F.C. ZWICKEL 1985: Influence of radio packages on young Blue Grouse. *J. Wildl. Manage.* 49(4): 1050–1054.

- HIRONS, G.J.M. & R.B. OWEN 1982: Radio Tagging as an Aid to the Study of Woodcock. Symp. Zool. Soc. Lond. No. 49: 139-152.
- HOFMANN, G. 1992: Windsysteme und Inversion. Nationalpark Berchtesgaden, Forschungsbericht Nr. 25, pp. 130.
- HOOGE, P.N. 1991: The effects of radio weight and harnesses on time budget and movements of Acorn Woodpeckers. *J. Field Ornithol.* 62: 230-238.
- HOUSTON, D.C. 1974a: Food searching in griffon vultures. *E. Afr. Wildl. J.* 12: 63-77.
- HOUSTON, D.C. 1974b: The role of griffon vultures as scavengers. *J. Zool. Soc. Lond.* 172: 35-46.
- HOUSTON, D.C. 1974c: Mortality of the Cape Vulture. *Ostrich* 45(2): 57-62.
- HOUSTON, D.C. 1975: Ecological isolation of African scavenging birds. *Ardea* 63: 55-64.
- HOUSTON, D.C. 1978: The effect of food quality on breeding strategy in Griffon vultures (*Gyps spp.*). *J. Zool. Soc. Lond.* 186: 175-184.
- HOUSTON, D.C. 1983: The Adaptive Radiation of the Griffon Vultures. in WILBUR, S.J. & J.A. JACKSON (eds.): *Vulture Biology and Management*. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, California, U.S.A., pp. 135-152.
- HOUSTON, D.C. 1984a: Does the King Vulture *Sarcorhamphus papa* use a sense of smell to locate food? *Ibis* 126(1): 67-69.
- HOUSTON, D.C. 1984b: A comparison of food supply of African and South American vultures. In LEDGER, J. (ed.): *Proceedings of the 5th Pan African Ornithological Congress 1980*. Southern African Ornithological Society, Johannesburg. pp. 249-262.
- HOUSTON, D.C. 1988a: Digestive efficiency and hunting behaviour in cats, dogs and vultures. *J. Zool. Soc. Lond.* 216: 603-605.
- HOUSTON, D.C. 1988b: Competition for food between Neotropical vultures in forest. *Ibis* 130: 402-417.
- HOUSTON, D.C. 1989: Factors influencing the timing of Breeding in African Vultures. In MEYBURG, B.-U. & R.D. CHANCELLOR (eds.): *Raptors in the Modern World*, WWGBP, Berlin, London & Paris, pp. 203-210.
- HOWEY, P.W., STRIKWERDA, T.E., MANTEL, S., FULLER, M.R., GEE G.F., KLUGMAN, S.S., SEEGAR, W.S. & F.P. WARD 1987: A system for acquiring physiological and environmental telemetry data. In KIMMICH, H.P. & M.R. NEUMAN (eds.): *Biotelemetry IX*. Döring Druck, Braunschweig, Germany, pp. 347-350.
- HOWEY, P.W., SEEGAR, W.S., FULLER, M.R. & K. TITUS 1989: A coded tracking telemetry system. In AMLANER, C.J. (ed.): *Biotelemetry X*. University Arkansas Press, Fayetteville, U.S.A., pp. 103-107.
- HUMMEL, D. 1973: Die Leistungersparnis beim Verbandsflug. *J. Orn.* 114: 259-282.
- HUMMEL, D. 1978: Die Leistungersparnis in Flugformationen von Vögeln mit Unterschieden in Größe, Form und Gewicht. *J. Orn.* 119: 52-73.
- HUPP, J. W. & J.T. RATTI 1983: A Test of Radio Telemetry Triangulation Accuracy in Heterogenous Environments. In PINCOCK, D.G. (ed.): *Proc. of the 4th Int. Wildl. Biotel. Conf.*, pp. 31-46.
- IKEDA, K., WATANABE, A., SAITO, M. & N. IWAI 1980: A Radiotracking System for Studies of Snake Movement. In MATSUMOTO, G. & H.P. KLEWE (eds.): *Biotelemetry V*, Döring-Druck, Braunschweig, pp. 215-218.
- IMMELMANN, K. 1983: Einführung in die Verhaltensforschung. 2. Aufl., Parey, Berlin-Hamburg.
- JANSEN, M.B., BALENDONCK, J., van den HEUVEL, C.C., KRANENBURG, R.N., NIJENHUIS, P.J. & F.W.H. KAMPERS 1991a: An automatic Doppler radio tracking system: overview. In UCHIYAMA, A. & C.J. AMLANER (eds.): *Biotelemetry XI*. Waseda University Press, Tokyo, Japan, pp. 150-153.
- JANSEN, M.B., BALENDONCK, J., van den HEUVEL, C.C., WATTIMENA, M.R., van't HOFF, C.A. & F.P.J.M. van den EYDEN 1991b: An automatic Doppler radio tracking system: details of the transponder. In UCHIYAMA, A. & C.J. AMLANER (eds.): *Biotelemetry XI*. Waseda University Press, Tokyo, Japan, pp. 157-161.
- BALENDONCK, J., JANSEN, M.B., van den HEUVEL, C.C., KRANENBURG, R.N., NIJENHUIS, P.J. & M.R. WATTIMENA 1991: An automatic Doppler radio tracking system: details of the base and field station. In UCHIYAMA, A. & C.J. AMLANER (eds.): *Biotelemetry XI*. Waseda University Press, Tokyo, Japan, pp. 162-166.
- JANSSEN, P. & K. TÄNZLER 1985: *Drachenfliegen*. Nymphenburger Verlagshandlung GmbH, München.
- JENNRICH, R.I. & F.B. TURNER 1969: Measurement of Non-Circular Home Range. *J. of Theor. Biol.* 22: 227-237.
- JOHNSON, R.N. & A.H. BERNER 1980: Effects of radio transmitters on released Cock Pheasants. *J. Wildl. Manage.* 44(3): 686-689.
- KAHL, M.P. 1971: Spread-wing postures and their possible functions in the *Ciconiidae*. *The Auk* 88(4): 714-722.
- KÄLÄS, J.A., LÖFALDLI, L. & P. FISKE 1989: Effects of Radio Packages on Great Snipe During Breeding. *J. Wildl. Manage.* 53(4): 1155-1158.
- KALCKREUTH (von), J. 1972: *Segeln über den Alpen*. Verlag Alfred Bucheli, Zug, Schweiz.
- KARL, B.J. & M.N. CLOUT 1987: An improved radio transmitter harness with a weak link to prevent snagging. *J. Field. Ornithol.* 58(1): 73-77.
- KEATING, K.A., BREWSTER, W.G. & C.H. KEY 1991: Satellite Telemetry: Performance of Animal-Tracking Systems. *J. Wildl. Manage.* 55(1): 160-171.
- KENNEDY, R.J. 1969: Sunbathing behaviour of birds. *British Birds*: 62(7): 249-256.
- KENWARD, R.E. 1978: Radio Transmitters Tailmounted on Hawks. *Orn. Scand.* 9: 220-223.
- KENWARD, R.E. 1980: Radio-Monitoring Birds of Prey. In AMLANER, C.J. & D.W. MACDONALD (eds.): *A Handbook on Biotelemetry and Radiotracking*, Pergamon Press, Oxford, pp. 97-104.
- KENWARD, R.E. 1987: *Wildlife Radio Tagging*. Academic Press, London, pp. 222.
- KENWARD, R.E., HIRONS, G.J.M., ZIESEMER, F. 1982: Devices for Telemetering the Behaviour of Free-Living Birds. *Symp. Zool. Soc. Lond.* 49: 129-137.
- KERLINGER, P. 1989: Flight strategies of migrating hawks. University of Chicago Press, Chicago, U.S.A., pp. 375.
- KINZELBACH, R. 1963: Zum ehemaligen Vorkommen des Weißkopf- oder Gänsegeiers in Deutschland. *Jh. Ver. vaterl. Naturkde. Württemberg* 118/119: 427-432.
- KLINGEL, H. 1974: In Grizmek's Tierleben, Enzyklopädie des Tierreichs, Sonderband Verhaltensforschung, IMMELMANN, K. (ed.), Kindler, Zürich, pp. 506-518.
- KLUGMAN, S.S. & M.R. FULLER 1990: Effects of implanted transmitters on captive Florida Sandhill Cranes. *Wildl. Soc. Bull.* 18: 394-399.

- KÖNIG, C. 1974: Zum Verhalten spanischer Geier an Kadavern, *J. Orn.* 115: 289–320.
- KÖNIG, C. 1976: Inter- und intraspezifische Nahrungskonkurrenz bei Altweltgeiern (*Aegyptiinae*). *J. Orn.* 117: 297–316.
- KÖNIG, C. 1981: Zum Verhalten des Gänsegeiers (*Gyps fulvus*), unter besonderer Berücksichtigung des Sozialverhaltens am Futterplatz. Nationalpark Berchtesgaden, Forschungsberichte 3: 32–35.
- KÖNIG, C. 1982: Zur systematischen Stellung der Neuweltgeier (*Cathartidae*). *J. Orn.* 123: 259–267.
- KÖNIG, C. 1983: Interspecific and Intraspecific Competition for Food among Old World Vultures. In WILBUR, S.J. & J.A. JACKSON (eds.): *Vulture Biology and Management*. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, California, U.S.A., pp. 153–171.
- KOEPPL, J.W., SLADE, N.A. & R.S. HOFFMANN 1975: A Bivariate Home Range Model with Possible Application to Ethological Data Analysis. *J. of Mammal.* 56: 81–90.
- KOMEN, J. 1992: Energy requirements of adult Cape Vultures (*Gyps coprotheres*). *J. Rap. Res.* 26(4): 213–218.
- KORSCHGEN, C.E., MAXON, S.J. & V.B. KUECHLE 1984: Evaluation of implanted radio transmitters in ducks. *J. Wildl. Manage.* 48(3): 982–987.
- KOSTRZEWA, A. 1987: Quantitative Untersuchungen zur Habitattrennung von Mäusebussard (*Buteo buteo*), Habicht (*Accipiter gentilis*) und Wespenbussard (*Pernis apivorus*). *J. Orn.* 128: 209–229.
- KREITHEN, M.L. & W.T. KEETON 1974: Detection of changes in atmospheric pressure by the homing pigeon, *Columba livia*. *J. Comp. Physiol.* 89: 73–82.
- KREITHEN, M.L. 1978: Sensory mechanisms for animal orientation – can any new ones be discovered? In SCHMIDT-KOENIG, K. & W.T. KEETON (eds.): *Animal Migration, Navigation, and Homing*. Fischer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 25–34.
- KRUUK, K. 1967: Competition for food between vultures in East Africa. *Ardea* 55: 171–193.
- KUECHLE, V.B., FULLER, M.R., REICHEL, R.A., SCHUSTER, R.J. & G.E. DUKE 1987: Telemetry of gastric motility data from owls. In KIMMICH, H.P. & M.R. NEUMAN (eds.): *Biotelemetry IX*. Döring Druck, Braunschweig, Germany, pp. 363–366.
- KUSHLAN, J. A. 1973: Spread-wing posturing in cathartid vultures. *The Auk* 90(4): 889–890.
- LACCHINI, F. 1982: Die freifliegenden Gänsegeier (*Gyps fulvus*) vom Salzburger Tierpark Hellbrunn. *Zool. Garten N. F.*, Jena 52 (5/6): 357–360.
- LACY, R.C. 1993: VORTEX: A computer simulation model for population viability analysis. *Wildl. Res.* 20: 45–65.
- LAROCHELLE, J., DELSON, J. & K. SCHMIDT-NIELSEN 1982: Temperature regulation in the Black Vulture. *Can. J. Zool.* 60: 491–494.
- LASIEWSKI, R.C. & W.R. DAWSON 1967: A re-examination of the relation between standard metabolic rate and body weight in birds. *Condor* 69: 13–23.
- LAUNDRÉ, J.W., REYNOLDS, T.D., KNICK, S.T. & I.J. BALL 1987: Accuracy of daily point relocations in assessing real movements of radio-marked animals. *J. Wildl. Manage.* 51(4): 937–940.
- LAYBOURNE, R.C. 1974: Collision between a vulture and an aircraft at an altitude of 37,000 feet. *Wilson Bull.* 86: 461–462.
- LECONTE, M. 1977: Etude de la reproduction de *Gyps fulvus* dans les Pyrénées occidentales. Rapport bibliographique et études préliminaires. Diplôme d'Etudes Approfondies de Biologie du Développement Centre d'Ecologie Montagnarde de Gabas.
- LEE, J.E., WHITE, G.C., GARROT, R.A., BARTMANN, R. & A.W. ALLDREDGE 1985: Assessing accuracy of a radio-telemetry system for estimating animal locations. *J. Wildl. Manage.* 49(3): 658–663.
- LEMNELL, P.A., JOHNSON, G., HELMERSSON, H., HOLMSTRAND, O. & L. NORLING 1983: An Automatic Radio-Telemetry System for Position Determination and Data Acquisition. In PINCOCK, D.G. (ed.): *Proc. of the 4th Intern. Wildl. Biotel. Conf.*, pp. 76–93.
- LENTH, R.V. 1981: On finding the source of a signal. *Technometrics* 23: 149–154.
- LEVY, N. 1990: Biology, Population Dynamics and Ecology of the Egyptian Vulture *Neophron percnopterus* in Israel. Dissertation an der Universität Tel-Aviv.
- LONG, F.M., 1977: Proc. of the 1<sup>st</sup> Intern. Conf. on Wildl. Biotelemetry, Laramie, Wyoming, U.S.A., pp. 159.
- LONG, F.M., 1979: Proc. of the 2<sup>nd</sup> Intern. Conf. on Wildl. Biotelemetry, Laramie, Wyoming, U.S.A., pp. 259.
- LONG, F.M., 1981: Proc. of the 3<sup>rd</sup> Intern. Conf. on Wildl. Biotelemetry, Laramie, Wyoming, U.S.A., pp. 232.
- MACDONALD, D.W., BALL, F.G. & N.G. HOUGH 1980: The Evaluation of Home Range Size and Configuration Using Radio Tracking Data. In AMLANER, C.J. & D.W. MACDONALD (eds.): *A Handbook on Biotelemetry and Radio-tracking*, Pergamon Press, Oxford, pp. 405–424.
- MÄCK, U. 1987: Ökoethologische Studien am Gänsegeier *Gyps fulvus* (HABLIZL 1783). Diplomarbeit an der Universität Ulm, pp. 117.
- MÄCK, U. & R. BÖGEL 1989: Untersuchungen zur Ethologie und Raumnutzung von Gänse- und Bartgeier (*Gyps fulvus* / *Gypaetus barbatus*). Nationalpark Berchtesgaden, Forschungsbericht Nr. 18, pp. 147.
- MALBERG, H. 1985: *Meteorologie und Klimatologie*. Springer Verlag, Berlin, pp. 299.
- MAHONEY, S.A. 1983: Heat production and heat loss in vultures: rest and exercise. In WILBUR, S.J. & J.A. JACKSON (eds.): *Vulture Biology and Management*. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, California, U.S.A., pp. 330–342.
- MARTIN, D.J., AUSTIN, D.I., WHITMUS, C.J., BROCKLEHURST, L.A., NEVISSI, A.E. & N.J. BAX 1992: Tracking the response of adult salmon to an oil spill in three dimensions. In PRIEDE, I.G. & S.M. SWIFT (eds.): *Wildlife Telemetry*. Ellis Horwood, London, pp. 410–422.
- MAXON, S.J., 1978: Spring Home Range and Habitat Use by Female Ruffed Grouse. *J. Wildl. Manage.* 42: 61–71.
- MAZURKIEWICZ, M. 1971: Shape, Size and Distribution of Home Ranges of *Clethrionomys glareolus*. *Act. Theoretologica XVI*: 23–60.
- McGAHAN, J. 1973a: Gliding flight of the Andean Condor in nature. *J. of Exp. Biol.* 58: 225–237.
- McGAHAN, J. 1973b: Flapping flight of the Andean Condor in nature. *J. of Exp. Biol.* 58: 239–253.
- MENDELSON, H. & Y. LESHEM 1983: Observations on Reproduction and Growth of Old World Vultures. In WILBUR, S.J. & J.A. JACKSON (eds.): *Vulture Biology and Management*. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, California, U.S.A., pp. 214–244.
- MENDELSON, J.M., KEMP, A.C., BIGGS, H.C., BIGGS, R. & C.J. BROWN 1989: Wing areas, wing loadings and wing spans of 66 species of African raptors. *Ostrich* 60: 35–42.

- METZGAR, L. 1972: The Measurement of Home Range Shape. *J. of Wildl. Manage.* 36(2): 643-645.
- MEYBURG, B.-U., SCHELLER, W. & C. MEYBURG 1993: Satelliten-Telemetrie bei einem juvenilen Schreiadler (*Aquila pomarina*) auf dem Herbstzug. *J. Orn.* 134: 173-179.
- MOHR, C.O. 1947: Table of Equivalent Populations of North American Small Mammals. *Amer. Mid. Nat.* 34: 223-249.
- MÜLLER, B.E. 1990: Untersuchungen zur Habitatnutzung des Rehes (*Capreolus capreolus* L.) im Alpenpark Berchtesgaden unter Verwendung eines Geografischen Informationssystems. Diplomarbeit an der Universität Ulm, pp. 53.
- MÜLLER, H.U. & C. BUCHLI 1982: Zwischenbericht Projekt Bartgeier – Vergleich von fünf potentiellen Wiedereinbürgerungsgebieten im Alpenraum. FORNAT, Zürich.
- MUNDY, P.J. & J.A. LEDGER 1986: Griffon Vultures, Carnivores and Bones. *J. Zool. Soc. Lond.* 210: 23-43.
- MUNDY, P., BUTCHART, D., LEDGER, J. & S. PIPER 1992: The Vultures of Africa. Academic Press, London. pp. 460.
- NACHTIGALL, W. 1979: Der Taubenflügel in Gleitstellung: Geometrische Kenngrößen der Flügelprofile und Luftkraftherzeugung. *J. Orn.* 120(1): 30-40.
- NACHTIGALL, W. 1980: Dokumentation der Flügelgitterstellung der freien Handschwingen beim Aufschlag sowie der Daumenfittichstellung beim Abschlag des Wellensittichs. *J. Orn.* 121(2): 217-222.
- NACHTIGALL, W. 1984: Vogelflugforschung in Deutschland. *J. Orn.* 125(2): 157-187.
- NAEF-DAENZER, B. 1993: A new transmitter for small animals and enhanced methods of home range analysis. *J. Wildl. Manage.* 57(4): 680-689.
- NAMS, V.O. 1989: Effects of radiotelemetry error on sample size and bias when testing for habitat selection. *Can. J. Zool.* 67: 1631-1636.
- NAMS, V.O. & S. BOUTIN 1991: What is wrong with error polygons? *J. Wildl. Manage.* 55(1): 172-176.
- NEWTON, J. 1979: Population Ecology of Raptors. T. & A. D. Poyser Ltd., Berkhamsted, pp. 399.
- NOWAK, E., & P. BERTHOLD 1987: Die Satelliten-Telemetrie in der Erforschung von Tierwanderungen: eine Übersicht. *J. Orn.* 128: 405-422.
- OBRECHT, H.H. (III) 1988: Observations of directional thermal soaring preferences in vultures. *Ibis* 130: 300-301.
- OBRECHT, H.H. (III), PENNYCUICK, C.J. & M.R. FULLER 1988: Wind tunnel experiments to assess the effect of back-mounted radio transmitters on body drag. *J. Exp. Biol.* 135: 265-273.
- ODUM, E.P. & E.J. KUENZLER 1955: Measurement of Territory and Home Range Size in Birds. *Auk* 72: 128-137.
- d'OLEIRE-OLTMANN, W., MÄCK, U. & R. BÖGEL 1989: Radio-tracking of Bearded vultures and Griffon Vultures in the Alps. In MEYBURG, B.-U. & R.D. CHANCELLOR (eds.): Raptors in the Modern World, WWGBP, Berlin, London & Paris, pp. 345-352.
- d'OLEIRE-OLTMANN, W., FRANZ, H.P. & A. SCHUSTER 1991: Die Anwendung der Ökosystemforschung für die Analyse der räumlichen Habitatverteilung von Tierarten. In RIEWENHERM, & LIETH (eds.): Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Band XIX/III: 619-627.
- d'OLEIRE-OLTMANN, W. & H.P. FRANZ 1991: Das zoologische Informationssystem (ZOO LIS) der Nationalparkverwaltung Berchtesgaden. In PFADENHAUER et al. (eds.): Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Band 20/2: 685-693.
- OLSEN, G.H., ELLIS, D.H., LANDFRIED, S.E., MILLER, L.J., KLUGMAN, S.S., FULLER, M.R. & C.H. VERMILLION 1992: Behaviour of Sandhill Cranes harnessed with different satellite transmitters. *Proc. North Am. Crane Workshop* 6: 50-56.
- PACE, R.M. & H.P. WEEKS 1990: A nonlinear weighted least-squares estimator for radiotracking via triangulation. *J. Wildl. Manage.* 54(2): 304-310.
- PATON, P.W.C., ZABEL, C.J., NEAL, D.L., STEGER, G.N., TILGHMAN, N.G. & B.R. NOON 1991: Effects of radio tags on Spotted Owls. *J. Wildl. Manage.* 55(4): 617-622.
- PENNYCUICK, C.J. 1971a: Control of gliding angle in Rüppell's Griffon vulture *Gyps rüppellii*. *J. Exp. Biol.* 55: 39-46.
- PENNYCUICK, C.J. 1971b: Gliding flight of the White-backed vulture *Gyps africanus*. *J. Exp. Biol.* 55: 13-38.
- PENNYCUICK, C. J. 1972: Soaring behavior and performance of some East African birds, observed from a motorglider. *Ibis* 114: 178-217.
- PENNYCUICK, C.J. 1973: The soaring flight of vultures. *SAM* 229(6): 102-109.
- PENNYCUICK, C.J. 1975: Mechanics of Flight. In FARNER, D.S., KING, J.R. & K.C. PARKES (eds.): Avian Biology, Band 5. Academic Press, New York, London, pp. 1-75.
- PENNYCUICK, C.J. 1983: Effective Nest Density of Rüppell's Griffon Vulture in the Serengeti-Rift Valley of Northern Tanzania. In WILBUR, S.J. & J.A. JACKSON (eds.): Vulture Biology and Management. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, California, U.S.A., pp. 135-152.
- PENNYCUICK, C.J. 1989: Bird Flight Performance. Oxford University Press, pp. 153.
- PENNYCUICK, C.J. & M.R. FULLER 1987: Considerations of radio-transmitters on bird flight. In KIMMICH, H.P. & M.R. NEUMANN (eds.): Biotelemetry IX, Döring-Druck, Braunschweig, pp. 327-330.
- PENNYCUICK, C.J. & L. McALLISTER 1989: Climbing performance of Harris' Hawk *Parabuteo unicinctus* with added load: implications for muscle mechanics and for radiotracking. *J. Exp. Biol.* 142: 17-29.
- PENNYCUICK, C.J., SCHAFFNER, F.C., FULLER, M.R., OBRECHT, H.H. (III) & L. STERNBERG 1990: Foraging flights of the White-tailed Tropicbird *Phaethon lepturus*: radiotracking and double-labeled water. *Colonial Waterbirds* 13: 96-102.
- PERCO, F. & S. TOSO 1980: Die Gänsegeier auf den Kvarner Inseln. Nationalpark Berchtesgaden, Forschungsberichte 3: 36-37.
- PERCO, F., TOSO, S., SUSIĆ, G. & M. APPOLONIO 1981/1983: Initial Data for a Study on the Status, Distribution and Ecology of the Griffon Vulture (*Gyps fulvus fulvus* HABLIZL 1783) in the Kvarner Archipelago. *Larus* 33: 99-134.
- PERRY, M.C. 1981: Abnormal behaviour of canvasbacks equipped with radio transmitters. *J. Wildl. Manage.* 45: 786-789.
- PINCOCK, D.G., 1983: Proc. of the 4<sup>th</sup> Intern. Wildl. Biotel. Conf., Halifax, Nova Scotia, Canada, pp. 364.
- PIPER, S.E., MUNDY, P.J. & C.J. VERNON 1989: An ageing guide for the Cape Vulture. *Madoqua* 16(2): 105-110.

- PRIEDE, I.G. & S.M. SWIFT 1992: Wildlife Telemetry. Ellis Horwood, London, pp. 708.
- PRINZINGER, R. 1990: Temperaturregulation bei Vögeln. I. Thermoregulatorische Verhaltensweisen. *Luscinia* 46 (5/6): 255–302.
- PRINZINGER, R. 1991: Temperaturregulation bei Vögeln. II. Morphologische Mechanismen. *Luscinia* 47(1/2): 11–55.
- PRINZINGER, R. 1992: Temperaturregulation bei Vögeln. III. Physiologische Mechanismen. *Luscinia* 47(3/4): 117–169.
- PRINZINGER, R., PREßMAR, A. & E. SCHLEUCHER 1991: Body temperature in birds. *Comp. Biochem. Physiol.* 99: 499–506.
- RAMAKKA, J.M. 1972: Effects of radio-tagging on breeding behaviour of male woodcock. *J. Wildl. Manage.* 36(4): 1309–1312.
- REISER, O. 1910/1911: Wie finden die Geier ihr Aas? *Verh. Int. Orn. Kongr., Berlin 1910/1911*: 561–562.
- REISER, E. 1984: Drachenfliegen nach dem Wetter. Motorbuchverlag, Stuttgart.
- REVERS, R. & R. BÖGEL 1994: Distance Immobilisation by Telinject Gun of Griffon Vultures *Gyps fulvus* with the drug Ketamine-Xylazine. In MEYBURG, B.-U. & R.D. CHANCELLOR (eds.): *Raptor Conservation Today*. WWGBP / The Pica Press, London, pp. 367–371.
- ROBERTSON, A.S. 1985: Observations on the post-fledging dependence period of Cape vultures. *Ostrich* 56: 58–66.
- RÜPPELL, G. 1980: Vogelflug. Rohwolt GmbH, Reinbek, pp. 209.
- SACHS, G. 1993: Minimaler Energieaufwand für den dynamischen Segelflug der Albatrosse. *J. Orn.* 134(4): 435–445.
- SALTZ, D. & P.U. ALKON 1985: A simple computer-aided method for estimating radiolocation error. *J. Wildl. Manage.* 49(3): 664–668.
- SALTZ, D. & G.C. WHITE 1990: Comparison of different measures of the error in simulated radio-telemetry locations. *J. Wildl. Manage.* 54(1): 169–174.
- SAMUEL, M.D., PIERCE, D.J., GARTON, E.O., NELSON, L.J. & K.R. DIXON 1985: User's manual for program home range. Univ. Idaho For., Wildl. Range Exp. Stn., Moscow, U.S.A.
- SAMUEL, M.D. & K.P. KENOW 1992: Evaluating habitat selection with radio-telemetry triangulation error. *J. Wildl. Manage.* 56(4): 725–734.
- SARGEANT, A.B., FORBES, J.E. & D.W. WARNER 1965: Accuracy of Data Obtained through the Cedar Creek Automatic Radio-Tracking System. Minnesota Museum of Nat. Hist. Tech. Rep. 10: pp. 20.
- SASAKI, H., ONO, Y., IZAWA, M. & T. DOI 1991: Automatic Radio Tracking System for Mammals. In UCHIYAMA, A. & C.J. AMLANER (eds.): *Biotelemetry XI*. Waseda University Press, Tokyo, Japan, pp. 85–88.
- SCHALLER, J. 1988: Das Geografische Informationssystem ARC/INFO. Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Band 1: Digitale Technologie in der Kartographie, pp. 218–227.
- SCHMIDT, D.F., SHAFFERY, J.P., BALL, N.J., LOENNEKE, D. & C.J. AMLANER 1989: Electrophysiological sleep characteristics in bobwhite quail. In AMLANER, C.J. (eds.): *Biotelemetry X*. University of Arkansas Press, Fayetteville, U.S.A., pp. 339–344.
- SCHMUTZ, J.A. & G.C. WHITE 1990: Error in telemetry studies: effects of animal movement on triangulation. *J. Wildl. Manage.* 54(3): 506–510.
- SCHOBER, F. 1992: Biotelemetriesystem für die physiologische und ethologische Forschung an Wildtieren, Dissertation an der Technischen Universität Wien, pp. 72.
- SCHOBER, F., MARHOLD, A. & F. SOMMER 1984: The Troublesome Errors in Common Techniques of Radio Triangulation. In KIMMICH, H.P. & H.J. KLEWE (eds.): *Biotelemetry VIII*, Döring-Druck, Braunschweig, pp. 379–382.
- SCHOBER, F. & B. OEHRY 1987: Automatic RF-Receiving System for Carrier Frequency Pulses. In KIMMICH, H.P. & M.R. NEUMANN (eds.): *Biotelemetry IX*, Döring-Druck, Braunschweig, pp. 351–354.
- SCHOBER, F., BÖGEL, R., BUGNAR, W.M., BURCHARD, D., FLUCH, G. & N. ROHDE 1993: An Automatic Direction and Location System Based on Doppler Effect. In MANCINI, P., FIORETTI, S., CRISTALLI, C. & R. BEDINI (eds.): *Biotelemetry XII*, Proceedings of the 12th International Symposium on Biotelemetry, Ancona, Italy, 1992. Litografia Felici, Pisa, pp. 327–336.
- SCHÖNER, T.W. 1981: An Empirically Based Estimate of Home Range. *Theoret. Pop. Biol.* 20: 281–325.
- SCHÜZ, E. 1964: Der Geierstein in der Schwäbischen Alb als einstige Lebensstätte des Weißkopfgeiers. *Jh. Vaterl. Naturkde. Württemberg* 118/119: 399–426.
- SCHWAB, D. 1994: Vergleichende Brutphänologie und Populationsökologie von Gänsegeiern (*Gyps fulvus*) in den Spanischen Pyrenäen. Diplomarbeit an der Universität Tübingen, pp. 149.
- SEDINGER, J.S., WHITE, R.G. & W.E. HAUER 1990: Effects of carrying radio transmitters on energy expenditure of pacific Black Brant. *J. Wildl. Manage.* 54(1): 42–45.
- SEIBOLD, I. & M. WINK 1994: Molecular Systematics of Diurnal Raptors. Poster auf dem 21. Intern. Ornithologenkongress in Wien, 1994.
- SEIBOLD, I., HELBIG, A.J. & M. WINK 1994: Molecular Phylogeny of Vultures. Poster auf dem 21. Intern. Ornithologenkongress in Wien, 1994.
- SHAFFER, M.L. 1981: Minimum population sizes for species conservation. *Bioscience* 31: 131–134.
- SINIFF, D.B. & J.R. TESTER 1965: Computer Analysis of Animal-Movement Data Obtained by Telemetry. *BioScience* 15: 104–108.
- SMITH, E.N. & G.L. BARNES 1989: Miniature low power blood flow photo plethysmography biotelemetry system. In AMLANER, C.J. (eds.): *Biotelemetry X*. University of Arkansas Press, Fayetteville, U.S.A., pp. 125–139.
- SNYDER, W.D. 1985: Survival of radio-marked hen ring-necked pheasants in Colorado. *J. Wildl. Manage.* 49: 1044–1050.
- SODHI, N.S., JAMES, P.C. & L.W. OLIPHANT 1991: Effects of radiotagging on breeding Merlins. *J. Wildl. Manage.* 55(4): 613–616.
- SPANDAU, L. & C. SIUDA 1985: Das geografische Informationssystem im MAB 6-Projekt. Ökosystemforschung Berchtesgaden, Fachbereichsbericht FB 93: Kartographie, Datenaufbereitung. Nationalparkverwaltung Berchtesgaden.
- SPENCER, W.D. & R.H. BARRET 1984: An evaluation of the harmonic mean measure for defining carnivore activity areas. *Acta Zool. Fenn.* 171: 255–259.
- SPRINGER, J.T. 1979: Some sources of bias and sampling error in radio triangulation. *J. Wildl. Manage.* 43(4): 926–935.

- STAGER, K.E. 1964: The role of olfaction in food location by the Turkey Vulture. Los Angeles County Museum. Contributions in Science 81.
- STEIN, W. & W. KUMM 1989: Astronomische Navigation. Klasing & Co., Bad Oeynhausen-Eidighausen, pp. 223.
- STONEHOUSE, B. (ed.) 1978: Animal Marking. Proc. of the R.S.P.C.A. Sympos. Lond. 1977. The Macmillan Press, London, pp. 257.
- SUSIĆ, G. 1984: Is the Migration of Yugoslavian Griffon Vultures *Gyps fulvus* (HABLIZL 1783) to the Alps exclusively trophically motivated? *Drustva ekologija Bosne i Hercegovine, Serja B - Naucni skupovi i savjetovanje Broj 3 - III Kongres ekologija Jugoslavije, Knjiga II: 139-142.*
- SWIHART, R.K. & N.A. SLADE 1985: Testing for independence of observations in animal movements. *Ecology* 66(4): 1176-1184.
- TAYLOR, I.R. 1991: Effects of nest inspections and radio-tagging on Barn owl breeding success. *J. Wildl. Manage.* 55(2): 312-315.
- TEMPLE, S.A. & M.P. WALLACE 1989: Survivorship patterns in a population of Andean Condors *Vultur gryphus*. In MEYBURG, B.-U. & R.D. CHANCELLOR (eds.): *Raptors in the Modern World*, WWGBP, Berlin, London & Paris: 247-251.
- TERRASSE, M. 1984: Neues über die Gänsegeier-Wiedereinbürgerung in Süd-Frankreich. *Rundbrief der Weltarbeitsgruppe für Greifvögel (WWGBP) 1: 8-9.*
- TESTER, J.R. 1971: Interpretation of Ecological and Behaviour Data on Wild Animals Obtained by Telemetry with Special Reference to Errors and Uncertainty. Proc. Symp. Biotel. Pretoria, South Africa, 1971: 385-408.
- THALER, E., MASCHLER, S. & V. STEINKELLNER 1986: Vergleichende Studien zur Postembryonalentwicklung dreier Altvogelgeier: Bartgeier *Gypaetus barbatus aureus* (HABLIZL 1788), Schmutzgeier *Neophron percnopterus* (LINNE 1758) und Gänsegeier *Gyps fulvus* (HABLIZL 1783). *Ann. Naturhist. Mus. Wien* 88/89B: 361-376.
- TRATZ, E. P. 1953: Geier und Geieradler im salzburgischen und nachbarlichen Alpengebiet. *Jb. Ver. Schutz Alpenpflanzen und -tiere* 18: 24-49.
- TRATZ, E. P. 1954: Geier und Geieradler im salzburgischen und nachbarlichen Alpengebiet. *Jb. Ver. Schutz Alpenpflanzen und -tiere* 19: 10-29.
- TRATZ, E. P. 1969: Unsere Geiervögel (*Vulturidae*). *Jb. Ver. Schutz Alpenpflanzen und -tiere* 33: 15-28.
- TUCKER, V.A. 1973: Bird metabolism during flight: Evaluation of a theory. *J. Exp. Biol.* 58: 689-709.
- TUCKER, V.A. 1987: Gliding birds: the effect of variable wing span. *J. exp. Biol.* 133: 33-58.
- TUCKER, V.A. 1988: Gliding birds: Decending flight of the White-backed vulture, *Gyps africanus*. *J. exp. Biol.* 140: 325-344.
- TUCKER, V.A. & C. HEINE 1990: Gliding birds: Aerodynamics of gliding flight in a Harris Hawk, *Parabuteo unicinctus*. *J. exp. Biol.* 149: 469-489.
- VALVERDE, J. A. 1959: Moyens d'expression et hierarchie sociale chez le Vautour fauve *Gyps fulvus* (HABLIZL). *Alauda* 27: 1-15.
- VOIGT, D.R. & R.R. TINLINE 1980: Strategies for Analyzing Radio Tracking Data. In AMLANER, C.J. & D.W. MACDONALD (eds.): *A Handbook on Biotelemetry and Radiotracking*, Pergamon Press, Oxford, pp. 387-404.
- WALTER, W. 1979: Geierfutterplatz Rauris-Tal. *Panda, WWF-Austria* 15: 12-13.
- WARD, P. & A. ZAHAVI 1973: The importance of certain assemblages of birds as „information-centres“ for food-finding. *Ibis* 115: 517-534.
- WATSON, D.W. & H.E. WRIGHT 1971: Radio Direction Finding. Van Nostrand Reinhold Company, London.
- WEATHERHEAD, P.J. 1983: Two principal strategies in avian communal roosts. *The American Naturalist* 121(2): 237-243.
- WEEK, R.W., LONG, F.M., 1985: Proc. of the 5<sup>th</sup> Intern. Wildl. Biotel. Conf., Chicago, Illinois, U.S.A., pp. 118.
- WEICK, F. 1980: *Die Greifvögel der Welt*. Parey Verlag, Hamburg, Berlin. pp. 159.
- WEIMERSKIRCH, H., SALAMOLARD, M., SARRAZIN, F. & P. JOUVENTIN 1993: Foraging Strategy of Wandering Albatrosses through the Breeding Season: A Study Using Satellite Telemetry. *The Auk* 110(2): 325-342.
- WEISCHET, W. 1983: Einführung in die allgemeine Klimatologie. Teubner Studienreihe der Geographie, Stuttgart 1983, pp. 260.
- WHITE, G.C. 1985: Optimal locations of towers for triangulation studies using biotelemetry. *J. Wildl. Manage.* 49(1): 190-196.
- WHITE, G.C. & R.A. GARROT 1990: *Analysis of Wildlife Radio-Tracking Data*. Academic Press, New York, London, pp. 383.
- WINDISCHBAUER, H. 1976: Freifliegende Geier in Salzburg. *Berichte aus dem Haus der Natur Salzburg* 7: 66-67.
- WINKLE, (van), W. 1975: Comparison of Several Probabilistic Home Range Models. *J. Wildl. Manage.* 39: 118-123.
- WITTENBERGER, J.F. & G.L. HUNT (Jr.) 1985: The adaptive significance of coloniality in birds. In *Avian Biology*, Vol. III, Academic Press, London, pp. 1-78.
- WOAKES, A.J. & P.J. BUTLER 1975: An implantable transmitter for monitoring heart rate and respiratory frequency in diving ducks. In NEUKOMM, P.A. (ed.): *Biotelemetry II*, S. Karger, Basel, pp. 153-160.
- WOAKES, A.J. & P.J. BUTLER 1980: An implantable transducer for the measurement of respiratory air flow. In AMLANER, C.J. & D.W. MACDONALD (eds.): *A Handbook on Biotelemetry and Radiotracking*, Pergamon Press, Oxford, pp. 287-292.
- WORTON, B.J. 1989: Kernel methods for estimating the utilization distribution in home range studies. *Ecology* 70(1): 164-168.
- WRAY, S., CRESSWELL, W.J. & D. ROGERS 1992: Dirichlet tessellations: a new, non-parametric approach to home range analysis. In PRIEDE, I.G. & S.M. SWIFT (eds.): *Wildlife Telemetry*. Ellis Horwood, London, pp. 247-255.
- ZARAZIN, F. 1993: Griffon Vulture in France. *Re-Introduction News* 7: p. 14.

## 9 Anhang

### 9.1 Individuen der Geierkolonie

Ringnr.	Name <sup>1</sup>	Herkunft	Geburtsjahr
AA 676	links alu <sup>t</sup>	Zoo Innsbruck	1977
AA 679/GG 58	rechts rot <sup>o,2</sup>	Zoo Innsbruck	1979
AA 685	rechts gold <sup>o,v</sup>	Zoo Zürich	unbekannt
GG 5	rechts schwarz <sup>t</sup>	unbekannt	unbekannt
GG 6	links grün	unbekannt	unbekannt
GG 7	rechts grün <sup>t</sup>	unbekannt	unbekannt
GG 3	links rosa <sup>t</sup>	unbekannt	unbekannt
GG 1/GG 57	rechts rosa / links rot <sup>o,2</sup>	unbekannt	unbekannt
GG 9	links blau <sup>v</sup>	unbekannt	unbekannt
GG 53	links blau <sup>o</sup>	unbekannt	unbekannt
GG 56	rechts grün <sup>o</sup>	unbekannt	unbekannt
-	Unberingt <sup>t</sup>	unbekannt	unbekannt
GG 38	rechts blau-rot <sup>o,v</sup>	unbekannt	unbekannt
GG 10	links rot-gold <sup>o,t</sup>	Zoo Wuppertal	unbekannt
10017	rechts alu <sup>o,t</sup>	Zoo Wuppertal	unbekannt
GG 35	links schwarz-rot <sup>o,5</sup>	Zoo Wuppertal	unbekannt
GG 37	links blau-orange <sup>o,5</sup>	Zoo Wuppertal	unbekannt
-	Unberingt 82 <sup>t</sup>	Brut Untersberg	1982
GG 4	rechts schwarz	Zoo Innsbruck	1982
GG 8	rechts blau	Zoo Innsbruck	1983
GG 29	links alu-blau <sup>o,v</sup>	Zoo Rotterdam	1983
AA 676	links alu juvenil <sup>3</sup>	Brut Untersberg	1984
GG 30	links schwarz-orange <sup>o,4</sup>	Zoo Rotterdam	1984
-	Unberingt	Brut Untersberg	1987
GG 34	rechts alu-schwarz <sup>o,t</sup>	Brut Untersberg	1988
GG 33	links alu-rot <sup>o</sup>	Zoo Innsbruck	1989
GG 59	rechts weiß <sup>o</sup>	zugeflogen	1989/1990 <sup>6</sup>
GG 51	links schwarz <sup>o,t</sup>	Brut Untersberg	1990
GG 36	rechts alu-gelb <sup>o,t</sup>	Brut Untersberg	1990
C XX	links I	Brut Kroatien	1991
GG 52	links schwarz <sup>o,v,7</sup>	Brut Untersberg	1993
C 18	rechts Q2 <sup>t</sup>	Brut Kroatien	1993

Es sind nur eindeutig identifizierbare Individuen aufgeführt. Vögel mit unbekanntem Geburtsjahr waren zum Zeitpunkt der Beringung schon adult (Mindestalter 6 Jahre). Juvenilvögel, die im Herbst im Umfeld der Kolonie aufgegriffen wurden, werden als Eigenbrut am Untersberg eingestuft. Unberingte, zugeflogene Exemplare können nicht individuell angesprochen werden. Sie sind deshalb nicht aufgeführt. Dabei handelte es sich ausschließlich um immature Exemplare (bis zu 4 gleichzeitig). Sie waren z.T. allerdings über mehrere Jahre Mitglied der Zookolonie.

)<sup>t</sup> Vogel inzwischen verstorben oder verunglückt

)<sup>v</sup> Vogel inzwischen verschollen oder verwildert

)<sup>o</sup> Vogel zeitweise sendermarkiert

)<sup>1</sup> Name leitet sich von der Fußberingung ab

)<sup>2</sup> Vogel erhielt später neuen Ring

)<sup>3</sup> Fußring von verstorbenem Vogel übernommen

)<sup>4</sup> Auf der Kroatischen Insel Cres tot aufgefunden

)<sup>5</sup> Nach mißglücklichem Integrationsversuch wiedereingefangen

)<sup>6</sup> Alter nach Gefieder-, Iris- und Schnabelmerkmalen bestimmt (THALER et al. 1986, PIPER et al. 1989)

)<sup>7</sup> Letzter Nachweis in den Hohen Tauern zusammen mit wilden Artgenossen



## 9.2 Ableitung der Formel zur Berechnung der Flughöhe aus Luftdruck, Basistemperatur und Temperaturgradient der Atmosphäre

$$\Delta h_{(P, \vartheta)} = 18400 \cdot \left( 1 + \frac{1}{273,15} \cdot \frac{\vartheta_0 + \vartheta_h}{2} \right) \cdot \text{LOG} (P_0 / P_{(h)}) \quad (1)$$

$$\vartheta_1 = \vartheta_0 - \Delta \vartheta_{\text{grad}} \cdot \Delta h \quad \text{mit } \Delta \vartheta_{\text{grad}} = \frac{\Delta T}{\Delta h} = \frac{dT}{dh} \quad (2)$$

aus (2) -> (1) folgt für beliebige Höhen (bezogen auf Referenzwerte):

$$\Delta h = \left( 18400 + \frac{18400}{273,15} \cdot \frac{2\vartheta_{\text{Ref}} - \Delta \vartheta_{\text{grad}} \cdot \Delta h}{2} \right) \cdot \text{LOG} (P_{\text{Ref}} / P_{(h)})$$

$$\Delta h = \left( 18400 + 9200 \cdot \frac{2\vartheta_{\text{Ref}} - \Delta \vartheta_{\text{grad}} \cdot \Delta h}{273,15} \right) \cdot \text{LOG} (P_{\text{Ref}} / P_{(h)})$$

$$\Delta h = \left( 18400 + \frac{18400}{273,15} \cdot \vartheta_{\text{Ref}} - \frac{9200 \cdot \Delta \vartheta_{\text{grad}}}{273,15} \cdot \Delta h \right) \cdot \text{LOG} (P_{\text{Ref}} / P_{(h)})$$

$$\frac{1}{\text{LOG} (P_{\text{Ref}} / P_{(h)})} \cdot \Delta h = 18400 + \frac{18400}{273,15} \cdot \vartheta_{\text{Ref}} - \frac{9200 \cdot \Delta \vartheta_{\text{grad}}}{273,15} \cdot \Delta h$$

$$\left( \frac{1}{\text{LOG} (P_{\text{Ref}} / P_{(h)})} + \frac{9200 \cdot \Delta \vartheta_{\text{grad}}}{273,15} \right) \cdot \Delta h = 18400 \cdot \left( 1 + \frac{\vartheta_{\text{Ref}}}{273,15} \right)$$

$$\Delta h = \frac{18400 \cdot \left( 1 + \frac{\vartheta_{\text{Ref}}}{273,15} \right)}{\left( \frac{1}{\text{LOG} (P_{\text{Ref}} / P_{(h)})} + \frac{9200 \cdot \Delta \vartheta_{\text{grad}}}{273,15} \right)}$$

Bezogen auf die Referenzhöhe ergibt sich als Höhe über NN:

$$h_{(P, \vartheta)} = h_{\text{Ref}} + \frac{18400 \cdot \left( 1 + \frac{\vartheta_{\text{Ref}}}{273,15} \right)}{\left( \frac{1}{\text{LOG} (P_{\text{Ref}} / P_{(h)})} + \frac{9200 \cdot \Delta \vartheta_{\text{grad}}}{273,15} \right)}$$

### 9.3 Eichdiagramme der Flughöhensender

#### 9.3.1 Regressionsfunktionen und Kennlinien der Temperaturübertragung

Regressionsfunktion:  $t(T) = a + b \cdot T + c \cdot T^2 + d \cdot T^3$

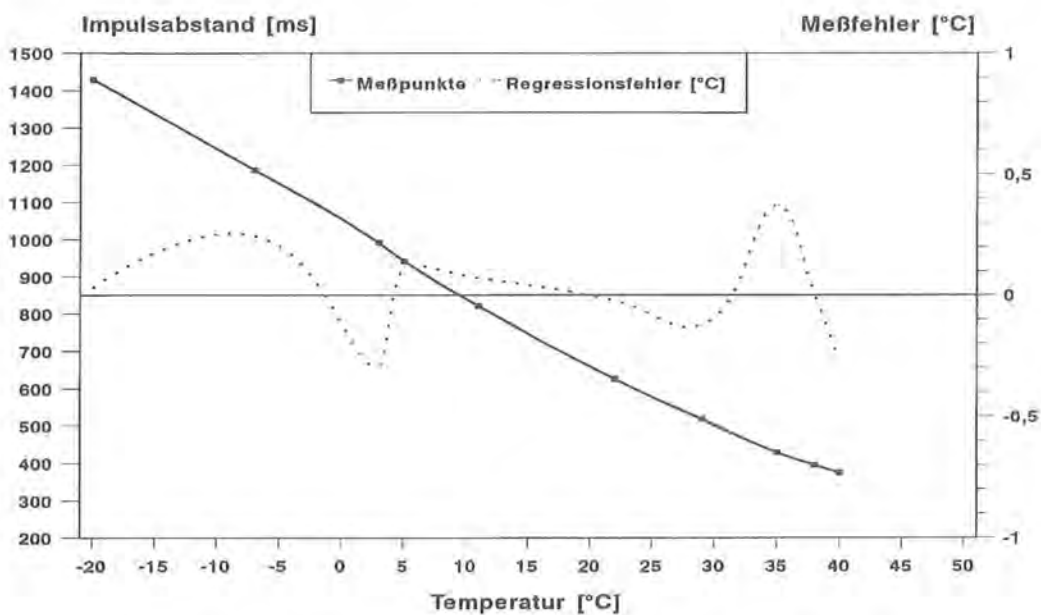
mit:  $t(T)$ : Temperatur [°C]  
 $T$ : Impulsintervall [ms]

a, b, c, d: Senderspezifische Regressionsparameter

Senderspezifische Regressionsparameter und Regressionsfehler:

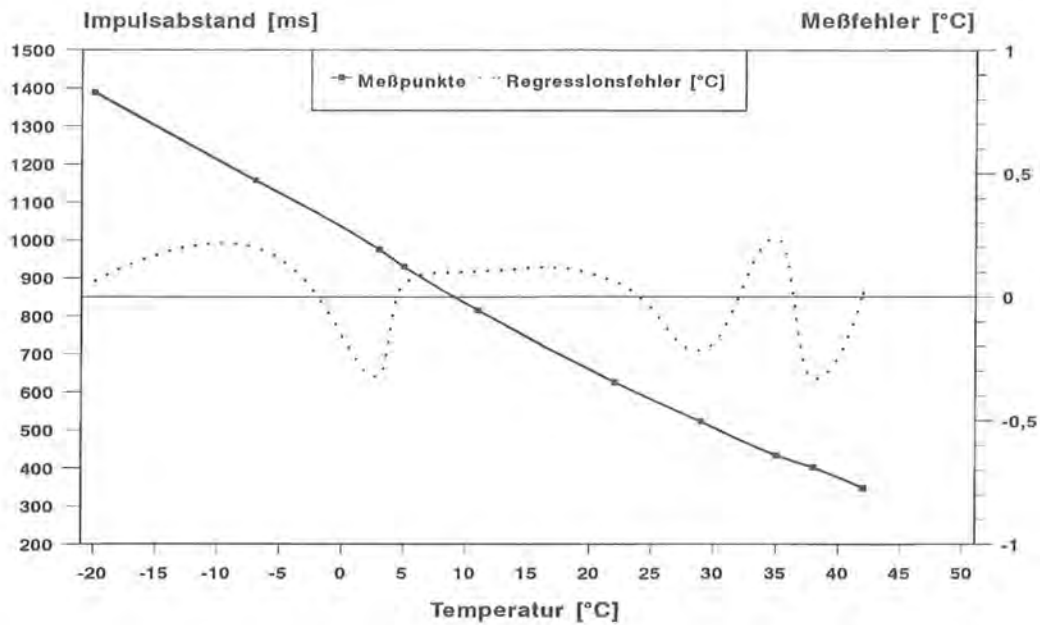
Kanal	a	b	c	d	max. / mittlerer Fehler [°C]
2	79,1	-0,1324	8,23 E-5	-2,67 E-8	0,4° / 0,2°
4	77,8	-0,1252	7,28 E-5	-2,40 E-8	0,3° / 0,2°
6	79,9	-0,1384	9,62 E-5	-3,35 E-8	0,3° / 0,2°
12	78,4	-0,1316	8,73 E-5	-3,00 E-8	0,3° / 0,1°
16	80,2	-0,1227	6,96 E-5	-2,37 E-8	0,3° / 0,1°
18	72,5	-0,0875	2,81 E-5	-0,66 E-8	0,5° / 0,2°
22	75,9	-0,1204	7,06 E-5	-2,21 E-8	0,1° / 0,1°
24	79,8	-0,1513	12,28 E-5	-5,02 E-8	0,3° / 0,1°
26	77,8	-0,1327	9,19 E-5	-3,15 E-8	0,2° / 0,1°
28	80,2	-0,1375	9,82 E-5	-3,81 E-8	0,1° / 0,0°
32	77,6	-0,1375	9,83 E-5	-3,51 E-8	0,5° / 0,2°
34	86,8	-0,1720	14,58 E-5	-5,82 E-8	0,3° / 0,2°
36	79,8	-0,1280	8,16 E-5	-3,09 E-8	0,1° / 0,0°
38	79,5	-0,1316	7,98 E-5	-2,41 E-8	0,6° / 0,3°
42	81,2	-0,1531	11,50 E-5	-4,01 E-8	0,4° / 0,2°

**Temperatureichung Flughöhensender**  
**Übertragungsfunktion Kanal 2**  
 $f = 138,020 \text{ MHz}$



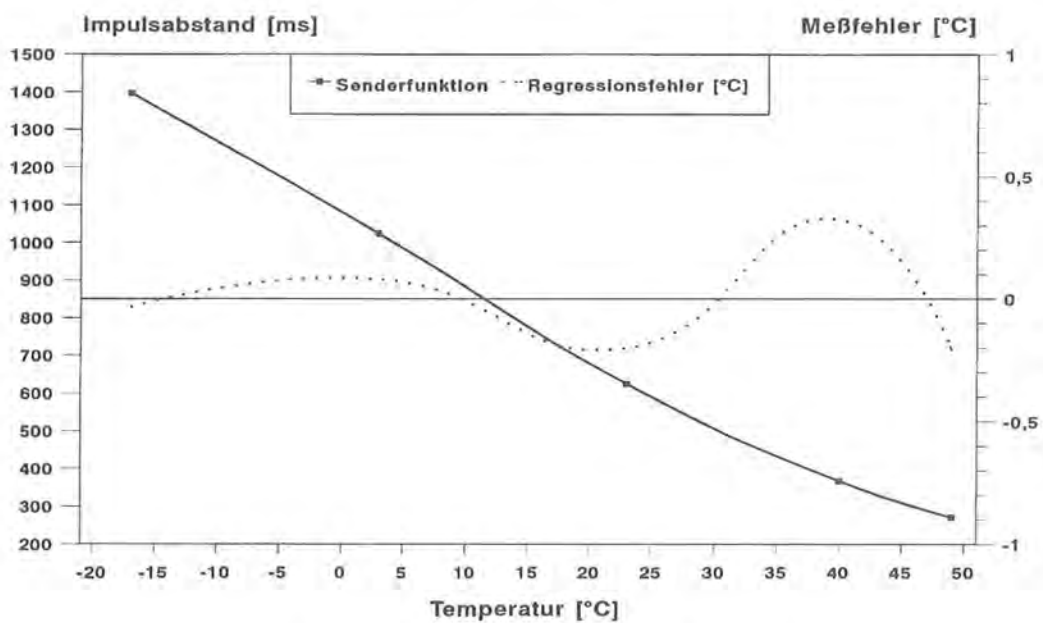
$$t(T) = 79,1 - 0,1324 \cdot T + 8,23 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 2,67 \cdot 10^{-8} \cdot T^3$$

### Temperatureichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 4 f = 138,040 MHz



$$t(T) = 77,8 - 0,1252 * T + 7,28 * 10^{-5} * T^2 - 2,40 * 10^{-8} * T^3$$

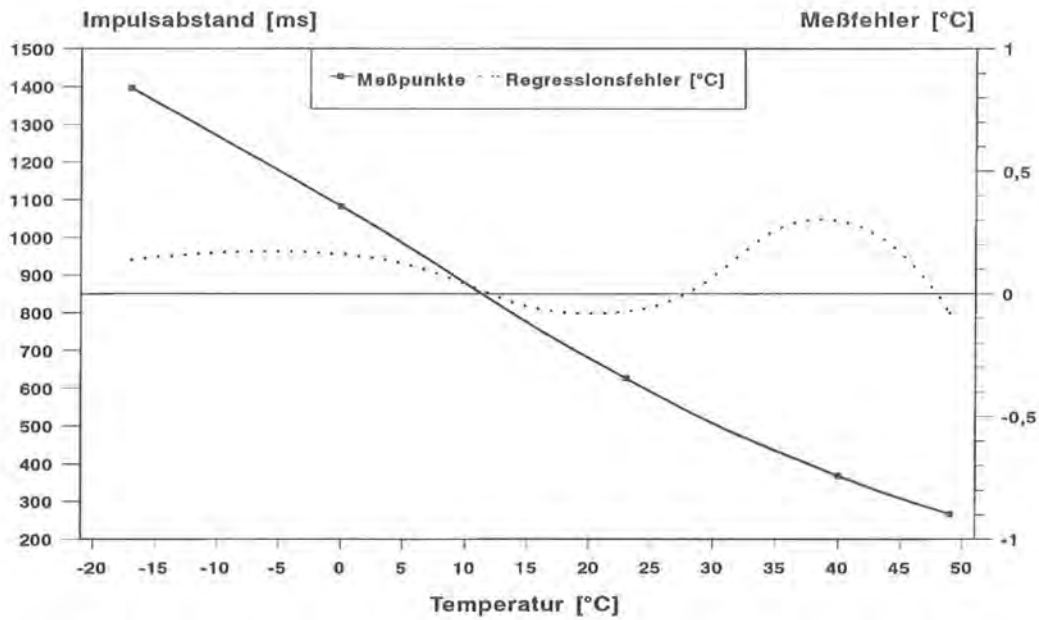
### Temperatureichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 6 f = 138,060 MHz



$$t(T) = 79,9 - 0,1384 * T + 9,62 * 10^{-5} * T^2 - 3,35 * 10^{-8} * T^3$$

### Temperatureichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 12

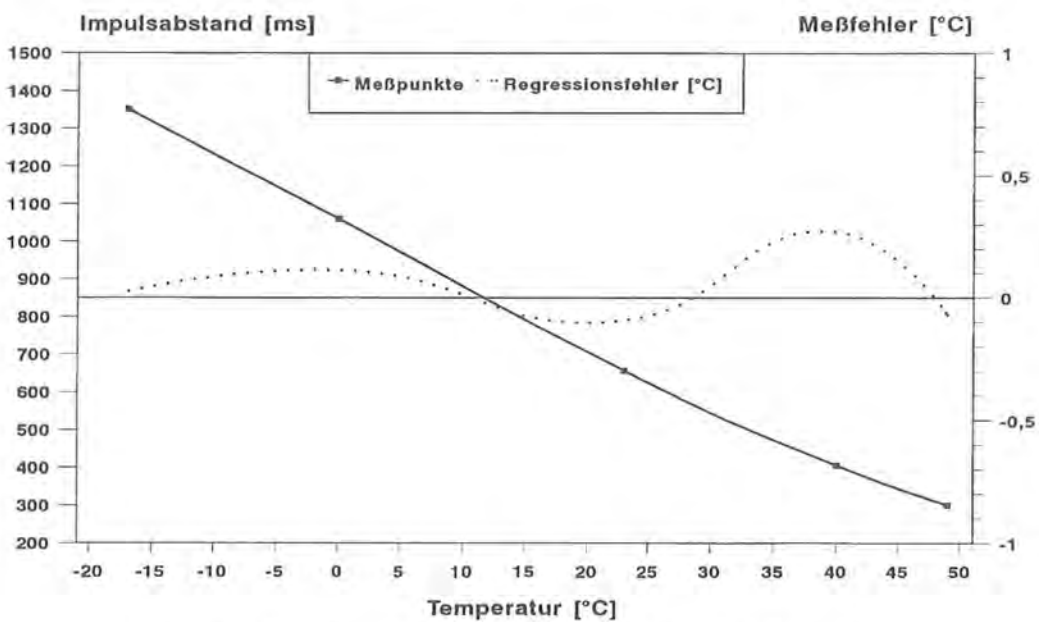
f = 138,120 MHz



$$t(T) = 78,4 - 0,1316 * T + 8,73 * 10^{-5} * T^2 - 3,00 * 10^{-8} * T^3$$

### Temperatureichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 16

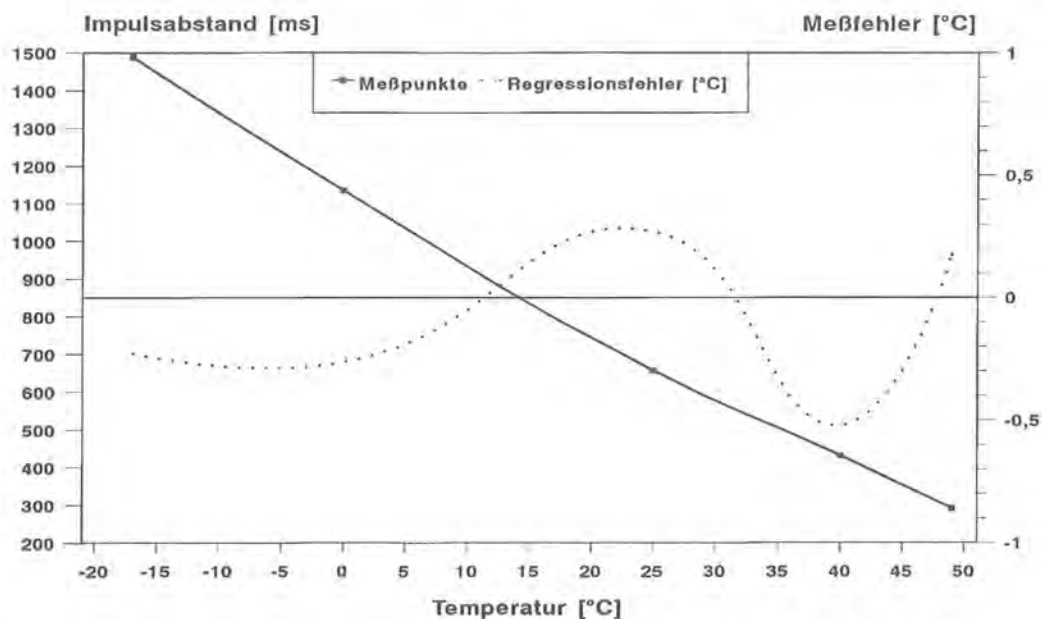
f = 138,160 MHz



$$t(T) = 80,2 - 0,1227 * T + 6,96 * 10^{-5} * T^2 - 2,37 * 10^{-8} * T^3$$

### Temperatureichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 18

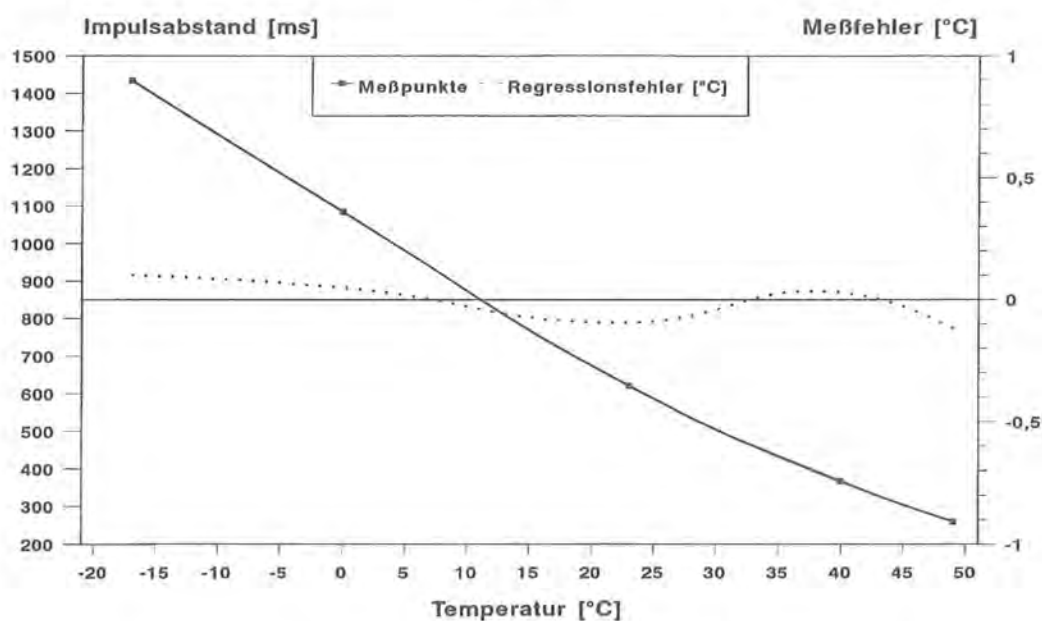
f = 138,180 MHz



$$t(T) = 72,5 - 0,0875 * T + 2,81 * 10^{-5} * T^2 - 0,66 * 10^{-8} * T^3$$

### Temperatureichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 22

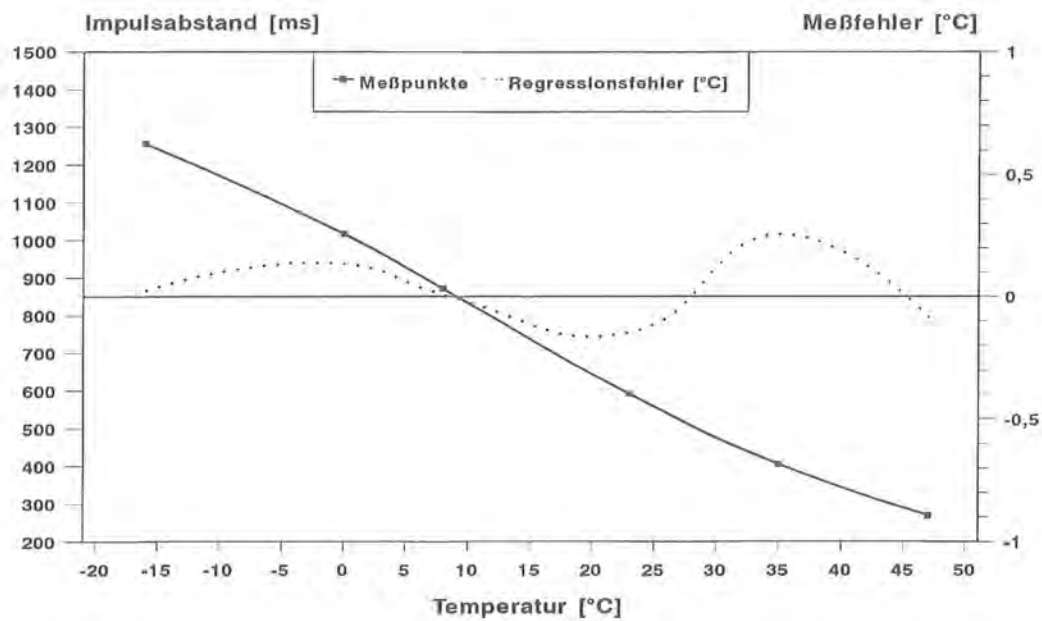
f = 138,220 MHz



$$t(T) = 75,8 - 0,1204 * T + 7,06 * 10^{-5} * T^2 - 2,21 * 10^{-8} * T^3$$

## Temperatureichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 24

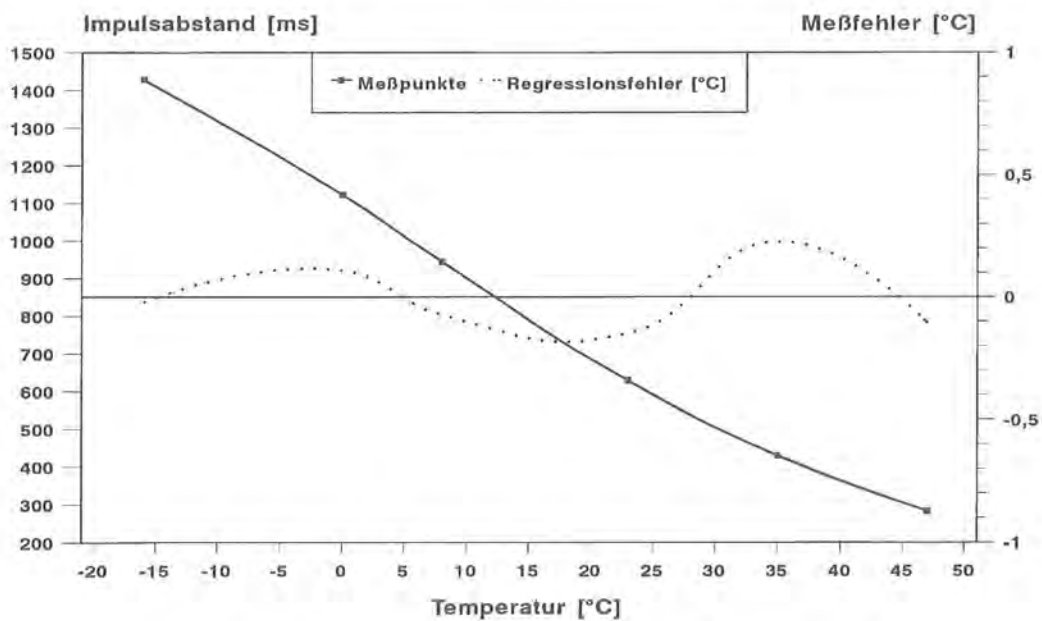
$f = 138,240 \text{ MHz}$



$$t(T) = 79,8 - 0,1513 * T + 12,28 * 10^{-5} * T^2 - 5,02 * 10^{-8} * T^3$$

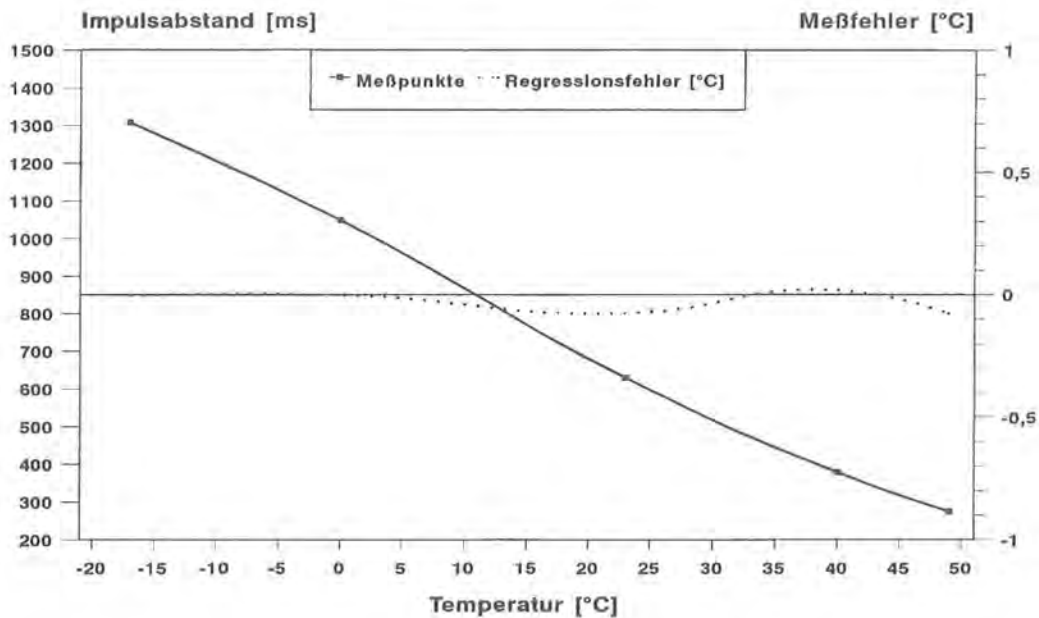
## Temperatureichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 26

$f = 138,260 \text{ MHz}$



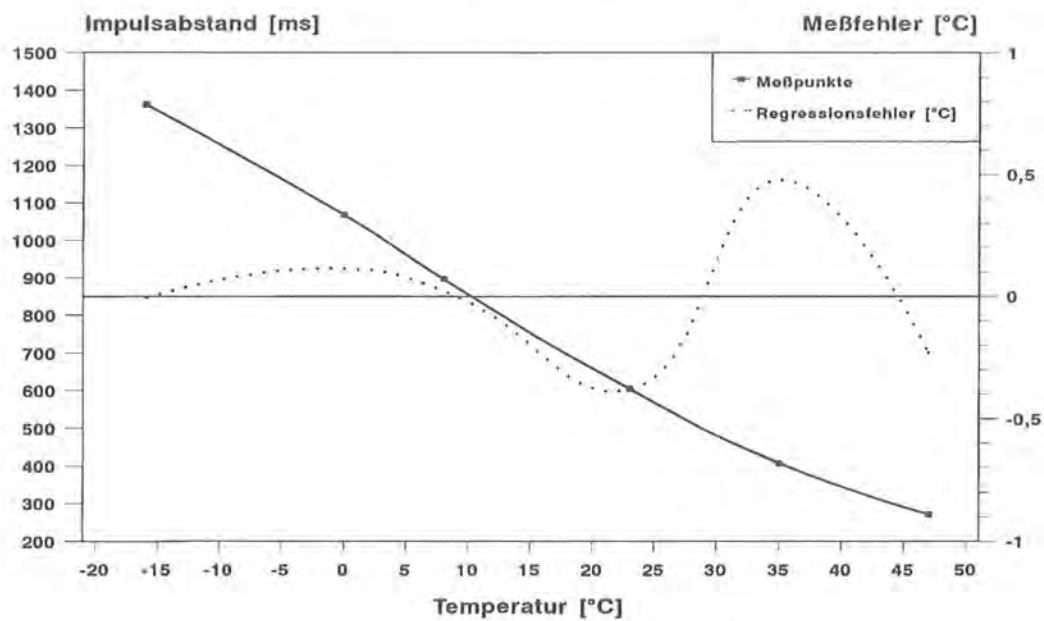
$$t(T) = 77,8 - 0,1327 * T + 9,19 * 10^{-5} * T^2 - 3,15 * 10^{-8} * T^3$$

### Temperatureichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 28 f = 138,280 MHz



$$t(T) = 80,1 - 0,1375 * T + 9,82 * 10^{-5} * T^2 - 3,81 * 10^{-8} * T^3$$

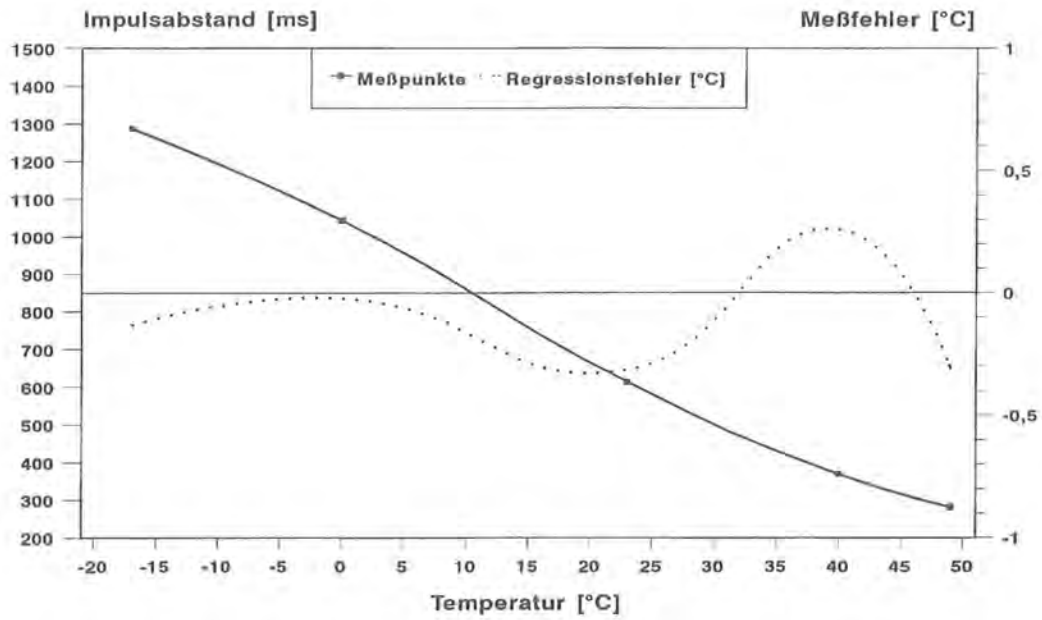
### Temperatureichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 32 f = 138,320 MHz



$$t(T) = 77,6 - 0,1375 * T + 9,83 * 10^{-5} * T^2 - 3,51 * 10^{-8} * T^3$$

## Temperatureichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 34

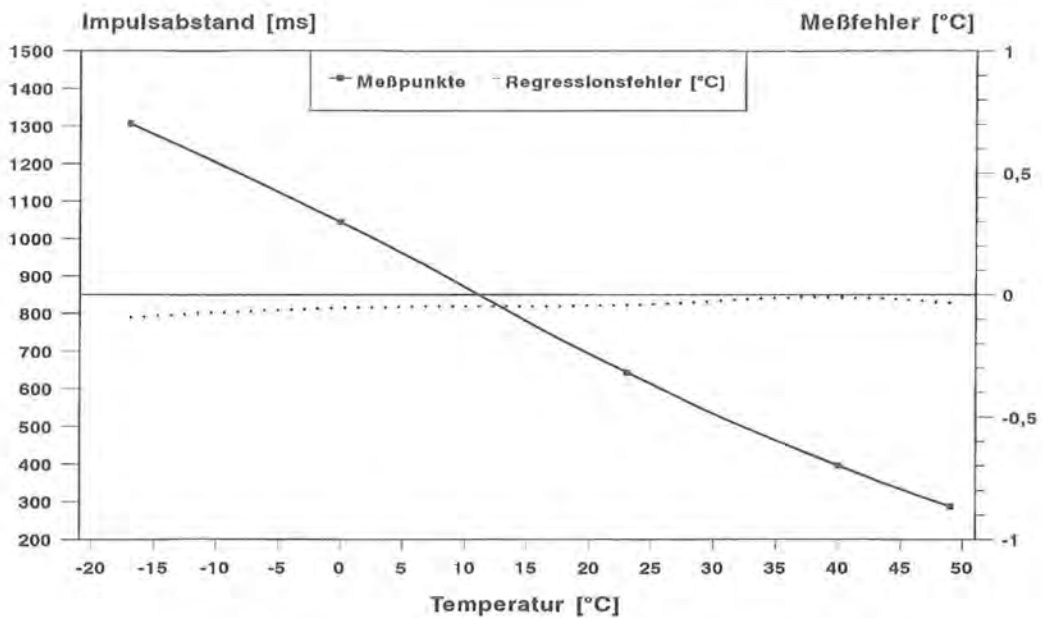
$f = 138,340 \text{ MHz}$



$$t(T) = 86,8 - 0,1720 * T + 14,58 * 10^{-5} * T^2 - 5,82 * 10^{-6} * T^3$$

## Temperatureichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 36

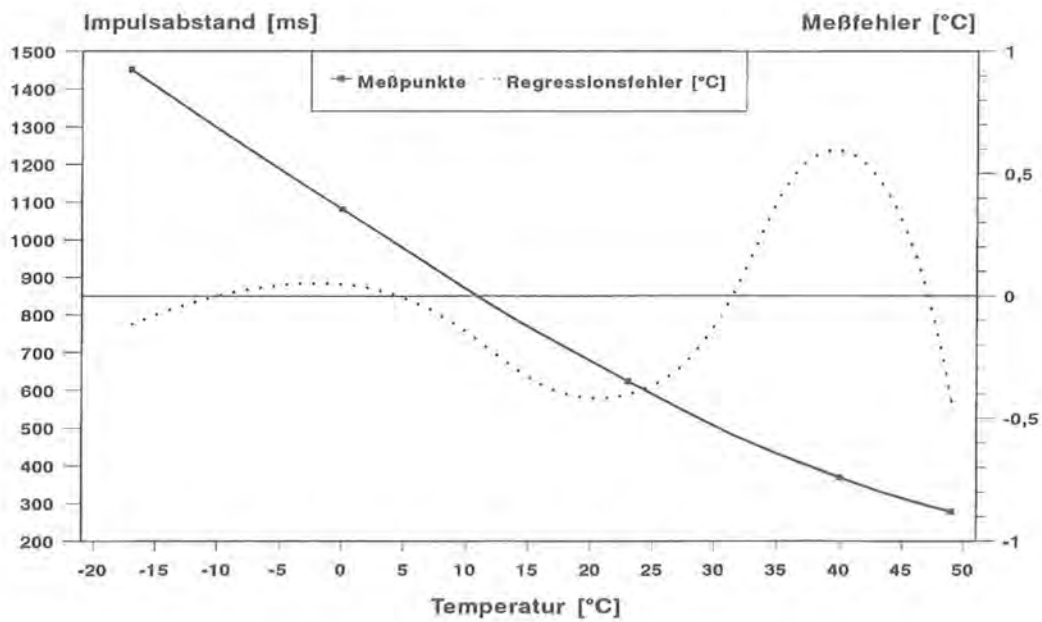
$f = 138,360 \text{ MHz}$



$$t(T) = 79,8 - 0,1280 * T + 8,16 * 10^{-5} * T^2 - 3,09 * 10^{-6} * T^3$$

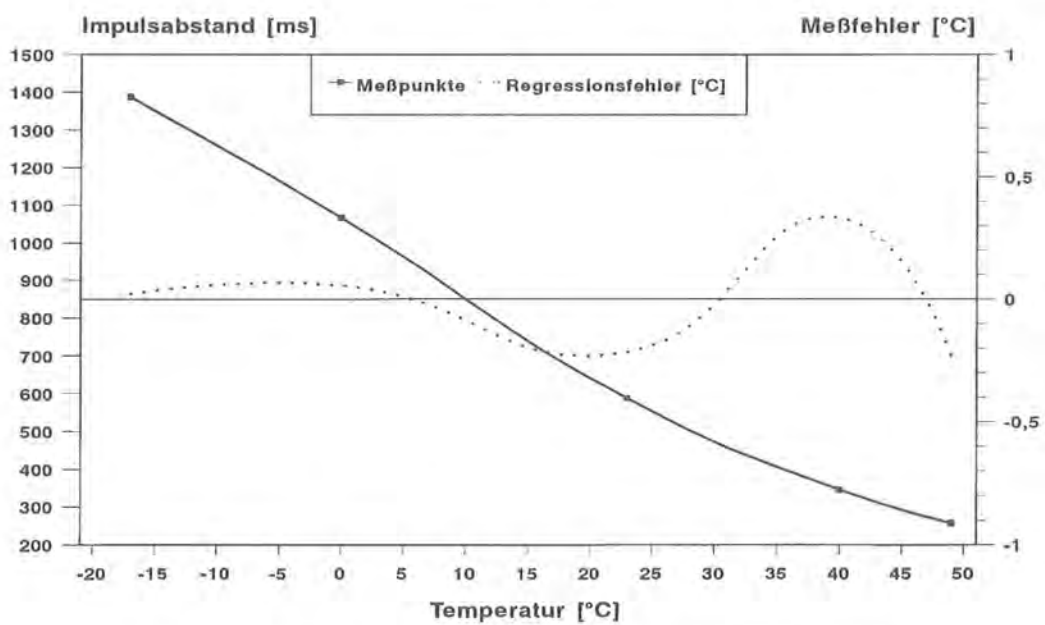


### Temperatureichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 38 f = 138,380 MHz



$$t(T) = 79,5 - 0,1316 * T + 7,98 * 10^{-5} * T^2 - 2,41 * 10^{-8} * T^3$$

### Temperatureichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 42 f = 138,420 MHz



$$t(T) = 81,2 - 0,1531 * T + 11,50 * 10^{-5} * T^2 - 4,01 * 10^{-8} * T^3$$

### 9.3.2 Regressionsfunktionen und Kennlinien der Luftdruckübertragung

#### Luftdruck-Übertragungsfunktion Flughöhensender K 2 (138,020 MHz)

Regressionsfunktion:  $P_{(T)} = a_{(0)} + b_{(0)} \cdot T + c_{(0)} \cdot T^2$

mit:  $P_{(T)}$ : Luftdruck [mbar]  
 $T$ : Impulsintervall [ms]  
 $\vartheta$ : Sendertemperatur [°C]  
 $a_{(0)} = a_0 + a_1 \vartheta + a_2 \vartheta^2 + a_3 \vartheta^3$   
 $b_{(0)} = b_0 + b_1 \vartheta + b_2 \vartheta^2 + b_3 \vartheta^3$   
 $c_{(0)} = c_0 + c_1 \vartheta + c_2 \vartheta^2 + c_3 \vartheta^3$

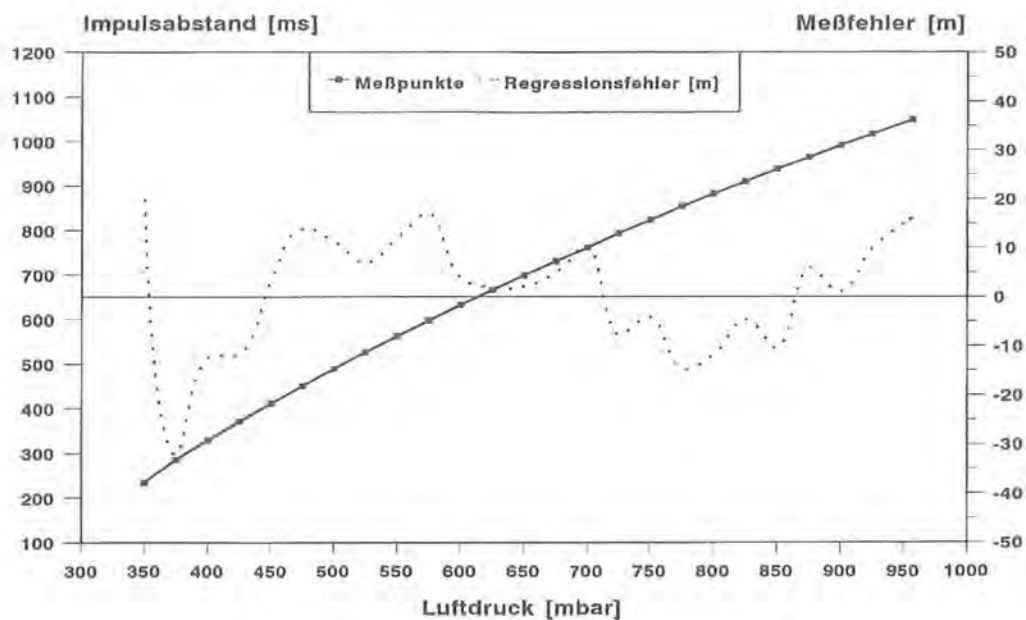
Senderspezifische Regressionsparameter:

Parameter	$a_{(0)}$	$b_{(0)}$	$c_{(0)}$
$P_0$	259,8	0,379	2,793 E-4
$P_1$	-0,979	1,50 E-3	-8,3 E-7
$P_2$	1,33 E-2	-8,24 E-5	4,64 E-8
$P_3$	-2,1 E-4	18,90 E-7	-8,4 E-10
Temperatur [°C]	$a_{(0)}$	$b_{(0)}$	$c_{(0)}$
-20	286,4	0,301	3,212 E-4
-10	271,1	0,354	2,931 E-4
0	259,8	0,379	2,793 E-4
10	251,1	0,388	2,748 E-4
20	243,9	0,391	2,745 E-4
30	236,7	0,401	2,735 E-4
40	228,5	0,428	2,666 E-4
50	217,9	0,484	2,488 E-4

Maximaler / mittlerer Regressionsfehler: <1,74 / 0,761 mbar

#### Druckeichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 2

f = 138,020 MHz



$$P(T) = 242,1 + 0,392 \cdot T + 2,747 \cdot 10^{-4} \cdot T^2$$

## Luftdruck-Übertragungsfunktion Flughöhensender K 4 (138,040 MHz)

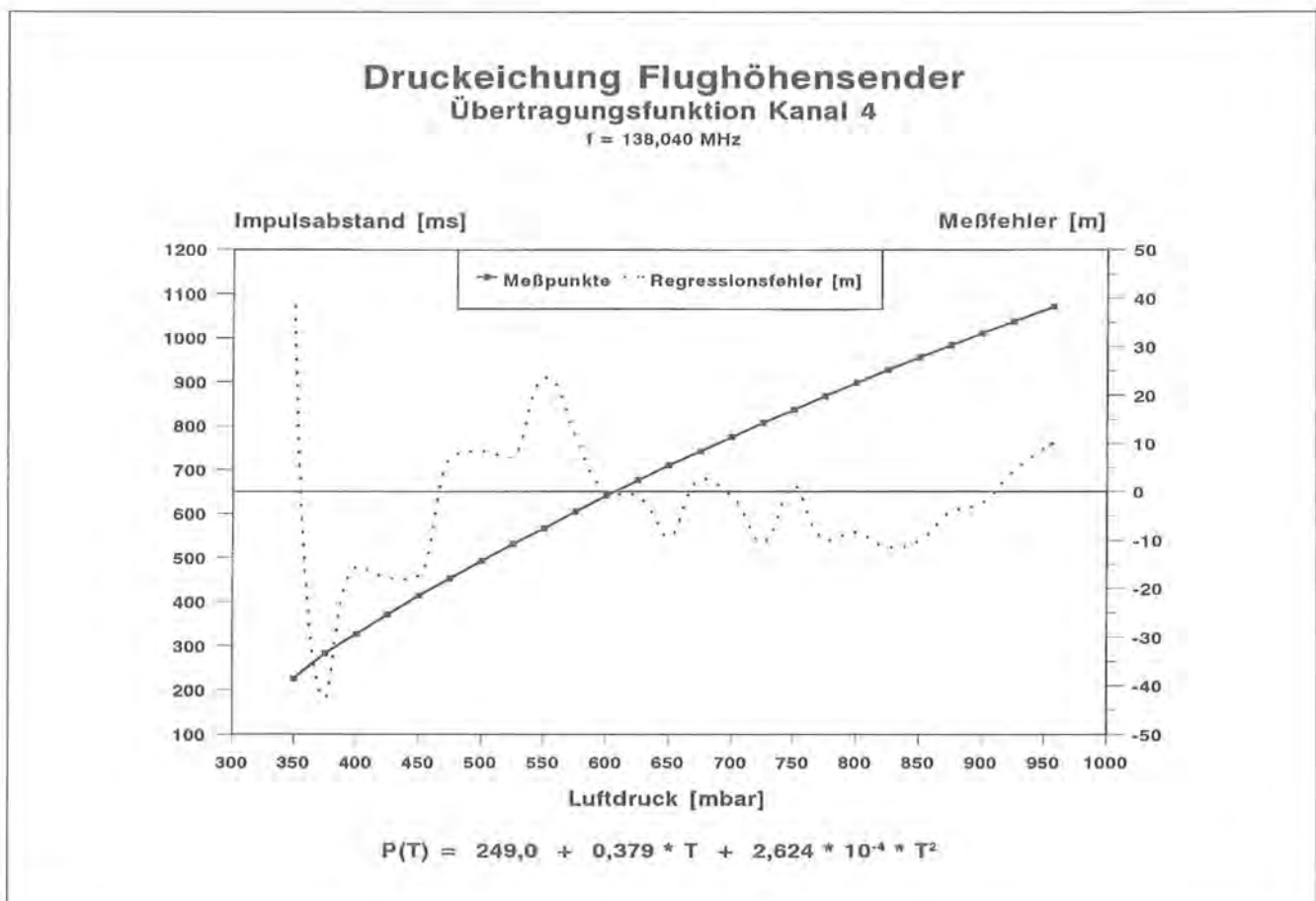
Regressionsfunktion:  $P_{(T)} = a_{(T)} + b_{(T)} \cdot T + c_{(T)} \cdot T^2$

mit:  $P_{(T)}$ : Luftdruck [mbar]  
 $T$ : Impulsintervall [ms]  
 $\vartheta$ : Sendertemperatur [°C]  
 $a_{(T)} = a_0 + a_1 \vartheta + a_2 \vartheta^2 + a_3 \vartheta^3$   
 $b_{(T)} = b_0 + b_1 \vartheta + b_2 \vartheta^2 + b_3 \vartheta^3$   
 $c_{(T)} = c_0 + c_1 \vartheta + c_2 \vartheta^2 + c_3 \vartheta^3$

Senderspezifische Regressionsparameter:

Parameter	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
$P_0$	255,6	0,398	2,436 E-4
$P_1$	-0,486	-0,07 E-3	2,2 E-7
$P_2$	1,99 E-2	-9,82 E-5	6,56 E-8
$P_3$	-4,6 E-4	26,37 E-7	-15,6 E-10
Temperatur [°C]	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
-20	277,0	0,339	2,779 E-4
-10	262,9	0,386	2,495 E-4
0	255,6	0,398	2,436 E-4
10	252,3	0,390	2,508 E-4
20	250,2	0,378	2,618 E-4
30	246,5	0,379	2,671 E-4
40	238,6	0,407	2,575 E-4
50	223,6	0,479	2,236 E-4

Maximaler / mittlerer Regressionsfehler: <2,03 / 0,789 mbar



## Luftdruck-Übertragungsfunktion Flughöhensender K 6 (138,060 MHz)

Regressionsfunktion:  $P_{(T)} = a_{(0)} + b_{(0)} \cdot T + c_{(0)} \cdot T^2$

mit:  $P_{(T)}$ : Luftdruck [mbar]  
 $T$ : Impulsintervall [ms]  
 $\vartheta$ : Sendertemperatur [°C]  
 $a_{(0)} = a_0 + a_1 \vartheta + a_2 \vartheta^2 + a_3 \vartheta^3$   
 $b_{(0)} = b_0 + b_1 \vartheta + b_2 \vartheta^2 + b_3 \vartheta^3$   
 $c_{(0)} = c_0 + c_1 \vartheta + c_2 \vartheta^2 + c_3 \vartheta^3$

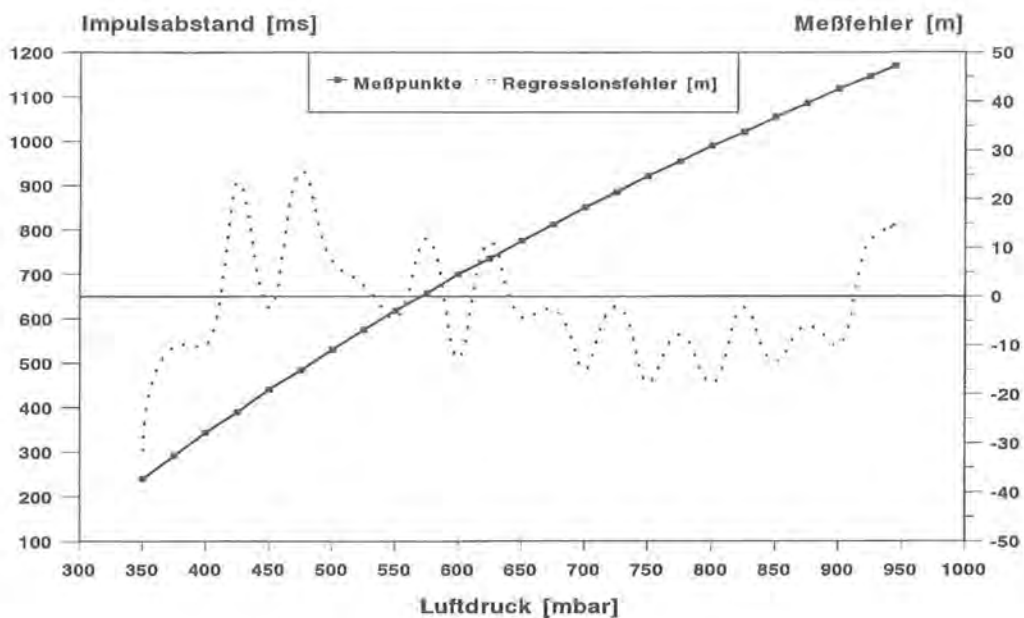
Senderspezifische Regressionsparameter:

Parameter	$a_{(0)}$	$b_{(0)}$	$c_{(0)}$
$P_0$	260,3	0,346	1,998 E-4
$P_1$	0,000	0,07 E-3	-1,0 E-7
$P_2$	1,71 E-2	1,73 E-5	0,06 E-8
$P_3$	3,2 E-4	-2,18 E-7	1,8 E-10
Temperatur [°C]	$a_{(0)}$	$b_{(0)}$	$c_{(0)}$
-20	250,9	0,353	2,006 E-4
-10	258,3	0,347	2,007 E-4
0	260,3	0,346	1,998 E-4
10	258,9	0,348	1,990 E-4
20	256,0	0,353	1,995 E-4
30	253,6	0,358	2,022 E-4
40	253,4	0,363	2,083 E-4
50	257,6	0,366	2,188 E-4

Maximaler / mittlerer Regressionsfehler: <2,04 / 0,820 mbar

### Druckeichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 6

f = 138,060 MHz



## Luftdruck-Übertragungsfunktion Flughöhensender K 12 (138,120 MHz)

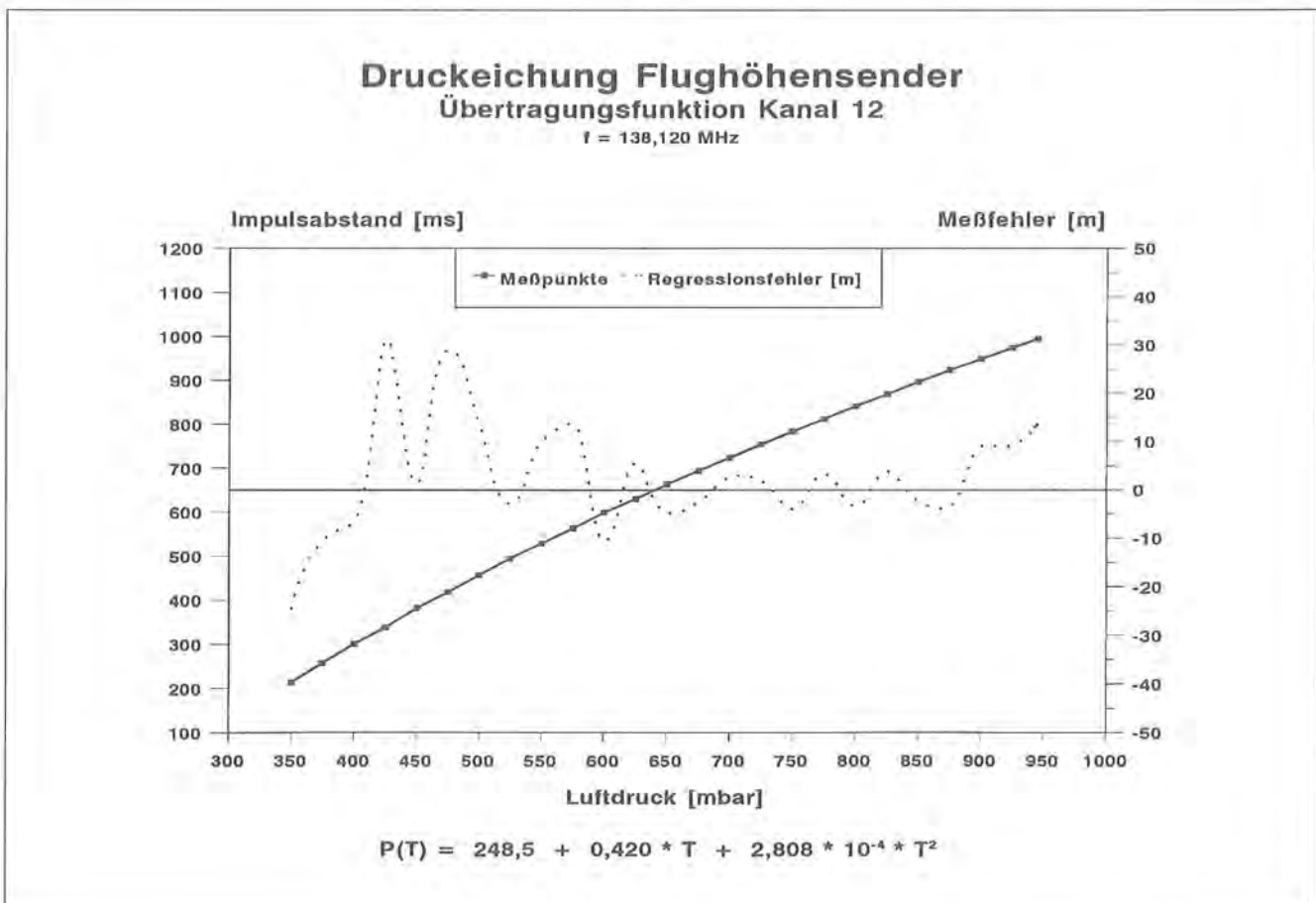
Regressionsfunktion:  $P_{(T)} = a_{(T)} + b_{(T)} * T + c_{(T)} * T^2$

mit:  $P_{(T)}$ : Luftdruck [mbar]  
 $T$ : Impulsintervall [ms]  
 $\vartheta$ : Sendertemperatur [°C]  
 $a_{(T)} = a_0 + a_1 \vartheta + a_2 \vartheta^2 + a_3 \vartheta^3$   
 $b_{(T)} = b_0 + b_1 \vartheta + b_2 \vartheta^2 + b_3 \vartheta^3$   
 $c_{(T)} = c_0 + c_1 \vartheta + c_2 \vartheta^2 + c_3 \vartheta^3$

Senderspezifische Regressionsparameter:

Parameter	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
$P_0$	260,0	0,392	2,819 E-4
$P_1$	-0,534	0,75 E-3	-5,1 E-7
$P_2$	-0,03 E-2	2,68 E-5	-0,25 E-8
$P_3$	0,8 E-4	-2,50 E-7	9,9 E-10
Temperatur [°C]	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
-20	269,9	0,390	2,832 E-4
-10	265,2	0,387	2,858 E-4
0	260,0	0,392	2,819 E-4
10	254,7	0,402	2,775 E-4
20	249,8	0,416	2,786 E-4
30	245,9	0,432	2,911 E-4
40	243,3	0,449	3,209 E-4
50	242,6	0,465	3,739 E-4

Maximaler / mittlerer Regressionsfehler: <1,74 / 0,647 mbar



## Luftdruck-Übertragungsfunktion Flughöhensender K 16 (138,160 MHz)

Regressionsfunktion:  $P_{(T)} = a_{(T)} + b_{(T)} \cdot T + c_{(T)} \cdot T^2$

mit:  $P_{(T)}$ : Luftdruck [mbar]  
 $T$ : Impulsintervall [ms]  
 $T$ : Sendertemperatur [°C]  
 $a_{(T)} = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2 + a_3 \cdot T^3$   
 $b_{(T)} = b_0 + b_1 \cdot T + b_2 \cdot T^2 + b_3 \cdot T^3$   
 $c_{(T)} = c_0 + c_1 \cdot T + c_2 \cdot T^2 + c_3 \cdot T^3$

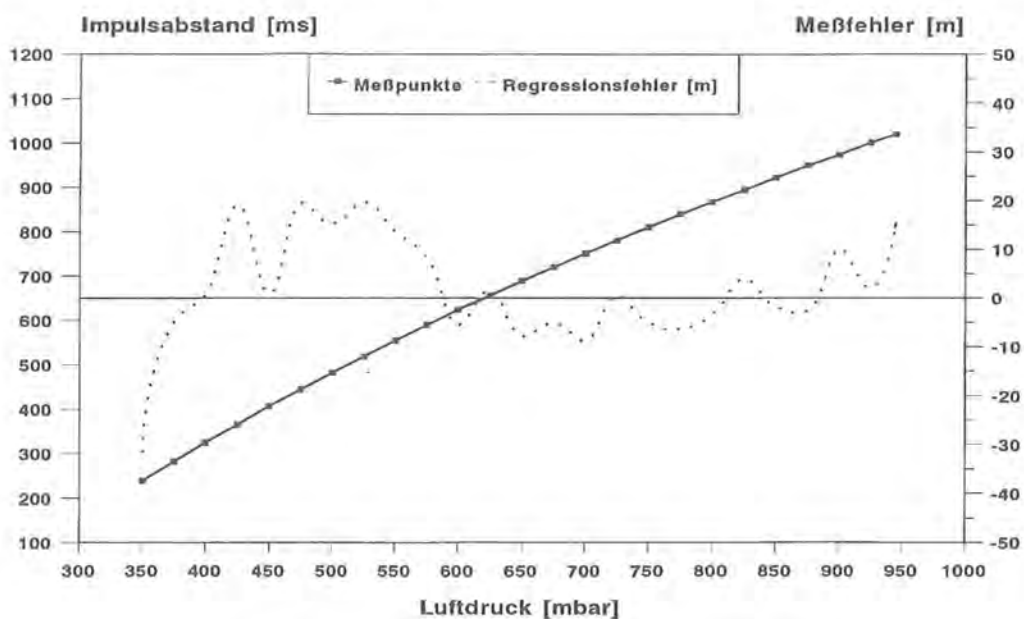
Senderspezifische Regressionsparameter:

Parameter	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
$P_0$	245,2	0,421	2,649 E-4
$P_1$	-0,275	0,83 E-3	6,6 E-7
$P_2$	0,39 E-2	-1,19 E-5	0,72 E-8
$P_3$	-1,6 E-4	7,28 E-7	-2,6 E-10
Temperatur [°C]	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
-20	253,5	0,427	2,567 E-4
-10	248,5	0,427	2,593 E-4
0	245,2	0,421	2,649 E-4
10	242,7	0,412	2,720 E-4
20	240,1	0,405	2,789 E-4
30	236,4	0,405	2,842 E-4
40	230,8	0,415	2,862 E-4
50	222,5	0,441	2,834 E-4

Maximaler / mittlerer Regressionsfehler: <1,69 / 0,662 mbar

### Druckeichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 16

f = 138,160 MHz



$$P(T) = 239,0 + 0,404 \cdot T + 2,808 \cdot 10^{-4} \cdot T^2$$

## Luftdruck-Übertragungsfunktion Flughöhensender K 18 (138,180 MHz)

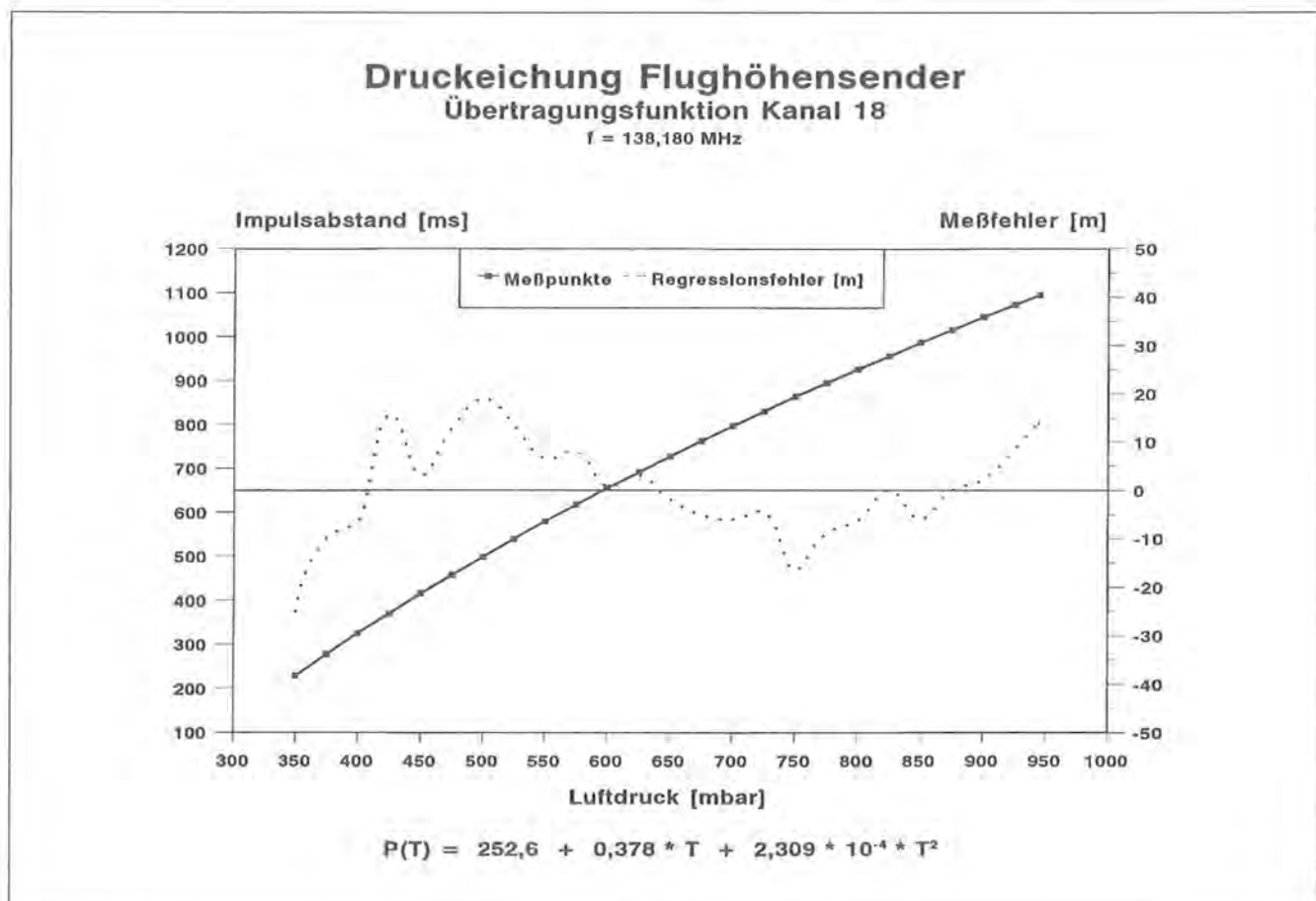
Regressionsfunktion:  $P_{(T)} = a_{(0)} + b_{(0)} \cdot T + c_{(0)} \cdot T^2$

mit:  $P_{(T)}$ : Luftdruck [mbar]  
 $T$ : Impulsintervall [ms]  
 $\vartheta$ : Sendertemperatur [°C]  
 $a_{(0)} = a_0 + a_1 \vartheta + a_2 \vartheta^2 + a_3 \vartheta^3$   
 $b_{(0)} = b_0 + b_1 \vartheta + b_2 \vartheta^2 + b_3 \vartheta^3$   
 $c_{(0)} = c_0 + c_1 \vartheta + c_2 \vartheta^2 + c_3 \vartheta^3$

Senderspezifische Regressionsparameter:

Parameter	$a_{(0)}$	$b_{(0)}$	$c_{(0)}$
$P_0$	262,4	0,365	2,339 E-4
$P_1$	-0,467	0,45 E-3	-3,5 E-7
$P_2$	0,40 E-2	-0,26 E-5	0,82 E-8
$P_3$	-0,4 E-4	2,01 E-7	0,5 E-10
Temperatur [°C]	$a_{(0)}$	$b_{(0)}$	$c_{(0)}$
-20	273,7	0,353	2,438 E-4
-10	267,5	0,360	2,382 E-4
0	262,4	0,365	2,339 E-4
10	258,1	0,369	2,313 E-4
20	254,3	0,375	2,306 E-4
30	250,9	0,382	2,321 E-4
40	247,6	0,392	2,362 E-4
50	244,2	0,406	3,432 E-4

Maximaler / mittlerer Regressionsfehler: <1,58 / 0,636 mbar



## Luftdruck-Übertragungsfunktion Flughöhensender K 22 (138,220 MHz)

Regressionsfunktion:  $P_{(T)} = a_{(0)} + b_{(0)} \cdot T + c_{(0)} \cdot T^2$

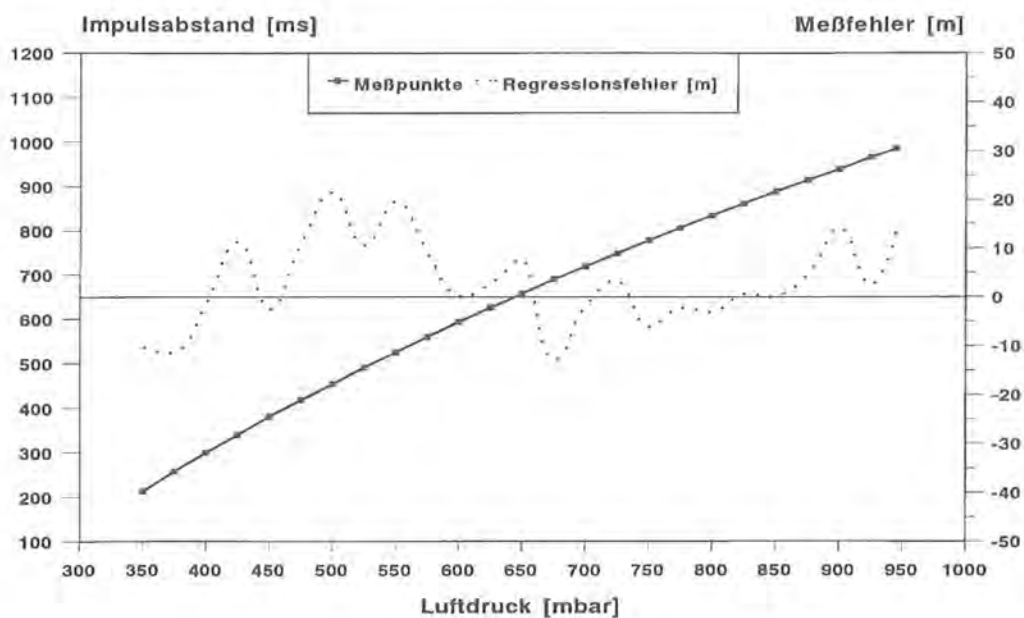
mit:  $P_{(T)}$ : Luftdruck [mbar]  
 $T$ : Impulsintervall [ms]  
 $\vartheta$ : Sendertemperatur [°C]  
 $a_{(0)} = a_0 + a_1 \vartheta + a_2 \vartheta^2 + a_3 \vartheta^3$   
 $b_{(0)} = b_0 + b_1 \vartheta + b_2 \vartheta^2 + b_3 \vartheta^3$   
 $c_{(0)} = c_0 + c_1 \vartheta + c_2 \vartheta^2 + c_3 \vartheta^3$

Senderspezifische Regressionsparameter:

Parameter	$a_{(0)}$	$b_{(0)}$	$c_{(0)}$
$P_0$	261,0	0,409	2,928 E-4
$P_1$	-0,602	0,43 E-3	-3,2 E-7
$P_2$	-0,23 E-2	0,78 E-5	-0,04 E-8
$P_3$	1,4 E-4	-1,71 E-7	3,7 E-10
Temperatur [°C]	$a_{(0)}$	$b_{(0)}$	$c_{(0)}$
-20	271,0	0,405	2,961 E-4
-10	266,7	0,406	2,956 E-4
0	261,0	0,409	2,928 E-4
10	254,9	0,414	2,899 E-4
20	249,2	0,419	2,892 E-4
30	244,7	0,424	2,928 E-4
40	242,2	0,428	3,030 E-4
50	242,7	0,429	3,221 E-4

Maximaler / mittlerer Regressionsfehler: <1,43 / 0,572 mbar

### Druckeichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 22 $f = 138,220 \text{ MHz}$



$$P(T) = 247,7 + 0,421 \cdot T + 2,897 \cdot 10^{-4} \cdot T^2$$



## Luftdruck-Übertragungsfunktion Flughöhensender K 24 (138,240 MHz)

Regressionsfunktion:  $P_{(T)} = a_{(T)} + b_{(T)} * T + c_{(T)} * T^2$

mit:  $P_{(T)}$ : Luftdruck [mbar]  
 $T$ : Impulsintervall [ms]  
 $T$ : Sendertemperatur [°C]  
 $a_{(T)} = a_0 + a_1 * T + a_2 * T^2 + a_3 * T^3$   
 $b_{(T)} = b_0 + b_1 * T + b_2 * T^2 + b_3 * T^3$   
 $c_{(T)} = c_0 + c_1 * T + c_2 * T^2 + c_3 * T^3$

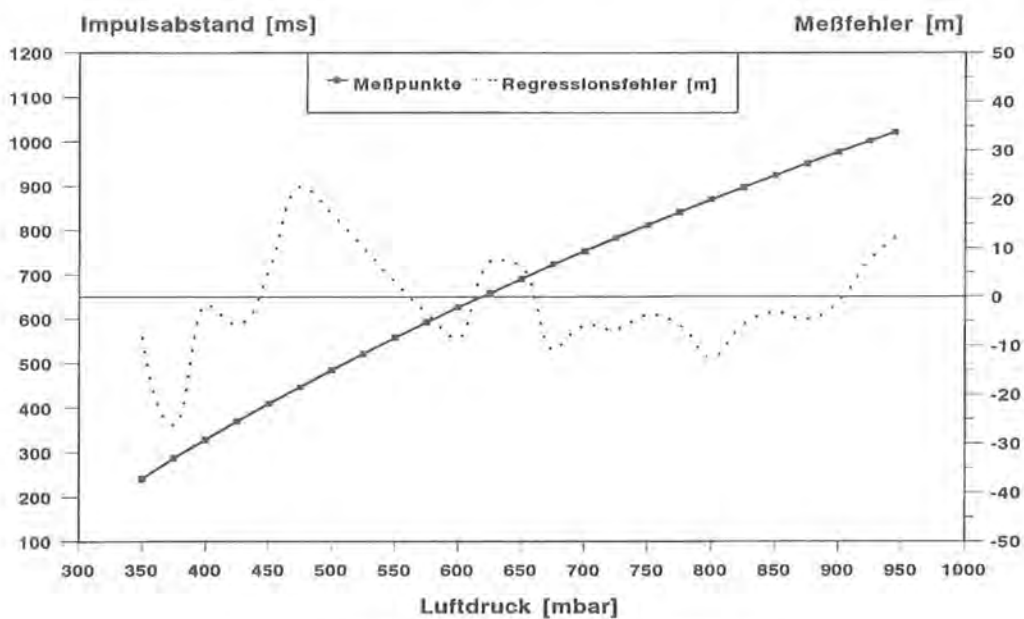
Senderspezifische Regressionsparameter:

Parameter	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
$P_0$	253,2	0,388	2,882 E-4
$P_1$	-1,570	1,13 E-3	-10,6 E-7
$P_2$	4,87 E-2	-4,00 E-5	2,88 E-8
$P_3$	-5,9 E-4	8,85 E-7	-0,3 E-10
Temperatur [°C]	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
-20	308,8	0,342	3,212 E-4
-10	274,4	0,372	3,017 E-4
0	253,2	0,388	2,882 E-4
10	241,8	0,396	2,805 E-4
20	236,6	0,402	2,783 E-4
30	234,0	0,410	2,815 E-4
40	230,6	0,426	2,900 E-4
50	222,7	0,455	3,035 E-4

Maximaler / mittlerer Regressionsfehler: <1,53 / 0,627 mbar

### Druckeichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 24

$f = 138,240 \text{ MHz}$



$$P(T) = 236,7 + 0,404 * T + 2,815 * 10^{-4} * T^2$$

## Luftdruck-Übertragungsfunktion Flughöhensender K 26 (138,260 MHz)

Regressionsfunktion:  $P_{(T)} = a_{(T)} + b_{(T)} * T + c_{(T)} * T^2$

mit:  $P_{(T)}$ : Luftdruck [mbar]  
 $T$ : Impulsintervall [ms]  
 $\vartheta$ : Sendertemperatur [°C]  
 $a_{(T)} = a_0 + a_1 * \vartheta + a_2 * \vartheta^2 + a_3 * \vartheta^3$   
 $b_{(T)} = b_0 + b_1 * \vartheta + b_2 * \vartheta^2 + b_3 * \vartheta^3$   
 $c_{(T)} = c_0 + c_1 * \vartheta + c_2 * \vartheta^2 + c_3 * \vartheta^3$

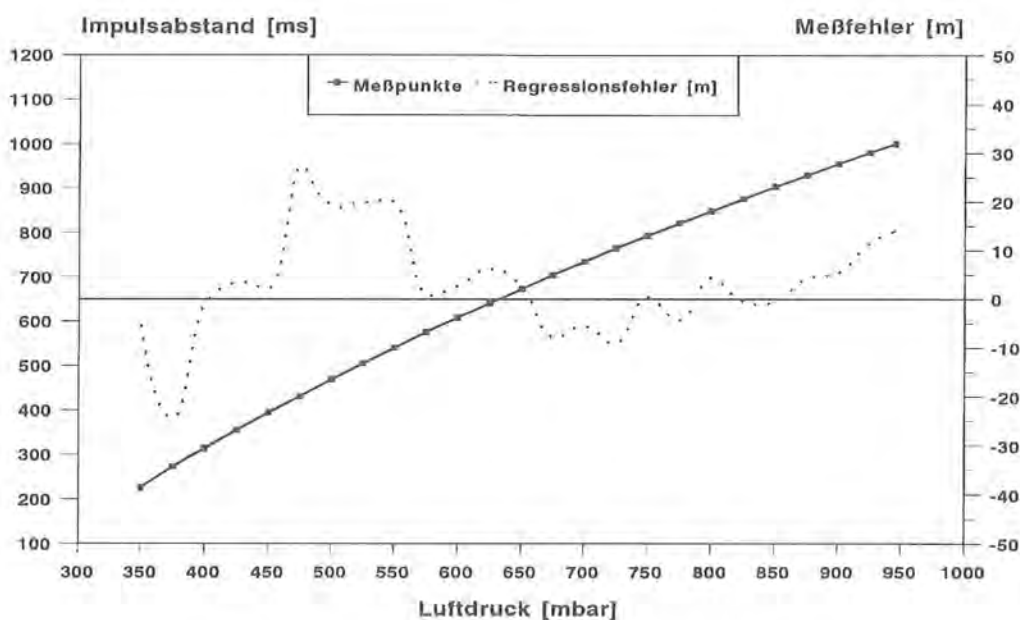
Senderspezifische Regressionsparameter:

Parameter	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
$P_0$	252,2	0,406	2,869 E-4
$P_1$	-0,388	-0,22 E-3	0,9 E-7
$P_2$	0,00 E-2	0,92 E-5	-1,43 E-8
$P_3$	-0,3 E-4	3,22 E-7	4,8 E-10
Temperatur [°C]	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
-20	260,2	0,412	2,755 E-4
-10	256,1	0,409	2,841 E-4
0	252,2	0,406	2,869 E-4
10	248,3	0,405	2,869 E-4
20	244,2	0,408	2,868 E-4
30	239,8	0,416	2,897 E-4
40	234,8	0,433	2,983 E-4
50	229,1	0,458	3,157 E-4

Maximaler / mittlerer Regressionsfehler: <1,58 / 0,600 mbar

## Druckeichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 26

f = 138,260 MHz



$$P(T) = 243,0 + 0,409 * T + 2,904 * 10^{-4} * T^2$$

## Luftdruck-Übertragungsfunktion Flughöhensender K 28 (138,280 MHz)

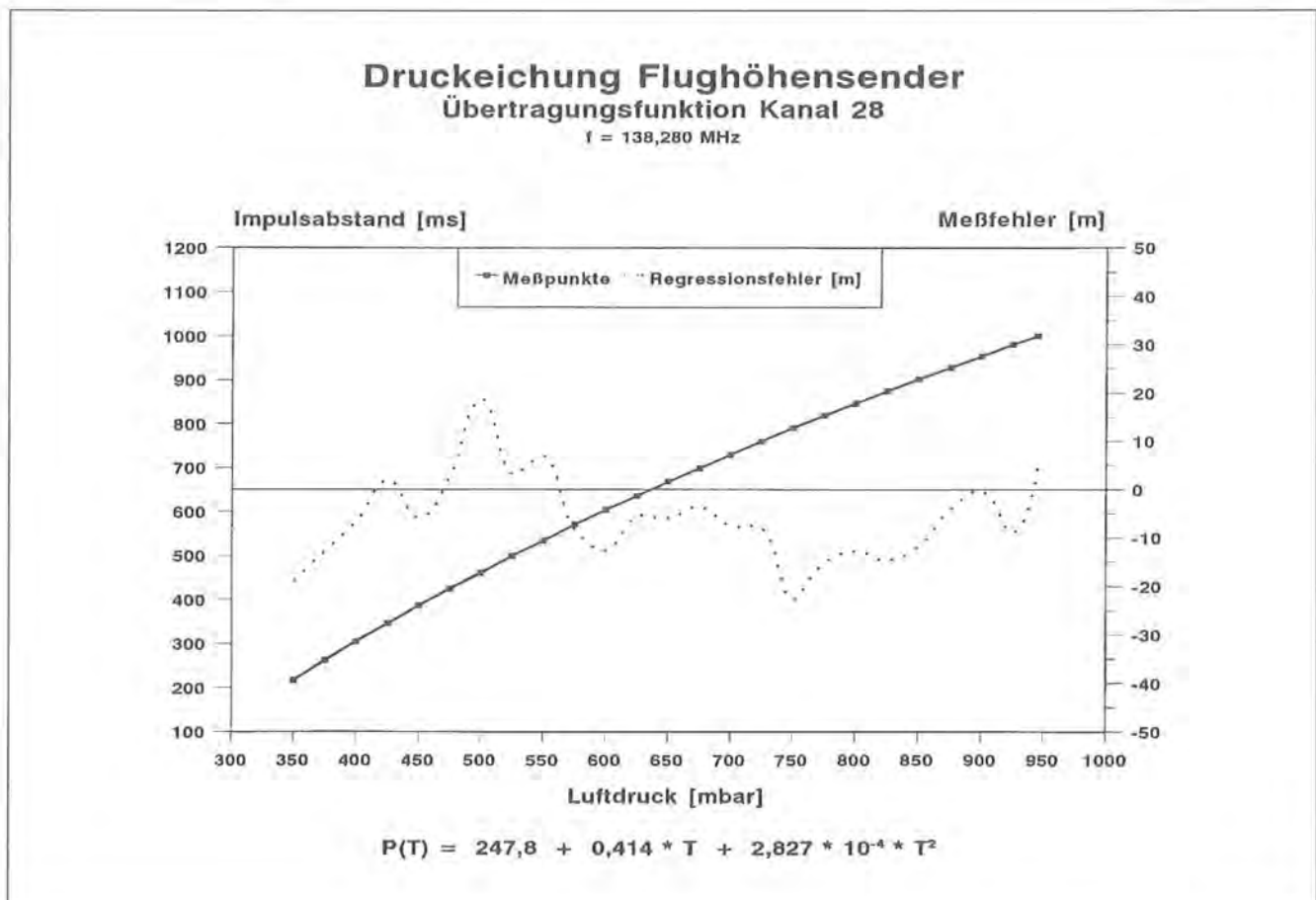
Regressionsfunktion:  $P_{(T)} = a_{(T)} + b_{(T)} \cdot T + c_{(T)} \cdot T^2$

mit:  $P_{(T)}$ : Luftdruck [mbar]  
 $T$ : Impulsintervall [ms]  
 $T$ : Sendertemperatur [°C]  
 $a_{(T)} = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2 + a_3 \cdot T^3$   
 $b_{(T)} = b_0 + b_1 \cdot T + b_2 \cdot T^2 + b_3 \cdot T^3$   
 $c_{(T)} = c_0 + c_1 \cdot T + c_2 \cdot T^2 + c_3 \cdot T^3$

Senderspezifische Regressionsparameter:

Parameter	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
$P_0$	261,1	0,406	2,804 E-4
$P_1$	-0,601	0,29 E-3	-1,7 E-7
$P_2$	-0,25 E-2	0,19 E-5	-0,57 E-8
$P_3$	1,5 E-4	-0,42 E-7	2,2 E-10
Temperatur [°C]	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
-20	270,9	0,401	2,843 E-4
-10	266,7	0,403	2,825 E-4
0	261,1	0,406	2,804 E-4
10	255,0	0,409	2,795 E-4
20	249,3	0,412	2,810 E-4
30	244,9	0,415	2,864 E-4
40	242,7	0,418	2,968 E-4
50	243,6	0,420	3,137 E-4

Maximaler / mittlerer Regressionsfehler: <1,59 / 0,538 mbar



## Luftdruck-Übertragungsfunktion Flughöhensender K 32 (138,320 MHz)

Regressionsfunktion:  $P_{(T)} = a_{(T)} + b_{(T)} * T + c_{(T)} * T^2$

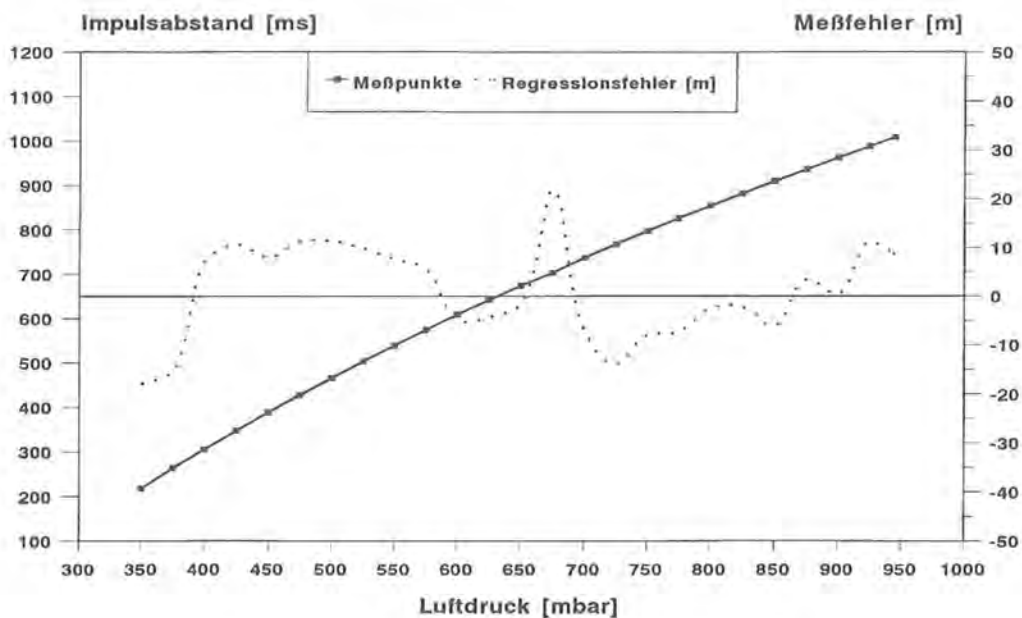
mit:  $P_{(T)}$ : Luftdruck [mbar]  
 $T$ : Impulsintervall [ms]  
 $T$ : Sendertemperatur [°C]  
 $a_{(T)} = a_0 + a_1 * T + a_2 * T^2 + a_3 * T^3$   
 $b_{(T)} = b_0 + b_1 * T + b_2 * T^2 + b_3 * T^3$   
 $c_{(T)} = c_0 + c_1 * T + c_2 * T^2 + c_3 * T^3$

Senderspezifische Regressionsparameter:

Parameter	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
$P_0$	258,2	0,407	2,731 E-4
$P_1$	-0,403	-0,31 E-3	1,4 E-7
$P_2$	0,25 E-2	0,08 E-5	-0,71 E-8
$P_3$	-0,5 E-4	5,02 E-7	3,2 E-10
Temperatur [°C]	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
-20	267,7	0,410	2,649 E-4
-10	262,5	0,410	2,707 E-4
0	258,2	0,407	2,731 E-4
10	254,4	0,405	2,741 E-4
20	250,7	0,405	2,756 E-4
30	247,0	0,412	2,796 E-4
40	242,9	0,428	2,878 E-4
50	238,1	0,456	3,024 E-4

Maximaler / mittlerer Regressionsfehler: <1,81 / 0,654 mbar

### Druckeichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 32 f = 138,320 MHz



$$P(T) = 248,9 + 0,407 * T + 2,794 * 10^{-4} * T^2$$

### Luftdruck-Übertragungsfunktion Flughöhensender K 34 (138,340 MHz)

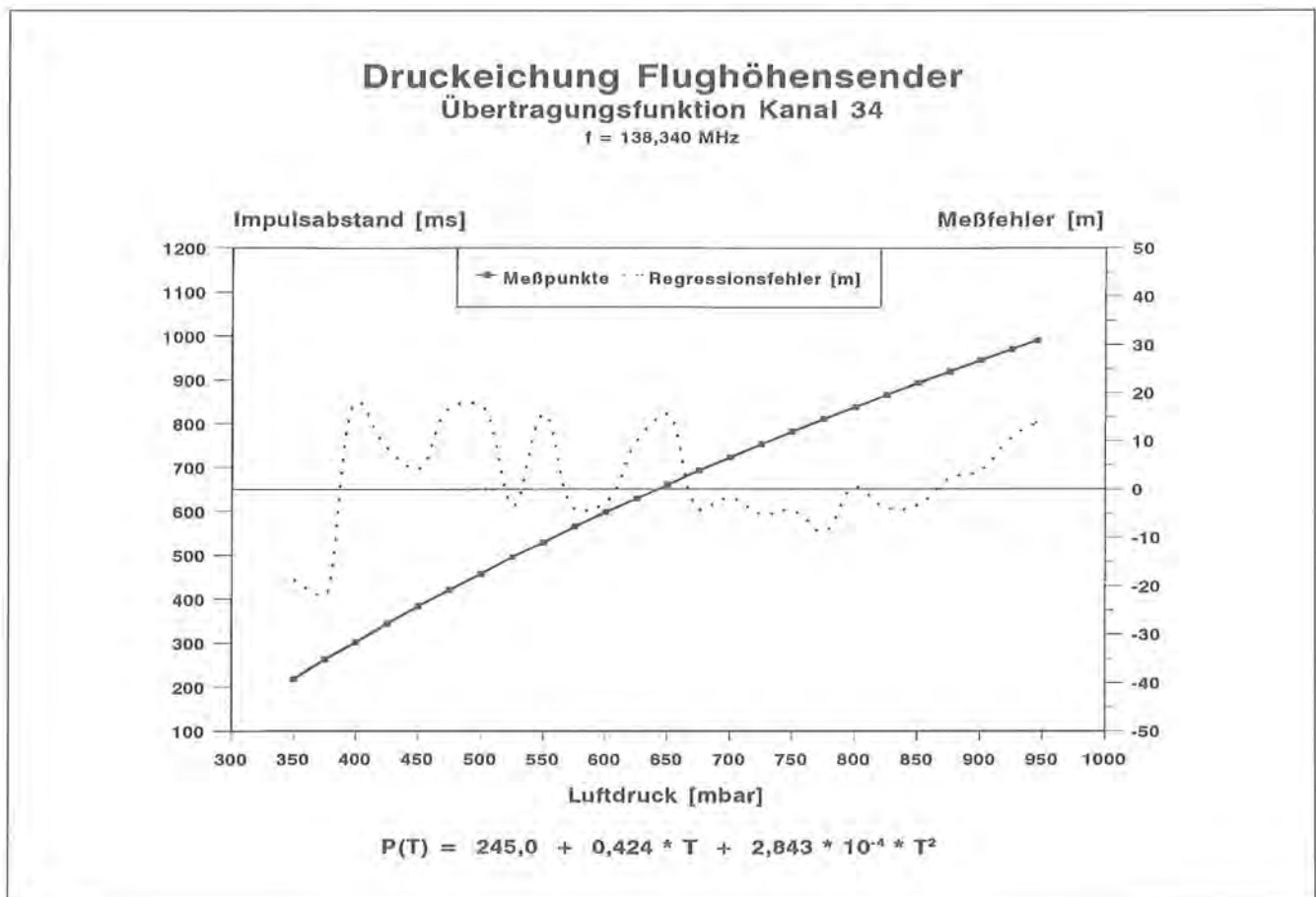
Regressionsfunktion:  $P_{(T)} = a_{(T)} + b_{(T)} * T + c_{(T)} * T^2$

mit:  $P_{(T)}$ : Luftdruck [mbar]  
 $T$ : Impulsintervall [ms]  
 $\vartheta$ : Sendertemperatur [°C]  
 $a_{(T)} = a_0 + a_1 * \vartheta + a_2 * \vartheta^2 + a_3 * \vartheta^3$   
 $b_{(T)} = b_0 + b_1 * \vartheta + b_2 * \vartheta^2 + b_3 * \vartheta^3$   
 $c_{(T)} = c_0 + c_1 * \vartheta + c_2 * \vartheta^2 + c_3 * \vartheta^3$

Senderspezifische Regressionsparameter:

Parameter	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
$P_0$	255,5	0,413	2,864 E-4
$P_1$	-0,514	0,38 E-3	-2,5 E-7
$P_2$	0,18 E-2	0,54 E-5	0,20 E-8
$P_3$	0,3 E-4	-0,23 E-7	2,2 E-10
Temperatur [°C]	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
-20	266,3	0,408	2,904 E-4
-10	260,8	0,410	2,889 E-4
0	255,5	0,413	2,864 E-4
10	250,6	0,417	2,843 E-4
20	246,2	0,423	2,840 E-4
30	242,5	0,429	2,866 E-4
40	239,7	0,435	2,937 E-4
50	238,1	0,443	3,064 E-4

Maximaler / mittlerer Regressionsfehler: <1,28 / 0,686 mbar



## Luftdruck-Übertragungsfunktion Flughöhensender K 36 (138,360 MHz)

Regressionsfunktion:  $P_{(T)} = a_{(T)} + b_{(T)} * T + c_{(T)} * T^2$

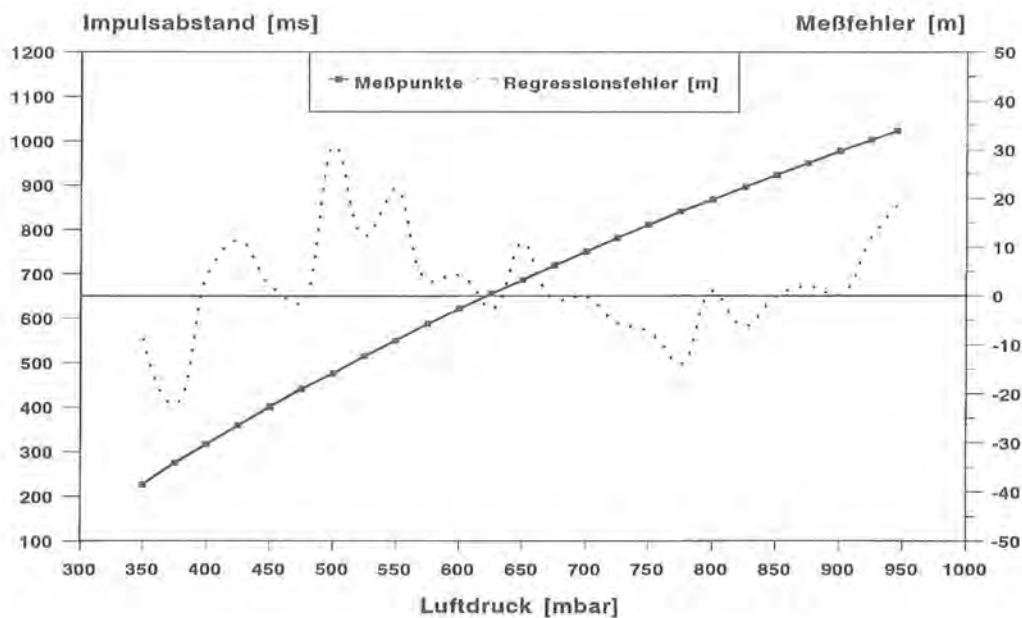
mit:  $P_{(T)}$ : Luftdruck [mbar]  
 $T$ : Impulsintervall [ms]  
 $T$ : Sendertemperatur [°C]  
 $a_{(T)} = a_0 + a_1 * T + a_2 * T^2 + a_3 * T^3$   
 $b_{(T)} = b_0 + b_1 * T + b_2 * T^2 + b_3 * T^3$   
 $c_{(T)} = c_0 + c_1 * T + c_2 * T^2 + c_3 * T^3$

Senderspezifische Regressionsparameter:

Parameter	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
$P_0$	250,2	0,389	2,760 E-4
$P_1$	-0,329	0,28 E-3	-1,2 E-7
$P_2$	0,92 E-2	0,26 E-5	0,63 E-8
$P_3$	-1,2 E-4	0,79 E-7	0,9 E-10
Temperatur [°C]	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
-20	261,4	0,384	2,802 E-4
-10	254,5	0,386	2,777 E-4
0	250,2	0,389	2,760 E-4
10	247,7	0,392	2,755 E-4
20	246,3	0,396	2,768 E-4
30	245,4	0,402	2,805 E-4
40	244,1	0,409	2,870 E-4
50	241,8	0,419	2,970 E-4

Maximaler / mittlerer Regressionsfehler: <1,91 / 0,664 mbar

### Druckeichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 36 $f = 138,360 \text{ MHz}$



$$P(T) = 246,0 + 0,397 * T + 2,778 * 10^{-4} * T^2$$

## Luftdruck-Übertragungsfunktion Flughöhensender K 38 (138,380 MHz)

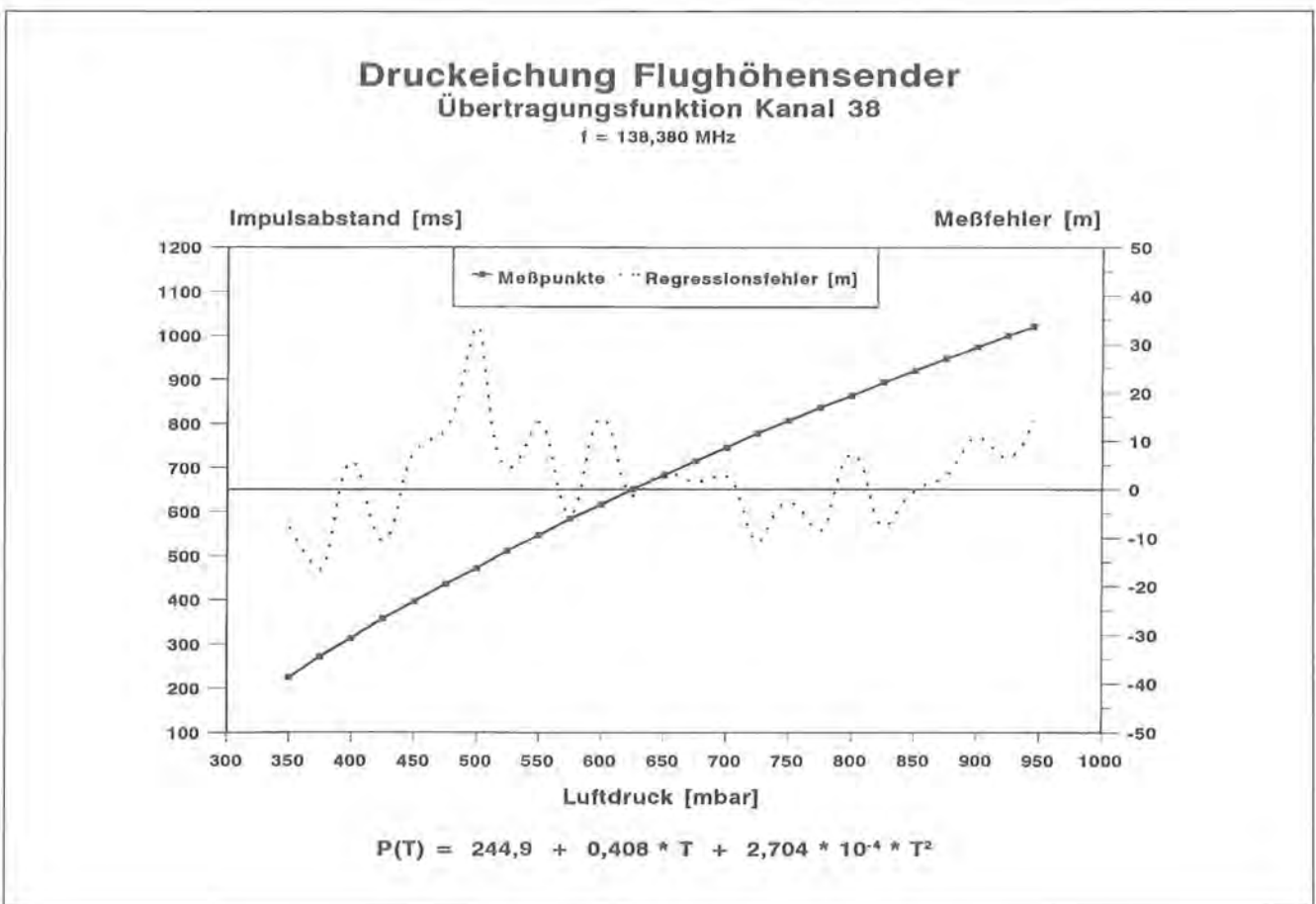
Regressionsfunktion:  $P_{(T)} = a_{(T)} + b_{(T)} \cdot T + c_{(T)} \cdot T^2$

mit:  $P_{(T)}$ : Luftdruck [mbar]  
 $T$ : Impulsintervall [ms]  
 $T$ : Sendertemperatur [°C]  
 $a_{(T)} = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2 + a_3 \cdot T^3$   
 $b_{(T)} = b_0 + b_1 \cdot T + b_2 \cdot T^2 + b_3 \cdot T^3$   
 $c_{(T)} = c_0 + c_1 \cdot T + c_2 \cdot T^2 + c_3 \cdot T^3$

Senderspezifische Regressionsparameter:

Parameter	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
$P_0$	276,0	0,408	2,628 E-4
$P_1$	-0,630	0,12 E-3	-0,4 E-7
$P_2$	-6,37 E-2	-1,99 E-5	2,49 E-8
$P_3$	14,0 E-4	6,89 E-7	-3,9 E-10
Temperatur [°C]	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
-20	251,9	0,392	2,767 E-4
-10	274,5	0,404	2,661 E-4
0	276,0	0,408	2,628 E-4
10	264,7	0,408	2,645 E-4
20	249,1	0,408	2,688 E-4
30	237,6	0,412	2,735 E-4
40	238,5	0,425	2,761 E-4
50	260,3	0,450	2,743 E-4

Maximaler / mittlerer Regressionsfehler: <2,12 / 0,639 mbar



## Luftdruck-Übertragungsfunktion Flughöhensender K 42 (138,420 MHz)

Regressionsfunktion:  $P_{(T)} = a_{(T)} + b_{(T)} \cdot T + c_{(T)} \cdot T^2$

mit:  $P_{(T)}$ : Luftdruck [mbar]  
 $T$ : Impulsintervall [ms]  
 $T$ : Sendertemperatur [°C]  
 $a_{(T)} = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2 + a_3 \cdot T^3$   
 $b_{(T)} = b_0 + b_1 \cdot T + b_2 \cdot T^2 + b_3 \cdot T^3$   
 $c_{(T)} = c_0 + c_1 \cdot T + c_2 \cdot T^2 + c_3 \cdot T^3$

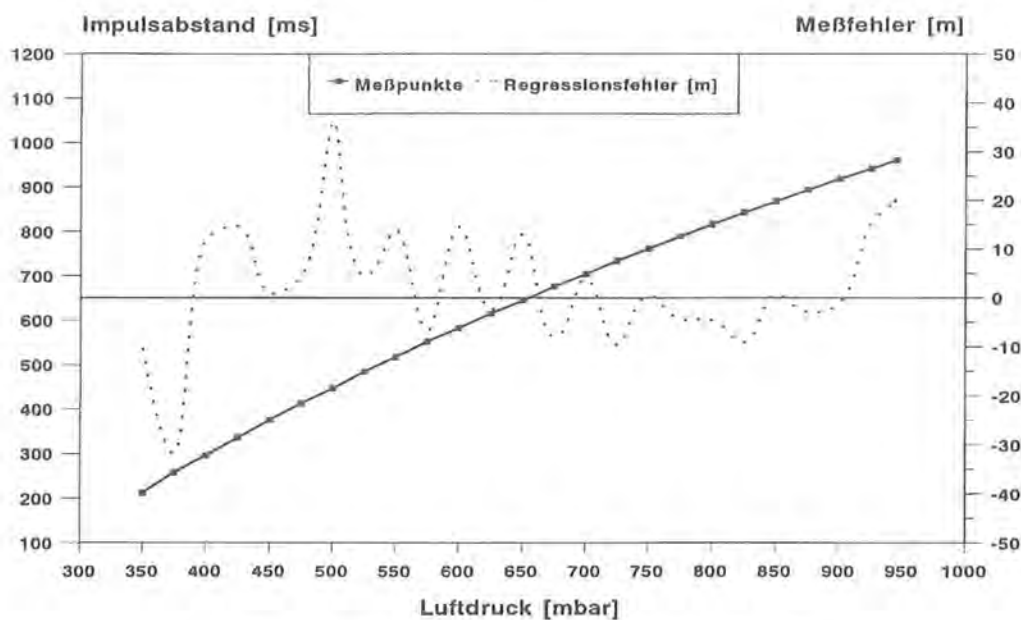
Senderspezifische Regressionsparameter:

Parameter	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
$P_0$	253,9	0,412	3,149 E-4
$P_1$	-0,411	0,30 E-3	-1,8 E-7
$P_2$	0,67 E-2	0,31 E-5	0,52 E-8
$P_3$	-0,7 E-4	0,82 E-7	1,4 E-10
Temperatur [°C]	$a_{(T)}$	$b_{(T)}$	$c_{(T)}$
-20	265,4	0,407	3,195 E-4
-10	258,8	0,409	3,171 E-4
0	253,9	0,412	3,149 E-4
10	250,4	0,415	3,138 E-4
20	247,8	0,420	3,145 E-4
30	245,7	0,426	3,180 E-4
40	243,7	0,434	3,250 E-4
50	241,4	0,445	3,364 E-4

Maximaler / mittlerer Regressionsfehler: <2,29 / 0,795 mbar

### Druckeichung Flughöhensender Übertragungsfunktion Kanal 42

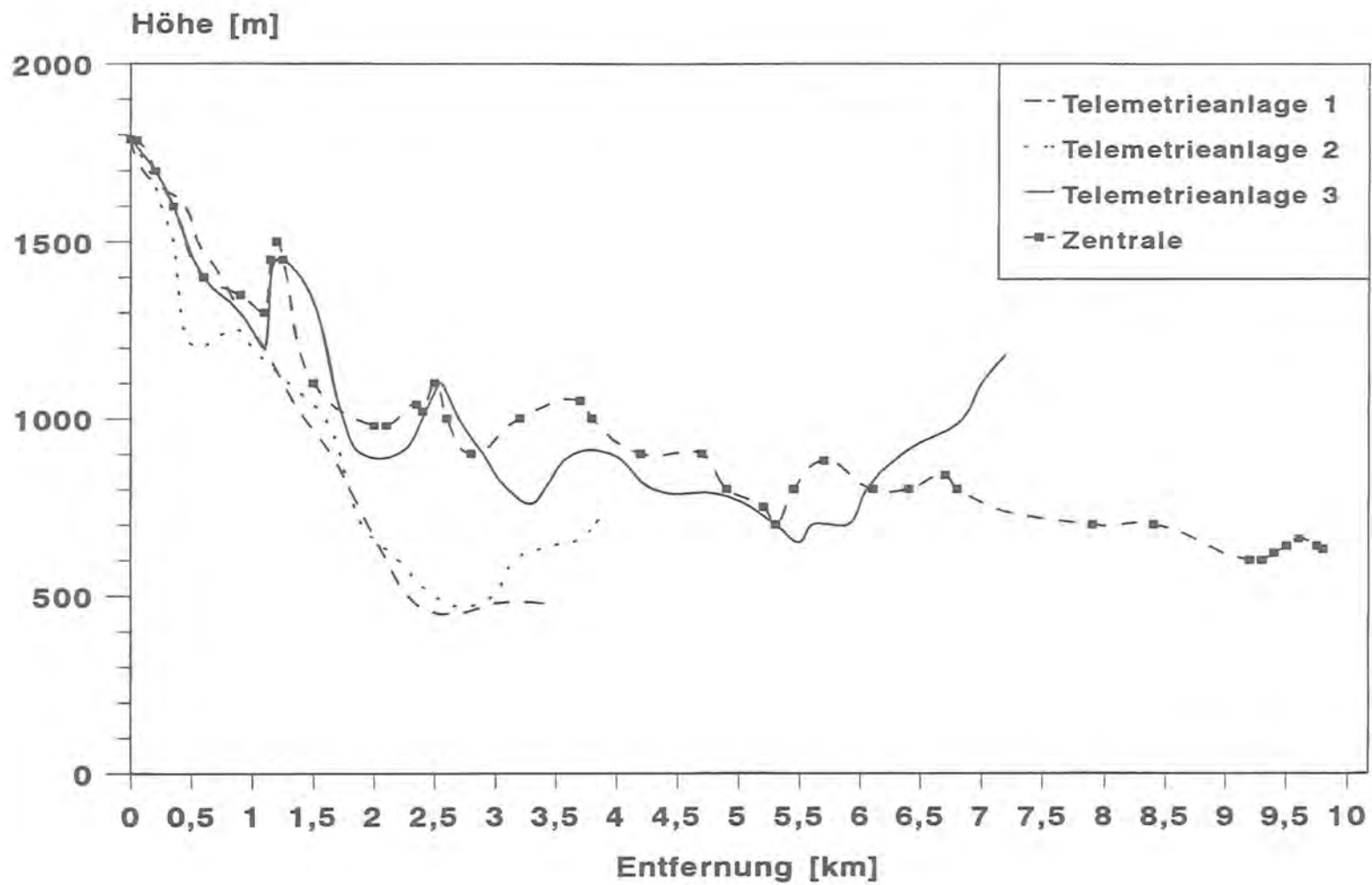
$f = 138,420 \text{ MHz}$



$$P(T) = 247,1 + 0,421 \cdot T + 3,151 \cdot 10^{-4} \cdot T^2$$



## Geländeprofile der Richtfunkstrecken Umsetzer-Standort "Geiereck" (1788 m) -> Peilempfänger



## 9.5 Telemetrie-Geräte

### 9.5.1 Allgemeine Daten

Frequenz: 138–139 MHz  
Modulationsart: Pulsdauer- und Pulsintervall-moduliertes Trägersignal (PDM/PIM)

### 9.5.2 Flughöhensender

Typ: B+R Nr. 235090  
Antenne: Rundstrahler (mechanische Länge ca.  $\lambda/8$ )  
Sensoren: Temperatur- und Luftdrucksensor  
HF-Leistung: +6 dBm (4 mW)

### 9.5.3 Mobile Peilanlage

Antenne: HB 9 CV (6 dB Gain)  
Empfänger: B+R Nr. 328080 mit Digitalteil  
Selektion:  $\pm 1,2$  kHz (– 6 dB),  $\pm 4$  kHz (– 40 dB),  $\pm 6$  kHz (– 80 dB)  
Kanalabstand: 10 kHz  
Impulsmessung:  $\pm 2$  ms  
Empfindlichkeit: –150 dBm, Impulsmessung möglich ab –135 dBm

### 9.5.4 Automatisches Telemetriesystem

#### 9.5.4.1 Doppler-Peiler

Antenne: B+R Nr. 213088 (8  $\lambda/2$ -Dipole in kreisförmiger Anordnung mit integriertem 20 dB-Antennenverstärker)  
Kommutator: B+R Nr. 214088 (Rotationsfrequenz 500 Hz)  
Empfänger: B+R Nr. 211088 mit Impulsmessung und RS 232-Schnittstelle  
Selektion:  $\pm 3$  kHz (– 6 dB),  $\pm 18$  kHz (– 80 dB),  $\pm 38$  kHz (– 100 dB)  
Kanalabstand: 20 kHz  
Winkelauflösung:  $0,1^\circ$   
Impulsmessung:  $\pm 1$  ms  
Impulslänge:  $\geq 10$  ms für gültige Peilung  
Empfindlichkeit: –133 dBm, Datenregistrierung möglich ab –125 dBm  
Peilgenauigkeit:  $\pm < 1...3^\circ$  (durch Symmetriefehler der Antenne begrenzt)

#### 9.5.4.2 Datenfunk

Zentrale: SEGADAT Typ SD.WILDT.ZEN  
Doppler-Peiler: SEGADAT Typ SD.WILDT.AUS  
Repeater/  
Mobilstation: SEGADAT Typ SD.WILDT.XXX  
Schnittstelle: RS 232  
Frequenz: 443,025 MHz  
Übertragungsrate: 2400 Baud  
Modulationsart: Frequenzmodulation (FSK)  
Funkgeräte: STANDARD MINIX Typ C 736 L (Zentrale / Doppler-Peiler)  
GRUNDIG FK 107 / 460 (Repeater)  
MOTOROLA (Mobilstation)  
HF-Leistung: 0.5 W (Zentrale / Peilanlagen)  
5.0 W (Repeater)  
6.0 W (Mobilstation)  
Antennen: KATHREIN Typ K 731221, 6 dB Gain (Zentrale / Doppler-Peiler)  
KATHREIN Typ K 721582, 0 dB Gain (Repeater)  
KATHREIN Typ K 711721, 4 dB Gain (Mobilstation)

### 9.5.4.3 Hardware zur Systemsteuerung und Datensichtung

#### Zentrale (Steuerrechner):

COMPAQ Deskpro 386s/20 mit 2 MB RAM, 40 MB HD

VGA-Grafikkarte und EIZO Monitor 9070 S

Betriebssystem: MS-DOS

Software: Eigenentwicklung durch Ing. Walter Bugnar, Institut für Wildtierkunde der Veterinärmedizinischen Universität Wien.

#### Datensichtung und -plausibilisierung:

BIOSYS 386/40 MHz mit 8 MB RAM, 212 MB HD

8514-Grafikkarte und PANASONIC Monitor TX- 2013 MA

Betriebssystem: MS-DOS

Software: Eigenentwicklung durch Ing. Walter Bugnar, Institut für Wildtierkunde der Veterinärmedizinischen Universität Wien.

#### Datenauswertung:

SUN SPARC 20 mit 64 MB RAM, 5.8 GB HD

Betriebssystem: SOLARIS-UNIX

GIS-Software: ARC/INFO

Datenbank: ORACLE

## 9.6 Rechenvorschriften (AMLs) für die Habitatbewertung mit dem GIS

### 9.6.1 Orografische Sonnenscheindauer

*Variablen belegen:*

&sv .mm [Response 'Monat eingeben']

&sv .dd [Response 'Tag eingeben']

&type;&type Uhrzeit in Dezimalstunden eingeben:

&type 11.00 Uhr wird eingegeben als „110“, 11.30 Uhr wird eingegeben als „115“.

&sv .mez [Response 'Uhrzeit (MEZ) eingeben']

*Werte für Sonnenstand aus Lookup-Tabellen abfragen (Halbstundenintervalle):*

```
&do i = 0 &to %.mez% &by 5
```

```
  &if [length %i%] = 1 &then &sv k 00%i%
```

```
  &else
```

```
    &do
```

```
      &if [length %i%] = 2 &then &sv k 0%i%
```

```
      &else &sv k %i%
```

```
    &end
```

```
ap
```

```
reselect sun%k%.lut info monat = %.mm% and tag = %.dd%
```

```
cursor a declare sun%k%.lut info ro
```

```
cursor a open
```

```
&sv .alt %:a.altitude%
```

```
&sv .az %:a.azimuth%
```

```
cursor a remove
```

```
q
```

---

KURSIV geschriebene Zeilen sind keine AML-Bestandteile sondern Kommentare.

*Besonnung aller Teilflächen bestimmen (Halbstundenintervalle):*

```
grid
&sv .alti = %.alt%
&if %.alt% < 0 &then &sv .alti = 0
DOCELL
  if (%.alt% >= 0) horizont0 = basis
  else horizont0 = 0
END
horizont1 = hillshade(hoehe, %.az%, %.alti%, shadow)
grid%%k% = horizont0 * horizont1

Hilfscovers löschen:
kill horizont0 all
kill horizont1 all
&return
q
&end
```

*Aufsummieren aller Hillshade-Grids bis zur Uhrzeit MEZ:*

```
&if [length %.dd%] = 1 &then &sv .dd 0%.dd%
&if [length %.mm%] = 1 &then &sv .mm 0%.mm%
&select %.mez%
&do i = 0 &to %.mez% &by 5
  &if [length %i%] = 1 &then &sv k 00%i%
  &else
  &do
    &if [length %i%] = 2 &then &sv k 0%i%
    &else &sv k %i%
  &end
  &if [exists grid%%k% -grid] &then
  &if ^ [exists sun%.dd%%.mm%%.mez% -grid] &then
  &do
    copy grid%%k% sun%.dd%%.mm%%.mez%
    kill grid%%k% all
  &end
  &else
  &do
    rename sun%.dd%%.mm%%.mez% sun%.dd%%.mm%%.mez%alt
    grid
    sun%.dd%%.mm%%.mez% = grid%%k% + sun%.dd%%.mm%%.mez%alt
    kill grid%%k% all
    kill sun%.dd%%.mm%%.mez%alt all
  &end
&end
```

*Berechnung der orografischen Sonnenscheindauer (Halbstundengenauigkeit):*

```
sonnendauer = sun%.dd%%.mm%%.mez% * 0.5
```

*Hilfscovers löschen:*

```
kill sun%.dd%%.mm%%.mez% all
q
&return
```

Die Werte für Sonnenhöhe, Sonnenazimut und Sonnendeklination wurden extern mit QUATTRO PRO berechnet, nach ARC/INFO importiert und über lookup-tables eingelesen. Auf eine Auflistung wird hier aus Platzgründen verzichtet (17 520 Zeilen).

## 9.6.2 Thermikpotential

*Variablen belegen:*

```
&sv .mm [Response 'Monat eingeben']
&sv .dd [Response 'Tag eingeben']
&type;&type Uhrzeit in Dezimalstunden eingeben:
&type 11.00 Uhr wird eingegeben als „110“, 11.30 Uhr wird eingegeben als „115“.
&sv .mez [Response 'Uhrzeit (MEZ) eingeben']
&sv .mez [Response 'Uhrzeit (MEZ) eingeben']
&sv .h [Response 'Schneegrenze lber NN ?']
&sv .hh = [CALC %.h% / 100]
&sv .NN = [ROUND %.hh%]
```

*Aktuelle Besonnung aller Teilflächen bestimmen:*

```
ap
reselect sun%.mez%.lut info monat = %.mm% and tag = %.dd%
cursor a declare sun%.mez%.lut info ro
cursor a open
&sv .alt %:a.altitude%
&sv .az %:a.azimuth%
cursor a remove
q
grid
&sv .alti = %.alt%
&if %.alt% < 0 &then &sv .alti = 0
DOCELL
  if (%.alt% >= 0) horizont0 = basis
  else horizont0 = 0
END
horizont1 = hillshade(hoehe, %.az%, %.alti%, shadow)
shadow = horizont0 * horizont1
&return
q
```

*Horizontalen Geometrieanteil der Sonne bestimmen:*

```
grid
sonne_hor0 = COS((%.az% - expos) / deg)
sonne_hor1 = ABS(sonne_hor0)
sonne_hor = sonne_hor1 * shadow
```

*Hilfscovers löschen:*

```
kill horizont0 all
kill horizont1 all
kill sonne_hor0 all
kill sonne_hor1 all
```

*Vertikalen Geometrieanteil der Sonne bestimmen:*

Datenbasis splitten:

hang1 = SIN((%.alt% - slope1) / deg)

hang2 = SIN((%.alt% - slope2) / deg)

hang3 = SIN((%.alt% - slope3) / deg)

gegenhang1 = SIN((180 - %.alt% - slope1) / deg)

gegenhang2 = SIN((180 - %.alt% - slope2) / deg)

gegenhang3 = SIN((180 - %.alt% - slope3) / deg)

*Fall 1 (expos <= 90):*

if (%.az% < (expos + 90) | %.az% > (expos + 270)) sonne\_vert1 = gegenhang1

else sonne\_vert1 = hang1

*Fall 2 (expos > 90 & expos < 270):*

if (%.az% < (expos + 90) | %.az% > (expos - 90)) sonne\_vert2 = gegenhang2

else sonne\_vert2 = hang2

*Fall3 expos >= 270:*

if ( %.az% < (expos - 270) | %.az% > (expos - 90)) sonne\_vert3 = gegenhang3

else sonne\_vert3 = hang3

*Datenbasis wieder zusammenfügen:*

sonne\_vert4 = merge(sonne\_vert1, sonne\_vert2, sonne\_vert3)

sonne\_vert0 = CON(sonne\_vert4 < 0, 0, sonne\_vert4)

sonne\_vert = sonne\_vert0 \* shadow

*Hilfscovers löschen:*

kill hang1 all

kill hang2 all

kill hang3 all

kill gegenhang1 all

kill gegenhang2 all

kill gegenhang3 all

kill sonne\_vert0 all

kill sonne\_vert1 all

kill sonne\_vert2 all

kill sonne\_vert3 all

kill sonne\_vert4 all

*Schneebedeckung berücksichtigen:*

DOCELL

if (hoehe > %.h%) therm\_schnee = therm\_hab\_w \* 1

else therm\_schnee = basis \* 100

END

therm\_fakt = MIN(therm\_hab\_s, therm\_schnee)

kill therm\_schnee all

*Thermiksituation bewerten:*

temp = INT(therm\_fakt \* sonne\_hor \* sonne\_vert \* sonnendauer / (sonnendauer + 1))

thermik = temp \* temp / 100

kill temp all

q

&return

### 9.6.3 Dynamischer Hangaufwind

*Variablen belegen:*

```
&sv .windricht [response 'Windrichtung eingeben']
&sv .windgesch [response 'Windgeschwindigkeit eingeben']
&sv .max [response 'max. Windgeschwindigkeit eingeben (Default 10 m/s = 100%)' 10]
&sv .speed = [calc %.windgesch% * %.windgesch%]
&sv .maxspeed = [calc %.max% * %.max%]
```

*Luvseitige Flächen bestimmen:*

```
grid
luv = hillshade(hoehe, %.windricht%, 20, shadow)
geowind = ABS(COS((%.windricht% - expos) / deg))
luvwind = geowind * luv
```

*Hangwind berechnen:*

```
hangwind = INT(sinslope * luvwind * %.speed% / %.maxspeed%)
```

*Hilfscovers löschen:*

```
kill luv all
kill geowind all
kill luvwind all
q
&return
```

### 9.6.4 Gesamtes Aufwindpotential

*Bewertung des gesamten Aufwindpotentials:*

```
grid
aufwind0 = thermik + hangwind
```

*Begrenzung auf 100 Skalenteile:*

```
aufwind = CON(aufwind0 > 100, 100, aufwind0)
```

*Hilfscover bereinigen:*

```
kill aufwind0 all
q
&return
```

### 9.6.5 Nahrungsangebot

#### 9.6.5.1 Potentielles Nahrungsangebot

*Wahrscheinlichkeit für Fallwildanfall berechnen:*

```
grid
sinslope = SIN(slope)
kadaver = INT(sinslope * 100 + 1)
q
&return
```

#### 9.6.5.2 Anthropogenes Störpotential

*Bewertung des anthropogenen Störungspotentials:*

```
grid
stoerung = INT(SQR(distance / (distance + 100)) * 100)
q
&return
```

---

*KURSIV* geschriebene Zeilen sind keine AML-Bestandteile sondern Kommentare.

### 9.6.5.3 Nutzbares Nahrungsangebot

*Bewertung des nutzbaren Nahrungsangebots:*

```
grid
nahrung = INT(kadaver * sicht * warte * stoerung / 1 000 000)
q
&return
```

### 9.6.6 Brutnischenangebot

#### 9.6.6.1 Bewertung der relativen Höhenlage

*Hoehenbewertung für Brutnischen:*

```
grid
temp = 0.004259 * relhoehe - 5.7588 * POW(10, - 6) * SQR(relhoehe)
      + 2.60 * POW(10, - 9) * POW(relhoehe, 3)
      - 3.917 * POW(10, - 13) * POW(relhoehe, 4)
bruthoehe = INT(temp * 100)
```

*Hilscover löschen:*

```
kill temp all
q
&return
```

#### 9.6.6.2 Anthropogenes Störpotential

Siehe unter 9.6.5.2.

#### 9.6.6.3 Nutzbare Brutnischen

*Bewertung des Angebots nutzbarer Brutplätze:*

```
grid
brutplatz = INT(fels * bruthoehe * warte * stoerung / 10 000)
q
&return
```



### 9.6.7 Home Range-Berechnung

*Variablen belegen und Z-Skala definieren:*

```
&sv .name [response 'Datenfile benennen']
&sv .MW [Response 'Maschenweite des Bewertungsrasters eingeben (Default 500 m)' 500]
&sv r [response 'Radius-Begrenzung für Kernel spezifizieren (Default 1000 m)' 1000]
&sv .SD [response 'Standardabweichung für Kernel spezifizieren (Default 1000 m)' 1000]
&sv round [response 'Rundungsgrad für Isoloinien spezifizieren (0-10, Default: 5)' 5]
&sv dl [response 'Isoloinien-Intervall eingeben (Default 10)' 10]
&sv l0 [response 'Basis-Isolinie spezifizieren (Basis < Intervall, Default 1)' 1]
&sv frq [response 'Mindest-Nutzung für Flächenberechnung spezifizieren (Default 1)' 1]
&sv .X0 [Response 'X-Ursprungskordinate des Rasters eingeben (Default 57000)' 57000]
&sv .Y0 [Response 'Y-Ursprungskordinate des Rasters eingeben (Default 80000)' 80000]
&sv .XM [Response 'X-Maximalkordinate des Rasters eingeben (Default 87000)' 87000]
&sv .YM [Response 'Y-Maximalkordinate des Rasters eingeben (Default 99000)' 99000]
&sv .mx [CALC ( %.XM% - %.X0% ) / %.MW%]
&sv .my [CALC ( %.YM% - %.Y0% ) / %.MW%]
&sv .nx [ROUND %.mx%]
&sv .ny [ROUND %.my%]
&sv d [CALC %.MW% / 10]
&sv dL [ROUND %d%]
&type 'Z-Skala spezifizieren:'
&sv z
[response 'abs=absolut / prz=prozentual / rel=relativ zum Maximum (Default: prz)' prz]
```

*Raster generieren und in Lattice konvertieren:*

```
generate raster
grid
%.X0% %.Y0%
%.MW% %.MW%
%.ny% %.nx%
q
build raster
createlabels raster
ae
ec raster
ef labels
sel all
put kernel
q
build kernel point
```

*Peildaten einlesen, Point-Cover anlegen und Stichprobengröße als Variable belegen:*

```
generate %.name%
input %.name%.asc
point
q
build %.name% point
&describe %.name%
&sv .n %DSC$POINTS%
```

*Entfernung der Peilpunkte von den Rasterschnittpunkten berechnen:*

```
pointdistance kernel %.name% %.name%_dist %r%
```

*Neue Variablen definieren und berechnen:*

```
additem %.name%_dist %.name%_dist EXP 8 18 F 6
additem %.name%_dist %.name%_dist Z_WERT 8 18 F 6
tables
SEL %.name%_dist
CALC EXP = ( DISTANCE / %.SD% ) ** 2 * - 0.5
&if %z% = 'abs' &then CALC Z_WERT = 2.718 ** EXP
&if %z% = 'prz' &then CALC Z_WERT = 2.718 ** EXP
&if %z% = 'rel' &then CALC Z_WERT = 2.718 ** EXP / 2.50663 * %.SD% ** 0.5
q stop
```

---

KURSIV geschriebene Zeilen sind keine AML-Bestandteile sondern Kommentare.

*Z-Wert-Statistik berechnen und maximalen Zwert bestimmen:*

```
statistics %.name%_dist %.name%.sta kernel#
sum Z_WERT
end
statistics %.name%.sta %.name%.max
max SUM-Z_WERT
end
ap
cursor a declare %.name%.max info rw
cursor a open
cursor a first
&sv .max %:a.MAX-SUM-Z_WERT%
cursor a delete
q
```

*Datenbank-Relation definieren und neue Variablen in der Kernel-Datei belegen:*

```
relate add
stat
%.name%.sta
info
kernel#
kernel#
ordered
rw
~
additem kernel.PAT kernel.PAT Z_WERT 8 18 F 6
additem kernel.PAT kernel.PAT Z_REL 8 18 F 6
tables
sel kernel.pat
CALC Z_WERT = stat//SUM-Z_WERT
&if %z% = 'abs' &then CALC Z_REL = Z_WERT
&if %z% = 'prz' &then CALC Z_REL = Z_WERT / %.n% * 100
&if %z% = 'rel' &then CALC Z_REL = Z_WERT / %.max% * 100
q stop
```

*TIN generieren und Isolinien bestimmen:*

```
arctin kernel %.name%_tin point Z_REL
tincontour %.name%_tin %.name%_iso %dl% %l0% # %round% # 1
```

*TIN in LATTICE konvertieren und Home Range-Fläche bestimmen:*

```
tinlattice %.name%_tin %.name%_lat quintic 1
%.X0% %.Y0%
%.XM% %.YM%
~
%dL%
grid
temp = CON(%name%_lat >= %frq%, 1, 0)
DOCELL
a += temp
END
&set ar [show a]
q
&sv .area [CALC %ar% * %dL% * %dL% / 10000]
&type 'Home Range-Fläche mit Nutzungsintensität >=' %frq% ': ' %.area% 'ha'
```

*Hilfscovers löschen:*

```
kill temp all
&return
```

## 9.7 Setup-File zur Steuersoftware des Telemetriesystems

```
; Kanalzuweisungen
; Kanal      Name          Farbe
; (1-99)     (6 Stellen)   (Codierung siehe _10)
_01
2           liBlau        9
4           reGrün       10
6           ES Zoo       5
12          Test 1       1
16          ES UB       13
18          reRot        12
22          re Grün     10
24          reweiß      15
26          liBlau       9
28          ligrau       7
30          Test2       2
32          liRot        12
34          liBlau       9
36          Test3       3
38          liRot        4
42          Test4       6
;
; Wartezeit vom Absetzen eines Peilauftrages bis zum Abholen der Daten
; (Format XX [s])
_02
5
;
; Timeout für Datenfunk-Antwort
; (Format XX [s])
_03
6
;
; Anzahl der im System verwendeten Peilempfänger
; (Format X: 1 X 8)
_04
3
;
; Angabe der Koordinaten der Peilempfänger
; (Das hier vorgegebene Koordinatensystem ist für die gesamte Setup-Datei bindend !!!)
; G (Gauß/Krüger):
;      Format: Rechtswert (XXXXX,XXX)  Hochwert (XXXXX,XXX)
; W (Winkelgrad):
;      Format: Länge (XXX MM'SS,SSSS" N/S)  Breite (XXX MM'SS,SSSS" O/W)
_05
G
75644,740      90987,270
79386,420      86289,530
76457,880      80619,730
; Anzahl der im System verwendeten Eichsender
; (Format X:1 X 6)
_06
1
;
; Angabe der Koordinaten der Geländereferenz und der Eichsender (Format siehe _05)
_07
G
75803,860      87589,380
75803,860      87589,380
;
```

```

; Maßstabs-Skalierung für grafische Ausgabe
; (Format: X: 1 Skaleneinheit = X Meter)
_08
1.0
;
; Anzahl der, in der Grafikausgabe verwendeten Darstellungs-Kategorien
; (Format X: 1 X 30)
_09
13
;
; Zuordnung von Farbe und Linientyp zur Darstellungs-Kategorie
; Kategorie           Farbe   Linientyp   Status (0=aus/1 = ein)
_10
Peilsystem           4       0           1
Geierwände           11      0           1
Höhenlinien           8       0           0
Straßen               6       0           1
Bergbahnen            14      0           1
Flüsse                9       0           1
Seen                  9       0           1
Fels                  7       0           0
Wald                  2       0           0
Feld/Wiese            14      0           0
Siedlung              6       0           0
Legende               15      0           1
Maßstab               15      0           1
Hintergrund           0
;
; Farbe           Codierung   Linientyp           Codierung
; schwarz         0           ausgezogen          0
; blau            1           gepunktet           1
; grün           2           Punkt-Strich        2
; cyan           3           gestrichelt         3
; rot            4
; magenta        5
; braun          6
; hellgrau       7
; dunkelgrau     8
; hellblau       9
; hellgrün       10
; hellcyan       11
; hellrot        12
; hellmagenta    13
; gelb           14
; weiß           15
;
; Dateiname der Geländekarte (mit Laufwerks- und Pfadangabe)
_11
C:\geier\doppler\bgd_kern.dxf
;
; Peilempfänger für Impulslängen-/Impulsintervall-Meßung ausgerüstet?
; (0 = nein / 1 = ja)
_12
1
;
; Betriebsart des Rechners
; („Standard“ = volle Steuerkapazität, „Portable“ = passiver Lesebetrieb)
_13
Standard
;

```

\_14

; Definition des Pfads für die Erfassungsdateien

C:\Geier\Doppler\Daten\

;  
=====

; Temperatur / Luftdruck

=====

; nur zulässig, wenn \_12 = 1 !!!

; minimale, gültige Impulslänge bei Temperaturmessung [ms]:  $0 \leq X \leq 255$

; maximale, gültige Impulslänge bei Temperaturmessung [ms]:  $0 \leq X \leq 255$

; minimale, gültige Impulslänge bei Luftdruckmessung [ms]:  $0 \leq X \leq 255$

; maximale, gültige Impulslänge bei Luftdruckmessung [ms]:  $0 \leq X \leq 255$

; minimaler, gültiger Impulsabstand bei Temperaturmessung [ms]:  $100 \leq X \leq 4095$

; maximaler, gültiger Impulsabstand bei Temperaturmessung [ms]:  $100 \leq X \leq 4095$

; minimaler, gültiger Impulsabstand bei Luftdruckmessung [ms]:  $100 \leq X \leq 4095$

; maximaler, gültiger Impulsabstand bei Luftdruckmessung [ms]:  $100 \leq X \leq 4095$

\_15

8

14

18

24

200

1500

400

1300

;  
; Kanalzuordnung der Regressionsparameter für Temperatur-Berechnung  
; nur zulässig, wenn \_12 =1 !!!

; Eingabeformat der Tabelle:

; Anzahl der Temperatursender

; Kanal	Konst. a	Konst. b	Konst. c	Konst. d
---------	----------	----------	----------	----------

\_16

15

02	79.1	-0.1324	0.823E-4	-2.67E-8
----	------	---------	----------	----------

04	77.8	-0.1252	0.728E-4	-2.40E-8
----	------	---------	----------	----------

06	79.9	-0.1384	0.962E-4	-3.35E-8
----	------	---------	----------	----------

12	78.4	-0.1316	0.873E-4	-3.00E-8
----	------	---------	----------	----------

16	80.2	-0.1227	0.696E-4	-2.37E-8
----	------	---------	----------	----------

18	72.5	-0.0875	0.281E-4	-0.66E-8
----	------	---------	----------	----------

22	75.9	-0.1204	0.706E-4	-2.21E-8
----	------	---------	----------	----------

24	79.8	-0.1513	1.228E-4	-5.02E-8
----	------	---------	----------	----------

26	77.8	-0.1327	0.919E-4	-3.15E-8
----	------	---------	----------	----------

28	80.2	-0.1375	0.982E-4	-3.81E-8
----	------	---------	----------	----------

32	77.6	-0.1375	0.983E-4	-3.51E-8
----	------	---------	----------	----------

34	86.8	-0.1720	1.458E-4	-5.82E-8
----	------	---------	----------	----------

36	79.8	-0.1280	0.816E-4	-3.09E-8
----	------	---------	----------	----------

38	79.5	-0.1316	0.798E-4	-2.41E-8
----	------	---------	----------	----------

42	81.2	-0.1531	1.150E-4	-4.01E-8
----	------	---------	----------	----------

;  
; Kanalzuordnung der Regressionsparameter für Luftdruck-Berechnung  
; nur zulässig, wenn \_12 =1 !!!

; Eingabeformat der Tabelle:

; Anzahl der Luftdrucksender

; Kanal	Konst. a(°)	Konst. b(°)	Konst. c(°)	Höhe	Druckvorgabe	Temperaturvorgabe
					[mbar]	[°C]

;  
; (für alle Sender gültig) (nur gültig für Referenz-Sender);

; zulässige Diskrepanz von der Luftdruckvorgabe bei den Referenz-Sendern [mbar]

; Temperatur-Vorgabe für Sender beim Start der Erfassung (nur gültig bis zum 1. Meßwert)

_17						
15						
; Kanal	Konst. a(θ)	Konst. b(θ)	Konst. c(θ)	Höhe	Druckvorgabe	Temperaturvorgabe
02	259.8	0.379		2.793E-4		
02	-0.979	1.50E-3	-8.3E-7			
02	1.33E-2	-8.24E-5	4.64E-8			
02	-2.1E-4	18.90E-7	-8.4E-10			
04	255.6	0.398		2.436E-4		
04	-0.486	-0.07E-3	2.2E-7			
04	1.99E-2	-9.82E-5	6.56E-8			
04	-4.6E-4	26.37E-7	-15.6E-10			
06	260.3	0.346	1.998E-4	500	960	11
06	0.000	0.07E-3	-1.0E-7			
06	1.71E-2	1.73E-5	0.06E-8			
06	3.2E-4	-2.18E-7	1.8E-10			
12	260.0	0.392	2.819E-4			
12	-0.534	0.75E-3	-5.1E-7			
12	-0.03E-2	2.68E-5	-0.25E-8			
12	0.8E-4	-2.50E-7	9.9E-10			
16	245.2	0.421	2.649E-4	1785	825	1
16	-0.275	0.83E-3	6.6E-7			
16	0.39E-2	-1.19E-5	0.72E-8			
16	-1.6E-4	7.28E-7	-2.6E-10			
18	262.4	0.365	2.339E-4			
18	-0.467	0.45E-3	-3.5E-7			
18	0.40E-2	-0.26E-5	0.82E-8			
18	-0.4E-4	2.01E-7	0.5E-10			
22	261.0	0.409	2.928E-4			
22	-0.602	0.43E-3	-3.2E-7			
22	-0.23E-2	0.78E-5	-0.04E-8			
22	1.4E-4	-1.71E-7	3.7E-10			
24	253.2	0.388	2.882E-4			
24	-1.570	1.13E-3	-10.6E-7			
24	4.87E-2	-4.00E-5	2.88E-8			
24	-5.9E-4	8.85E-7	-0.3E-10			
26	252.2	0.406	2.869E-4			
26	-0.388	-0.22E-3	0.9E-7			
26	0.00E-2	0.92E-5	-1.43E-8			
26	-0.3E-4	3.22E-7	4.8E-10			
28	261.1	0.406	2.804E-4			
28	-0.601	0.29E-3	-1.7E-7			
28	-0.25E-2	0.19E-5	-0.57E-8			
28	1.5E-4	-0.42E-7	2.2E-10			
32	258.2	0.407	2.731E-4			
32	-0.403	-0.31E-3	1.4E-7			
32	0.25E-2	0.08E-5	-0.71E-8			
32	-0.5E-4	5.02E-7	3.2E-10			
34	255.5	0.413	2.864E-4			
34	-0.514	0.38E-3	-2.5E-7			
34	0.18E-2	0.54E-5	0.20E-8			
34	0.3E-4	-0.23E-7	2.2E-10			
36	250.2	0.389	2.760E-4			
36	-0.329	0.28E-3	-1.2E-7			
36	0.92E-2	0.26E-5	0.63E-8			
36	-1.2E-4	0.79E-7	0.9E-10			
38	276.0	0.408	2.628E-4			
38	-0.630	0.12E-3	-0.4E-7			
38	-6.37E-2	-1.99E-5	2.49E-8			
38	14.0E-4	6.89E-7	-3.9E-10			
42	253.9	0.412	3.149E-4			
42	-0.411	0.30E-3	-1.8E-7			
42	0.67E-2	0.31E-5	0.52E-8			
42	-0.7E-4	0.82E-7	1.4E-10			
30						
25						

```

; Abweichung von Geografisch-Nord gegenüber Nord der Peilempfänger
; (Geografisch-Nord = 0°, Zählrichtung: gegen den Uhrzeigersinn)
; Format X; X ≤ 180°; Vorzeichen: Quadranten I & IV positiv, II & III negativ
_18
25
170
-155
;
; Soll-Winkel für Eichsender (relativ zu den Peilempfängern)
; (Geografisch-Nord = 0°, Zählrichtung: gegen den Uhrzeigersinn, Format und Vorzeichen wie oben)
_19
184
69
4
;
; Definition des Streuwinkels zur Berechnung der Fehlerpolygone
; Format X,X; entspricht ± X° Abweichung vom Peilstrahl
_20
5.0
;
; Anwenderkennung (für LOGO beim Programmstart)
_21
NPBG
; Ende aller Einträge
_99

```

## 9.8 Datenstruktur und Übertragungsprotokolle des Datenfunks

### 9.8.1 Datenstruktur der Freiland-Protokolle

Die Daten sind in der Datenbank ORACLE mit folgendem Format abgelegt:  
 Variablenname, Variablentyp mit Vor- bzw. Nachkommastellen: xxx,xx

```

Datum (DATE)
Uhrzeit (DATE)
Kanal-Nr. / Tier-ID (NUMBER: xx)
Standort (NUMBER: xxxx)
Aktivität (NUMBER: xx)
Wetter (NUMBER: xx)
Windrichtung (CHAR: N/NO/O/SO/S/SW/W/NW)
Windstärke (NUMBER: x)
Signalstärke (NUMBER: x)
Konfidenzniveau (NUMBER: x)
Impulsdauer (in ms; NUMBER: xxxx)
Impulsintervall (in ms; NUMBER: xxx)
Temperatur (in °C; NUMBER: xx,x)
Luftdruck (in mbar; NUMBER: xxxx)
Flughöhe (in m; NUMBER: xxxx)
Gruppengröße; (NUMBER: xx)
Bemerkungen (CHAR: 50 Zeichen)

```

### 9.8.2 Datenübertragungsprotokoll Zentrale zum Peilempfänger

Die Daten werden im Binärformat in 4 Bytes übertragen (davon sind 28 Bit genutzt). Die übertragene Information besteht aus einem Header zur Kennung des Datensatzes und dem eigentlichen Datenwort. Das MSB (most significant bit) codiert jeweils, ob es sich um einen Header oder einen Teil des Datenwortes handelt.

#### Header:

Bit-Nr.	Bedeutung
00-03	Befehlscode (Test der Richtfunkstrecke / Befehlsübertragung zum Peilempfänger / Befehlsübertragung zum und Antwort vom Peilempfänger / Wiederholung der Messung / Abruf von Daten des Peilempfängers)
04-06	Adresse des Peilempfängers (1 – 6, 7 = Sammelruf)
7	Kennung: 0 = Datenwort, 1 = Header

#### Datenwort:

Bit-Nr.	Bedeutung
00-07	Vorgabe des Kanals im BCD-Format (0-99)
08-10	Frequenz-Feineinstellung (8 Stufen)
11-12	Mittelwertbildung bei Winkelmessung (über 1 / 2 / 4 / 8 Impulse)
13-14	HF-Abschwächung (0 / -10 / -20 / -30 dB)
15	Phasenlage (0 = 0 Grad, 1 = 180 Grad)
16	Meßmodus (0 = Winkel-, 1 = Impulsmessung)
17	Ein-/Ausschalter (0 = Datenerfassung, 1 = Bereitschaftsstellung)
18	Frequenzeinstellung (0 = Einstellung übernehmen, 1 = keine Neueinstellung)
19-20	Rotationsrichtung der Antenne (Automatik / Rechtslauf / Linkslauf bzw. Umschaltung auf omnidirektionale Zweitantenne)

### 9.8.3 Datenübertragungsprotokoll Peilempfänger zur Zentrale

Die Daten werden im Binärformat in 3 Bytes übertragen (davon 20 Bit genutzt) übertragen. Zur Kennung des Übertragungsmodus dient ein Header, der dem Datenwort vorangestellt ist (s. Kap. 9.3.2).

#### Bei Winkelmessung:

Bit-Nr.	Bedeutung
00-11	Peilergebnis (xxx,x Grad)
12-13	Empfängerstatus (o.k. / Frequenz heben / Frequenz senken / Fehler)
14-15	Signalstärke / Rauschabstand ( $(S+N)/N < 5 / < 20 / < 30 / 30$ dB)
16-17	Impulsdauer-Klassifizierung (<5/<15/<25/ 25 ms)
18	Solarstromversorgung (0 = o.k., 1 = Tiefentladung)
19	Rotationsrichtung (0 = links, 1 = rechts)
20	Betriebsmode (0 = Automatik/Remote, 1 = manuelle Bedienung)

#### Bei Impulsmessung:

Bit-Nr.	Bedeutung
00-11	Impulsintervall (xxxx ms)
12-19	Impulsdauer (xxx ms)



#### 9.8.4 Datenstruktur der Erfassungsdatei und der plausibilisierten Datenfiles

Die Daten sind im Binärformat abgelegt:

##### Datei-Header (feste Wortlänge):

- Erfassungsauftrag vom Benutzer
- Öffnungseintrag der Kommentar-Datei
- Scanreihenfolge (Erfassungsreihenfolge der Kanäle bzw. Tier-IDs)
- Erfassungspriorität
- Betriebsart (high speed oder Zeitraster)
- Mittelwertbildung im Telemetrieempfänger
- Mittelwertbildung im PC
- Darstellungsformat (Tabelle / Grafik / Mobilstation / Winkel- / Impulsmessung)
- Benutzerbefehle (Start / Stop / Single Shot / Ende / Handbetrieb Ein / Aus)
- Startzeitpunkt (Tag / Monat / Jahr und Stunde / Minute / Sekunde)

##### Laufende Datenerfassung:

Die laufende Datenerfassung gliedert sich in eine Abfolge aus:

- Zeitmarken
- Erfassungsaufträge für alle Peilempfänger (s. Anhang 9.3.2)
- Datensätze von allen Peilempfängern (Winkel- oder Impulsmessung, s. Anhang 9.3.3)
- Time Out-Marken, sofern einzelne Peilempfänger nicht antworten
- Benutzereingaben zur Veränderung des Erfassungsauftrags (optional, s. Header)
- Notizblockeinträge: Anmerkungen zu den Meßwerten (optional, max. 255 Zeichen)

Im Regelfall ergibt sich eine Abfolge aus 1 Erfassungsauftrag, der die Einstellungen aller Peilempfänger enthält, gefolgt von den Meßdatensätzen der einzelnen Empfänger in einer nach Empfängeradresse aufsteigenden Reihenfolge. Diese Datenpakete wiederholen alternierend, sofern keine Time Out-Markierung mit einem Wiederholungsauftrag an den betreffenden Empfänger erfolgt. Optionale Benutzereingaben (Änderung des Erfassungsauftrags oder Notizblockeintrag) werden zeitsynchron zwischen die Datenpakete geschrieben und führen somit ebenfalls zu einer modifizierten Struktur der Erfassungs-Datei.

#### 9.8.5 Datenstruktur der exportierten Datenfiles

Die Daten sind in der Datenbank ORACLE mit folgendem Format abgelegt:

Variablenname, Variablentyp mit Vor- bzw. Nachkommastellen: xxx,xx

Datum (DATE)

Uhrzeit (DATE)

Kanal-Nr. / Tier-ID (NUMBER: xx)

X-Koordinate (in m nach Gauß-Krüger; NUMBER: xxxxx.xxx)

Y-Koordinate (in m nach Gauß-Krüger; NUMBER: xxxxx.xxx)

Streumaß für die Standortgenauigkeit (in m<sup>2</sup>; NUMBER: xxxxx)

Temperatur (Mittelwert in °C; NUMBER: xx,x)

Streuung der Temperaturwerte (in °C; NUMBER: xx,x)

Luftdruck (Mittelwert in mbar; NUMBER: xxxxx)

Streuung der Luftdruckwerte (in mbar; NUMBER: xxxxx)

Höhe (Mittelwert in m; NUMBER: xxxxx)

Streuung der Höhe (in m; NUMBER: xxxxx)

Zurückgelegte (horizontale) Wegstrecke (in m; NUMBER: xxxxx)

Höhenänderung (in m; NUMBER: xxxxx)

Horizontalgeschwindigkeit (in m/s; NUMBER: xxx,x m/s)

Vertikalgeschwindigkeit (in m/s; NUMBER: xxx,x m/s)

Signal-Rauschabstand (in dB; NUMBER: xx)

HF-Dämpfung (in dB; NUMBER: xx)

Mittelwertbildung (NUMBER: xx)

Datensatz editiert (CHAR: J/N)

Bemerkung (CHAR: max. 255 Zeichen)