

Lösungen zur Datenerhebung und Datenintegration

in der Huftierforschung des Schweizerischen Nationalparks



Diplomarbeit
von Patrick Laube

Leitung
Prof. Dr. K. Brassel

Betreuung
Dr. B. Allgöwer, GIS-SNP
Dr. A. Streilein, Inst. für Geodäsie und Photogr., ETH Zürich
und
dipl. geogr. R. Haller, GIS-SNP

ausgeführt am Geographischen Institut der Universität Zürich
März 1999

Vorwort

Von Anfang an war klar, dass ich ein Diplomarbeitsthema aus dem Berührungsbereich der Disziplinen Geographie und Biologie wählen würde, waren dies doch die Schwerpunkte meines Studiums. Des Weiteren sollte das Thema meiner Haupttrichtung des Fachstudiums, der methodischen Geographie, gerecht werden. Das gewählte Thema im Umfeld des Geographischen Informationssystems des Schweizerischen Nationalparks (GIS-SNP) erfüllte beide Kriterien. Eine Arbeit im Rahmen des GIS-SNP erfüllte zusätzlich einen weiteren Anspruch an meine Diplomarbeit, den Anspruch eines realen Nutzens der Arbeit: Ganz klar sollte meine Arbeit nicht zum Selbstzweck oder als akademische Fingerübung erfolgen, also möglichst in ein real existierendes Projekt eingegliedert sein - ein weiterer Punkt für das gewählte Thema.

Darüber hinaus erachtete ich es als grosse Chance, im Schweizerischen Nationalpark eine Diplomarbeit machen zu können. Die Arbeit im Umfeld dieser nationalen Institution ermöglichte fächerübergreifend Kontakte und eröffnete interessante Perspektiven.

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich während meiner Diplomarbeit unterstützt haben und letztlich dazu beigetragen haben, dass sie erfolgreich abgeschlossen werden konnte.

Dank gebührt allen voran Dr. Britta Allgöwer (GIS-SNP) für die umfassende Betreuung meiner Diplomarbeit. Mit ihrer herzlichen und persönlichen Art hat sie es verstanden, ein unkompliziertes und deshalb konstruktives Arbeitsklima zu schaffen.

Mein spezieller Dank richtet sich an Professor Dr. Kurt Brassel, Leiter der Abteilung Geographische Informationsverarbeitung / Kartographie am Geographischen Institut der Universität Zürich, der mir ermöglicht hat, die vorliegende Arbeit unter seiner Leitung durchzuführen.

Ganz besonders danken möchte ich Dr. André Streilein vom Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich für seine spontane und bereitwillige Unterstützung im technischen Bereich. Die Treffen auf dem Höneggerberg lieferten ein ums andere Mal direkt umsetzbare und daher brauchbare Ansatzpunkte und brachten meine Arbeit auf die Strasse des Erfolges.

Eine besonderer Dank gebührt Ruedi Haller vom GIS-SNP, der es als engagierter Mitdenker und -lenker verstand, zentrale Fragen aufzuwerfen und mir eine persönliche, direkte Schnittstelle zum Nationalpark bot.

Weiter danke ich Andreas Bachmann, ebenfalls GIS-SNP, und Stephan Imfeld für erste Gehhilfen.c und für gelegentliches Mitdenken. Dr. Bernhard Schneider gebührt Dank für ein offenes Ohr in Sachen Geländemodelle, Philipp Meuret und Dr. Andreas Käab dass sie mir im Bereich der Photogrammetrie und bei der Planung der Messkammerkampagne die gangbaren Wege aufgezeigt haben.

Der Leitung des Schweizerischen Nationalparks danke ich, dass diese Arbeit im Umfeld der Huftierforschung ermöglicht wurde. Dank gebührt dabei v.a. Flurin Filli

und Göri Clavuot, die die Erstellung der Messkammerbilder auf der Brandfläche Il Fuorn möglich machten. Ich danke aber auch den Parkwächtern Reto Moesle, Dario Clavuot, Alfons à Porta, Reto Strimer und Fadri Bott, die ich auf einigen Streifzügen durch den Nationalpark begleiten durfte und denen ich bei der Arbeit über die Schultern schauen durfte.

Arthur Clement und seinen Mitarbeitern von Ingenieurbüro AUER+CLEMENT AG, Flims, sei gedankt für ihren Einsatz für die Forschung etwas ausserhalb des Alltagsgeschäftes.

Ein herzliches Dankeschön geht auch an Gebhardt und Gret Frei für ihre grosszügige und tatkräftige Unterstützung bei der Messkammerkampagne.

Ein besonders Dankeschön verdienen sowohl Gaby als auch Gabi für ihre bereitwillige Unterstützung in Sachen Layout in den kurzen Wochen vor der Abgabe dieser Arbeit.

Meinen Eltern danke ich für den Rückhalt, den sie mir während meines ganzen Studiums gegeben haben.

Zürich, im März 1998

Patrick Laube

Zusammenfassung

In den letzten Jahren avancierte die Analyse raumzeitlicher Prozesse in der Wildtierbiologie zu einem zentralen Forschungsgegenstand. Auch in der Huftierforschung des Schweizerischen Nationalparks steht der Wunsch nach grundlegendem Verständnis der Dynamik der Huftierökologie im Vordergrund. Dieses Wissen ist unverzichtbar für die Schaffung von Entscheidungsgrundlagen im Hinblick auf ein langfristiges Huftiermanagement.

Mitte der Achtzigerjahre setzte man daher im Nationalpark einen Schwerpunkt bei der langfristigen Überwachung der räumlichen Verteilung der Huftierbestände. Eine ganze Reihe von Datensätzen mit raumzeitlichem Bezug wurden daraufhin erarbeitet.

Die Geographische Informationsverarbeitung (GIV) erweitert die Huftierforschung um eine neue geographische Dimension. Die gewinnbringende Nutzung des Instrumentariums Geographischer Informationssysteme (GIS) setzt allerdings in vielen konkreten Projekten aufwendige Datenvorverarbeitungsschritte voraus - bestehende Daten müssen in die GIS-Umgebung integriert werden.

Die vorgestellte Diplomarbeit ergab sich aus der Tätigkeit des Geographischen Informationssystems des Schweizerischen Nationalparks (GIS-SNP) und der Interessengruppe "zooloGISch". Diese Gruppe strebt im Umfeld der Abteilung Geographische Informationsverarbeitung / Kartographie des Geographischen Instituts der Universität Zürich und des GIS-SNP die Optimierung der interdisziplinären Forschungstätigkeit an der Schnittstelle GIS und Wildtierbiologie. Die konkreten Ziele der Arbeit lassen sich wie folgt umschreiben:

- Der übergeordnete Rahmen bildete die Fortführung des begonnenen Wissensaustausches zwischen der Geographischen Informationsverarbeitung und der Wildtierbiologie. Dazu sollten die Prozesse Datenerhebung und Datenintegration anhand ausgewählter Fallbeispiele im Hinblick auf ihre GIS-Kompatibilität kritisch durchleuchtet werden.
- Im Sinne einer praktischen Anwendung der gewonnenen Erkenntnisse sollte für den historischen Datensatz *Brandfläche Il Fuorn* ein Integrationsverfahren ins GIS-SNP entwickelt und anhand einiger Beispieldaten beschriftet werden.
- Abschliessend sollten die bestehenden Analysen des Datensatzes *Brandfläche Il Fuorn* unter den neu geschaffenen Rahmenbedingungen einer Gültigkeitsuntersuchung unterzogen werden.

Die Erreichung der gesteckten Ziele erforderte folgende Arbeitsschritte:

- Qualitative Untersuchung der Fallbeispiele *Raumverteilung Huftiere* und *Brandfläche Il Fuorn*. Insbesondere die Datenerhebung wurde im Hinblick auf ihre GIS-Kompatibilität geprüft. Die Untersuchungen erbrachten konkrete Arbeitsvorschläge und ausgearbeitete Lösungen.

- Als praxisorientierte Umsetzung eines formulierten Arbeitsvorschlages wurde sodann ein Datenintegrationsverfahren für die *historische* Datenbasis der *Dauerbeobachtungen Brandfläche Il Fuorn* ausgearbeitet. Dieser in der terrestrischen Photogrammetrie verwurzelte Teil der Arbeit umfasste die Entwicklung und Evaluation der Prototypapplikation "TRAFO" und die Schaffung der zur effektiven Datenintegration notwendigen Rahmenbedingungen. Dabei ist insbesondere die Erstellung eines orientierten Messkammerbildes der Brandfläche Il Fuorn in einer Feldkampagne zu nennen.
- Abschliessend wurde das aufgezeigte Datenintegrationsverfahren anhand einiger Beispiele besprochen.

Die qualitative Untersuchung der Erhebungs- und Integrationsmethodik zeigte, dass die in den Fallbeispielen gewählten Vorgehensweisen unter gewissen Vorbehalten als GIS-kompatibel zu bezeichnen sind. Ein erster Vorbehalt ist anzubringen im Bereich der Repräsentation der gewonnenen Beobachtungsdaten. Die in den gebräuchlichen GIS-Lösungen angebotene Funktionalität als genaue xy-Angabe entspricht nicht den Aufnahmegenaugigkeiten wildbiologischer Felddaten und darf nicht unbesehen übernommen werden. Hier wäre die Entwicklung adäquater Repräsentationsarten zu fördern. Ein zweiter Vorbehalt liegt im nur lückenhaft realisierten Metadatenfluss. Einmal erhobene Daten verlieren meist jegliche Information über Erhebungsumstände und -genauigkeiten. Dies wiegt besonders schwer, weil sowohl die Ansprache als auch die Notationsgenauigkeit von wildbiologischen Beobachtungsdaten direkt von der Beobachtungsdistanz abhängen und somit höchst variabel sind.

In Zukunft gilt es den GIS-Einbezug möglichst früh im Planungsprozess ökologischer Langzeitstudien zu fördern. Eine frühe Mitsprache der GIS-Verantwortlichen verhindert schwerwiegende Unterlassungssünden im Bereich der Datenstruktur.

Mit der Prototypapplikation "TRAFO" wurde der Nachweis erbracht, dass die vorgeschlagene, photogrammetrische Lösung zur Datenintegration der historischen Daten der *Dauerbeobachtungen Brandfläche Il Fuorn* grundsätzlich gangbar ist. Die Prototypapplikation "TRAFO" bietet sowohl für die *Dauerbeobachtungen Brandfläche Il Fuorn* als auch für ähnlich gelagerte Projekte ein den Ansprüchen der Geographischen Informationsverarbeitung genügendes Verfahren, unter Beibehaltung der in der wildbiologischen Forschungstradition verbreiteten Erhebungsmethodik.

Die bisher auf der *Brandfläche Il Fuorn* verwendete Analyseverfahren zur Bestimmung von Huftierverteilungen und räumlichen Mustern muss nach heutigem Wissensstand als unbefriedigend bezeichnet werden. Alle nach altem Vorgehen präsentierten Analysen und Resultate werden somit grundsätzlich in Frage gestellt.

In näherer Zukunft dürfte die Integration des gesamten Datensatzes *Dauerbeobachtungen Brandfläche Il Fuorn* ins GIS-SNP einen höchst interessanten Ansatzpunkt zur Analyse der raumzeitlichen Dynamik in der Huftierökologie hervorbringen.

Im Sinne eines visionären Ausblickes liegt es durchaus im Bereich des Möglichen, dass in Zukunft der Beobachter im Feld direkt auf seinem Laptop Beobachtungspunkte auf einem Messkammerbild absetzt und unverzüglich mit Lagekoordinaten versorgt wird.

Summary

In recent years the analysis of spatial and temporal dynamics became a central point of interest in ethology and wildlife research. Among other reserves the Swiss National Park intends to acquire knowledge upon the dynamics of wildlife ecology. This knowledge is essential to support the decision making process in long-term wildlife management.

In the 1980s the Swiss National Park decided to concentrate on long-term surveys about the spatial distribution of wild ungulates. A wide range of data with spatial dimension were created.

Geographic Information Sciences (GIS) add geographic dimension to ethology and wildlife research. However, the cost is often underestimated, since the use of GIS-technologies implies the integration of already existing data in Geographic Information Systems.

The present diploma thesis was undertaken in the context of "zooloGISch" - a group of agronomists, geographers and biologists, who intend to optimize the cooperation between GIS and ethology/wildlife research. The aims of this diploma thesis were as follows:

- The overall objective was to establish a common basis of knowledge between GIS and ethology/wildlife research. The processes data-acquirement and data-integration should be investigated on GIS-compatibility, based on selected examples of findings on wild ungulates in the Swiss National Park.
- As a practical application, the collected experiences and knowledge should be used to develop a procedure to integrate the existing historical ungulates database *Wildfire-area Il Fuorn* into the Geographic Information System of the Swiss National Park.
- In this context, formerly performed analyses of the database *Wildfire-area Il Fuorn* should be critically reviewed.

The following methods were used to reach those goals:

- Qualitative analysis of the examples of spatial patterns of wild ungulates and observation-database *Wildfire-area Il Fuorn*. Special emphasis was put on checking the process of data-acquisition on GIS-compatibility. This analysis led to a range of concrete suggestions and solutions for the practical work in those projects.
- As a project-oriented application the acquired knowledge was used for the development of a data-integration procedure for the historical observation-database *Wildfire-area Il Fuorn*. Photogrammetric techniques and procedures were used in this part of the thesis, which included the development and evaluation of the application-prototype TRAF0. Furthermore an oriented photogram of the *wild-fire area Il Fuorn* was created, which was a general condition for the application of the prototype TRAF0.
- Finally, the presented data-integration procedure was tested on a few example

datasets.

The qualitative analysis of data-acquisition and data-integration showed that the selected procedures of the chosen examples can be considered GIS-compatible, with certain limitations. A first problem was detected in the representation of ethological field data with GIS. The normally used representation of observations as high-accuracy x- and y-coordinates does not correspond to the observation accuracy of ethological field data. Thus, an adequate representation-functionality of field observations should be developed. A second problem was the lack of a continuous flow of meta-information. In most cases, once collected and stored data lose all information about the circumstances and accuracies of acquisition. This is of particular importance for ethological field data, where observation accuracies depend on highly variable observation distances. As a basic conclusion, the GIS component has to be included to the planning process of a long-term ecological study from the very beginning

The prototype application **TRAFO** showed, that the presented procedure to integrate the historical database *Wildfire-area Il Fuorn* basically works. The application offers a solution not only for the integration problem of the database *Wildfire-area Il Fuorn*, but also for similar problems. From a geographical point of view and with the today's functionality, the formerly used analysis method is considered insufficient. Hence, former results such as density estimations have to be reviewed and recalculated.

Integrating the whole database *Wildfire-area Il Fuorn* into a GIS-environment will lead to a highly interesting starting point for analyzing spatial and temporal dynamics in ethology and wildlife research.

Future developments for ethological field workers may be a possibility to set observation points directly on a photogram in a portable computer and obtain transformed object coordinates in real-time.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	i
Zusammenfassung	iii
Summary	v
Inhaltsverzeichnis	vii
Abbildungsverzeichnis	xi
Tabellenverzeichnis	xiii

Kapitel 1

Problemstellung	1
1.1 Hintergrund	1
1.2 Zielsetzungen	2
1.2.1 Globale Zielsetzung	2
1.2.2 Arbeitsziele	3
1.3 Arbeitshypothesen	3
1.4 Aufbau der Arbeit	4

Kapitel 2

Stellung der Arbeit im interdisziplinären Spannungsfeld	7
2.1 Schweizerischer Nationalpark	7
2.2 GIS-SNP	8
2.3 Arbeitsgruppe „zooloGISch“	8
2.4 Parteien der technischen Unterstützung	9

Kapitel 3

GIS in der Wildtierbiologie	11
3.1 Wildlife-Management	11
3.2 Wildtier-Monitoring	12
3.2.1 Der Begriff Monitoring	12
3.2.2 Ökologische Langzeitstudien und biologisches Monitoring	15
3.2.2.1 Begriffsdefinitionen	15
3.2.2.2 Vorwissen, Methodik und Planung	18
3.2.2.3 Auswertung und Interpretation	19
3.2.2.4 Fussangeln und Fallgruben	19
3.3 GIS in ökologischen Langzeitstudien	20
3.3.1 Zum Begriff GIS	20
3.3.2 GIS-gestütztes, projektorientiertes Arbeiten	23
3.3.3 GIS und Wildlife-Management	24
3.3.4 Verarbeitungsgegebene Anforderungen	25
3.3.5 Repräsentation von Beobachtungsdaten im GIS	27

Kapitel 4

Huftiermonitoring im Schweizerischen Nationalpark	29
4.1 Huftiere - ein Schwerpunktthema im Schweizerischen Nationalpark	29
4.1.1 Huftiere im Schweizerischen Nationalpark	29
4.1.1.1 Gemse (<i>Rupicapra rupicapra</i> L.)	29
4.1.1.2 Steinbock (<i>Capra ibex</i> L.)	30
4.1.1.3 Rothirsch (<i>Cervus elaphus</i> L.)	31
4.1.1.4 Reh (<i>Capreolus capreolus</i> L.)	32
4.1.2 Huftierforschung im Schweizerischen Nationalpark	32
4.2 Projekte des Huftiermonitorings im Schweizerischen Nationalpark	33
4.2.1 Notwendigkeit eines Huftiermonitorings	33
4.2.2 Einzelprojekte	34
4.2.2.1 Bestandenserhebungen	34
4.2.2.2 Projekte auf Artebene	35
4.2.3 Interdisziplinäre Grundlagen und Infrastruktur	38

Kapitel 5

GIS - Kompatibilität der Huftierforschung im SNP	39
5.1 Exemplarische Untersuchungsobjekte	40
5.1.1 <i>Raumverteilung Huftiere</i>	41
5.1.2 <i>Brandfläche Il Fuorn</i>	42
5.2 Datenerhebung	44
5.2.1 Ausgangslage	44
5.2.2 Methoden der Datenerhebung	45
5.2.3 Erfahrungen und Beobachtungen	46
5.2.4 Handlungsbedarf und Arbeitsvorschläge	50
5.3 Datenintegration – digitale Datenaufbereitung	52
5.3.1 Ausgangslage	52
5.3.2 Methoden der Datenintegration	52
5.3.3 Erfahrungen und Beobachtungen	53
5.3.4 Handlungsbedarf und Arbeitsvorschläge	55

Kapitel 6

Entwicklung der Prototypapplikation „TRAFO“	57
6.1 Zielsetzungen	57
6.2 Schlaglicht terrestrische Photogrammetrie	58
6.2.1 Grundlagen der Photogrammetrie	58
6.2.1.1 Koordinatensysteme	58
6.2.1.2 Orientierungsparameter	60
6.2.1.3 Kammern und Bilder	61
6.2.2 Terrestrische Photogrammetrie	61
6.3 Entwicklungsumgebung	62
6.3.1 Das Betriebssystem UNIX	62
6.3.2 Die Programmiersprache C	63
6.4 Datenfluss	63

6.4.1 Stufe I: Vom Amateurbild ins Messkammerbild	64
6.4.2 Stufe II: Vom Messkammerbild in die Orthogonalprojektion	67
6.5 Die Prototypapplikation „TRAFO“	69
6.5.1 Aufbau	69
6.5.2 Module	70

Kapitel 7

Anwendung der Prototypapplikation "TRAFO"	73
7.1 Aufnahme der Messkammerbilder	73
7.1.1 Bestimmung des Aufnahmestandortes	73
7.1.2 Passpunktwahl	74
7.1.3 Messkammerbilder	75
7.1.4 Einmessen der Passpunkte	76
7.2 Äussere Orientierung der Messkammerbilder	77
7.3 Digitales Höhenmodell	78
7.4 Beispieldatensätze	79
7.4.1 Erhebungsdaten vom 4. 4. 1995	80
7.4.2 Gitterpunkte des Analyserasters	81
7.5 Evaluation des vorgestellten Transformationsverfahrens	83
7.6 Diskussion	85

Kapitel 8

Schlussbetrachtungen	87
8.1 Rekapitulation der Kernpunkte	87
8.2 Resultate	87
8.3 Diskussion	88
8.4 Ausblick	91
Glossar	95
Abkürzungsverzeichnis	99
Literaturverzeichnis	101
Anhang I: Erhebungs-Anleitung	107
Anhang II: Erhebungs-Formular	109
Anhang III: c-Code	111
Anhang IV: Passpunkte	125
Anhang V: Ablaufschema	127

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.1:	Flussdiagramm Monitoring	15
Abb. 3.2:	Vektor- und Rasterdaten	22
Abb. 3.3:	Repräsentation von wildtierbiologischen Beobachtungsdaten	28
Abb. 5.1:	Struktur des Kapitels 5	39
Abb. 5.2:	Übersichtskarte	42
Abb. 5.3:	Das Untersuchungsgebiet Brandfläche II Fuorn	43
Abb. 5.4:	Attributliste der Erhebung Raumverteilung Huftiere	45
Abb. 5.5:	Erhebungsprotokoll	46
Abb. 5.6:	Problematische Notationsformen von Beobachtungsdaten	48
Abb. 5.7:	Verwendetes Analyse-Quadratraster	53
Abb. 5.8:	Bisher erfolgte Auswertung der räumlichen Verteilung	54
Abb. 6.1:	Datenfluss	57
Abb. 6.2:	Messkammerbild	59
Abb. 6.3:	Positiv- und Negativstellung	59
Abb. 6.4:	Zusammenhang zwischen Bild- und Objektkoordinaten	60
Abb. 6.5:	Grundidee des Verfahrens	64
Abb. 6.6:	Ebene Affintransformation mit Überbestimmung	65
Abb. 6.7:	Monoplotting	68
Abb. 7.1:	Historische Aufnahme	75
Abb. 7.2:	Messkammerbild	76
Abb. 7.3:	Erhebungsdatensatz vom 4. 4. 1995	80
Abb. 7.4:	Transformierte Beobachtungspunkte vom 4. 4. 1995	81
Abb. 7.5:	Analyseraster	82
Abb. 7.6:	Projektion des Quadratrasters aufs Gelände	82
Abb. 7.7:	Rückprojizierte Passpunkte	84

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1:	Variablen und Prozesse eines Monitoring	17
Tab. 4.1:	Gemsbestand des Schweizerischen Nationalparks 1997	30
Tab. 4.2:	Steinbockbestand des Schweizerischen Nationalparks 1997	31
Tab. 4.3:	Rothirschbestand des Schweizerischen Nationalparks 1997	32
Tab. 4.4:	Zeitfenster zur Aufnahme der räumlichen Verteilung der Huftiere	35
Tab. 6.1:	Definitionen photogrammetrischer Koordinatensysteme	59
Tab. 7.1:	Äussere Orientierung der Messkammerbilder.....	77
Tab. 7.2:	Residuen des räumlichen Rückwärtsschnittes	78
Tab. 7.3:	Evaluation des Höhenmodells der <i>Brandfläche Il Fuorn</i>	79
Tab. 7.4:	Rückprojizierte Passpunkte.....	84

Kapitel 1

Problemstellung

1.1 Hintergrund

Wildtierbiologische Fragen waren selten so aktuell wie in den letzten Jahren. Zum einen manifestieren sich vielerorts Nutzungskonflikte einheimischer Arten mit dem Menschen um die immer knapper werdenden Freiräume. Zum andern bildet die bevorstehende Rückeroberung des Alpenbogens durch Bär und Wolf eine grosse Herausforderung an Gesellschaft, Politik und Wissenschaft. Fragen der Wildtierbiologie sind hoch aktuell und nicht selten von grosser politischer Brisanz. Es besteht daher eine grosse Nachfrage an Basiswissen über die Ökologie unseres Wildes.

Interdisziplinäres Arbeiten ist das Credo naturwissenschaftlicher Forschung an der Schwelle zum nächsten Jahrtausend. In dem Masse, wie vernetzte Welten im Alltag zum Dauerthema wurden, etablierten sich die Ideen einer allseitigen Verflechtung natürlicher Prozesse auch in den Naturwissenschaften. Viele offene Fragen klärten sich erst nach einem Blick über den eingeschränkten Horizont der eigenen Disziplin. Insbesondere in der Ökologie ist die fächerübergreifende Zusammenarbeit unabdingbar für ein grundlegendes Verständnis der beobachteten Prozesse. Von aussen betrachtet lassen sich die äusserst komplexen Vorgänge der Ökologie selten monokausal erklären, ihre Untersuchung innerhalb eingeschränkter Einzeldisziplinen ist daher unangebracht und wenig erfolgversprechend. Fächerübergreifende Zusammenarbeit schafft Abhilfe.

Die **Geographische Informationsverarbeitung** (GIV) bietet ein ideales Gefäss zur interdisziplinären Zusammenarbeit in der Ökologie. Sie ermöglicht die Schaffung von Entscheidungsgrundlagen für politische Entscheidungsträger und ist somit ein wichtiges Instrument des Managements der Umwelt.

Seit einigen Jahren ist man sich in den Kreisen der Ökologie, insbesondere aber der Wildtierbiologie, der Vorteile der GIV bewusst. Zu präzis passen die typischen Merkmale ökologischer Felddaten ins Anforderungsprofil der GIV, als dass man sich der neuen Datenverwaltungs- und Datenverarbeitungsmethodik verschliessen möchte. Geographen und Geologen, Biologen und Umweltnaturwissenschaftler begegnen sich an der Schnittstelle GIV. Ein langwieriger, aber für alle Betroffenen äusserst spannender Prozess der gegenseitigen Annäherung und des Lernens voneinander hat eingesetzt.

Auch der Schweizerische Nationalpark hat die Zeichen der Zeit erkannt und auf die Karte GIV gesetzt [ALLGÖWER & BITTER 1992]. Im Jahre 1992 wurde damit begonnen, für den Schweizerischen Nationalpark ein Geographisches Informationssystem (GIS-SNP) aufzubauen. Der Einbezug schon bestehender Daten, die Dateninte-

gration ins GIS, ist dabei ein schwieriger und langfristiger Prozess. Auch im Bereich der Huftierforschung wurde damit begonnen, eine digitale Datenbasis aufzubauen. Im Zusammenhang mit dieser Arbeit sind insbesondere die im Frühjahr 1997 begonnene Erhebung *Raumverteilung Huftiere* [FILLI & SCHEURER 1995] und die bereits bestehende Sammlung von Beobachtungsdaten auf der *Brandfläche Il Fuorn* [HINDENLANG & WIRZ 1992] zu nennen, da sie als Fallbeispiele zur Untersuchung der Schnittstelle GIS-Wildtierbiologie gewählt wurden.

In diesem praxisorientierten Arbeitsumfeld wird die allseits geforderte Interdisziplinarität zur Realität. Erst die Arbeit mit den effektiv vorliegenden Daten zeigt methodische Defizite auf und weist somit auf Handlungsbedarf hin. Für den GIV-Praktiker bedeutet dies oft Stückwerk - schwierige Recherchierarbeit auf „Datenfriedhöfen“ oder aber die Entwicklung sehr spezifischer Lösungswege für sehr spezifische Probleme. Gerade deshalb ist aber auch dieses von der Grundlagenforschung scheinbar losgelöste Forschen am konkreten Problem ein Teil von GIS - im Sinne von *Geographic Information Science*.

1.2 Zielsetzungen

1.2.1 Globale Zielsetzung

Im grossen Kontext geht es darum, auf eine computer-gestützte, benutzerfreundliche Verwaltung und Analyse wildtierbiologischer Daten hinzuarbeiten, zur Klärung übergeordneter, wildtierbiologischer Fragen. Diese zielen auf ein grundsätzliches Verständnis der Populationsökologie und des raumzeitlichen Verhaltens der Huftiere ab, sind somit primär ethologischer Natur und nicht Inhalt dieser Arbeit.

Die vorliegende Arbeit fühlt sich vielmehr dem interdisziplinären Austausch verpflichtet. Anhand von praktischer Arbeit an der Schnittstelle GIS und Wildtierbiologie soll versucht werden, zur Vergrösserung einer gemeinsamen Wissensbasis beizutragen. Der Austausch von Wissen bildet das Fundament für eine ergiebige, fruchtbare Zusammenarbeit.

Durch konkretes Arbeiten mit real existierenden Daten sollen bisher bestehende Inkompatibilitäten zwischen GIV und der Huftierforschung des Schweizerischen Nationalparks aufgedeckt und Verbesserungsvorschläge gemacht werden.

Die Anforderungen, welche die Biologie an Beobachtungsdaten stellt, stimmen nicht à priori mit den Ansprüchen der geographischen Informationsverarbeitung überein. Die Arbeit hat zum Ziel, einen Beitrag zu einem Konsens zu liefern, welche Anforderungen an wildtierbiologischen Beobachtungsdaten gestellt werden müssen, wenn sie der Geographischen Informationsverarbeitung zugeführt werden sollen.

Dazu werden erstens bestehende Arbeitsabläufe und Vorgehensweisen des Huftier-Monitorings im Schweizerischen Nationalpark im Hinblick auf einen GIV-Einsatz kritisch durchleuchtet.

Zweitens sollen neue Verfahren entwickelt werden, mit denen bestehende, sogenannte

historische Daten, ins GIS integriert werden können. Historische Daten sollen also von ihrer statischen, analogen Ablageform in eine dynamische, digitale Verwaltung überführt werden.

Damit soll ein Beitrag geleistet werden zur Schaffung einer Kontinuität von bestehenden zu zukünftigen Datenreihen, einem Brückenschlag gleichend von der Vergangenheit über die Gegenwart in die Zukunft.

1.2.2 Arbeitsziele

Datenerhebung:

- Die Phase der Datenerhebung soll an den Fallbeispielen *Raumverteilung Huftiere* und Dauerbeobachtungen *Brandfläche Il Fuorn* auf ihre GIS-Kompatibilität bzw. Effizienz des GIS-Einsatzes untersucht werden.
- Durch den Vergleich der untersuchten Verfahren mit der Literatur soll allfälliger Handlungsbedarf erkannt werden. Daraus sollen schliesslich konkrete Arbeitsvorschläge abgeleitet werden.

Datenintegration:

- Auch die Phase der Datenintegration soll in den beiden Fallbeispielen auf GIS-Kompatibilität, bzw. Effizienz untersucht werden.
- Es soll ein Verfahren gefunden und beschrieben werden, den bestehenden analogen und nicht geocodierten Datensatz *Dauerbeobachtungen Brandfläche Il Fuorn* in eine geocodierte Form zu überführen. Somit soll die digitale Datengrundlage des kleinräumigen Untersuchungsobjektes *Brandfläche Il Fuorn* um die Möglichkeit ergänzt werden, die Huftier-Beobachtungsdaten zu integrieren.
- Einige ausgelesene Beispieldatensätze sollen durch den aufgezeigten Weg geocodiert werden.

Datenanalyse

- Anhand der korrigierten, geocodierten Beispieldatensätze sollen die bis anhin gemachten Analysen der Beobachtungsdaten auf ihre Gültigkeit untersucht werden.

1.3 Arbeitshypothesen

In den Jahren 1989 bis 1992 wurden die Daten *Dauerbeobachtung Brandfläche Il Fuorn* im Auftrag der Wissenschaftlichen Nationalparkkommission (WNPK) zur Entwicklung alpiner Ökosysteme mit hohen Huftierbeständen aufgenommen und ausgewertet [HINDENLANG & WIRZ 1992]. In jährlichen Bulletins wurden Analysen vorgenommen zur tageszeitlichen Verteilung, zum Verhalten, zur räumlichen Verteilung und zur Verschiebung der Gruppen auf der Fläche. Zur Behandlung der räumlichen Fragestellungen wurden die Beobachtungen nicht auf eine Karte, sondern auf eine Ansichtsphotographie des Untersuchungsgebietes vermerkt. Auf dieser Grundlage wurden anschliessend Dichtewerte berechnet (vgl. Kap. 5.2.2). Diese Methode ist im Ansatz zwar zukunftsweisend, kann aber aus heutiger Sicht und beim heutigen

Stand der Technik nicht mehr bestehen.

Aus diesen Gründen und auf den oben formulierten Arbeitzielen fussend, lassen sich folgende Arbeitshypothesen zur Datenerhebung, Datenintegration und Datenanalyse im GIV-Bereich der Huftierforschung des Schweizerischen Nationalparks formulieren:

1. Die kritische Durchleuchtung von bestehenden Arbeitsabläufen erbringt grundsätzliche Einsichten zur Vereinfachung, Effektivitätssteigerung und Erhöhung der Genauigkeit der Analyse in der Zusammenarbeit von Wildtierbiologie und Geographischer Informationsverarbeitung.
2. Die Verwendung eines regelmässigen Gitters auf einer Schrägaufnahme und die Berechnung von Dichtewerten ist nicht zulässig. Die gefundenen Muster widerspiegeln die Geometrie der verwendeten Schrägaufnahme, nicht aber Dichteverteilungen von Huftieren. Die verwendete räumliche Auflösung des Rasters erlaubt keine schlüssigen Aussagen.
3. Eine der Analyse vorgeschaltete Geocodierung¹ der einzelnen Beobachtungspunkte erhöht den Informationsgehalt der Daten um ein Vielfaches.

1.4 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist schwergewichtig projektorientiert, sie ist somit im Spannungsfeld zwischen den Einschränkungen und den Möglichkeiten eines übergeordneten Ganzen angesiedelt. Der Arbeitsprozess der Problemidentifikation und Problemextraktion, die Suche nach geeigneten Lösungsvarianten und die Entwicklung einer eigenen Prototypapplikation bilden die Schwerpunkte der Arbeit. Diese Phasen sind ersichtlich im Aufbau der Arbeit.

In den Kapiteln 2 bis 4 wird der thematische Rahmen der Arbeit abgesteckt. Kapitel 2 zeigt auf, welche Parteien mit ihren Anregungen und Ansprüchen das Arbeitsumfeld der Arbeit gebildet haben. Das folgende dritte Kapitel erarbeitet die thematischen Grundlagen zur Geographischen Informationsverarbeitung im Bereich ökologischer Langzeitstudien und durchleuchtet die bestehende Literatur zum Thema. Die Arbeit ist eng mit der Huftierforschung des Nationalparks verbunden, daher realisiert das vierte Kapitel den Anschluss an den wildtierbiologischen Überbau der Huftierforschung im Schweizerischen Nationalpark.

Kapitel 5 durchleuchtet die vorgefundenen Arbeitsabläufe zur Datenerhebung und Datenintegration vor dem Hintergrund der besonderen Anforderungen der Geographischen Informationsverarbeitung. Das Kapitel deckt konkreten Handlungsbedarf auf und liefert Arbeitsvorschläge. Die Umsetzung eines Arbeitsvorschlages findet sich in Kapitel 6. Es umschreibt die Schritte, die zur Integration der historischen Datenbasis *Dauerbeobachtungen Brandfläche Il Fuorn* unternommen wurden. Konkret handelt es sich dabei um die Entwicklung der Prototypapplikation „TRAFO“. Das folgende Kapitel 7 beschreibt die Bereitstellung des zur Datenintegration mit „TRAFO“ benö-

1. vgl. Glossar

tigten Messkammerbildes. Des Weiteren wird „TRAFO“ auf einige Beispieldatensätze angewendet.

In den Schlussbetrachtungen des Kapitels 8 werden die formulierten Ziele noch einmal aufgegriffen und mit dem Erreichten verglichen. Das letzte Kapitel bietet ausserdem Raum für die Diskussion der Resultate und einen Ausblick in die Zukunft.

Im Anhang finden sich Koordinatenlisten, der Kalibrierungsnachweis der verwendeten Messkammer, die mathematischen Grundlagen der Prototypapplikation „TRAFO“ und eine Version des C-Codes der Programmapplikation.

Kapitel 2

Stellung der Arbeit im interdisziplinären Spannungsfeld

Wie dem Titel der Arbeit zu entnehmen ist, befasst sich die Arbeit im weitesten Sinne mit Huftieren, Geographischen Informationssystemen (GIS) und dem Schweizerischen Nationalpark. Somit ist die Arbeit im Spannungsfeld mehrerer Disziplinen und mehrerer für die Disziplinen stehender Institutionen oder Dritten aus der Privatwirtschaft angesiedelt.

Durch das Einfließen mehrerer Disziplinen (Photogrammetrie und Vermessung, Geographische Informationsverarbeitung und Wildtierbiologie) erhielt die vorliegende Arbeit eine stark interdisziplinäre Prägung. Die Zusammenarbeit mit mehreren praxisorientierten Institutionen wie dem Schweizerischen Nationalpark, dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH oder dem Ingenieurbüro (für Geodäsie, Raumordnung und Luftbildverarbeitung) AUER+CLEMENT AG, Flims, verleiht der Arbeit ausgeprägten Projektcharakter.

Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit ist das Einfließen von verschiedenen Fachsprachen mit ihren spezifischen Termini unumgänglich. Was einem Vertreter der einen Disziplin klar erscheint, mag für Fachmann einer anderen Disziplin unbekannt sein. Aus diesem Grunde ist der Arbeit ein Glossar angefügt, welches die wichtigsten Fachbegriffe erklärt.

Folgende Institutionen oder Parteien bilden das engere Arbeitsumfeld und sollen daher kurz eingeführt werden:

2.1 Schweizerischer Nationalpark

Der 1914 gegründete Schweizerische Nationalpark ist heute eine öffentlich-rechtliche Stiftung mit den entsprechenden gesetzlichen Grundlagen auf Bundes- und Kantons-ebene. Das eidgenössische Nationalparkgesetz regelt Wesen und Zweck, Trägerschaft und Finanzierung des Parkes sowie die Zusammensetzung und Aufgaben der eidgenössischen Nationalparkkommission - ENPK [Nationalparkgesetz vom 19. Dez. 1980]. Es definiert den Nationalpark als ein Reservat, wo die Natur vor allen menschlichen Eingriffen geschützt und namentlich die gesamte Tier- und Pflanzenwelt ihrer natürlichen Entwicklung überlassen wird (Art. 1, Abs. 1). Gleichzeitig soll der Park der Allgemeinheit zugänglich sein, soweit es die Parkordnung zulässt. Er soll aber auch Gegenstand dauernder wissenschaftlicher Forschung sein (Art. 1, Abs. 2).

Somit bietet der Schweizerische Nationalpark die Gelegenheit, systematische Lang-

zeitbeobachtungen und vernetzte, ganzheitliche Ökosystemforschung durchzuführen [...]. Zur Jahrtausendwende kommt dem Nationalpark je länger je mehr eine besondere Bedeutung als Referenzsystem oder Eichinstrument gegenüber der vom Menschen genutzten Umwelt zu [ALLGÖWER & BITTER 1992].

2.2 GIS-SNP

1992 beschloss die Wissenschaftliche Nationalparkkommission (WNPK), für den Schweizerischen Nationalpark ein Geographisches Informationssystem (GIS-SNP) aufzubauen. Die Aufgaben des GIS-SNP liegen in den Bereichen Verwaltung, Administration, Forschung und Schulung [ALLGÖWER 1995].

Ein erster Schwerpunkt bildet die Datenbeschaffung und -bewirtschaftung. Konkret heisst das Beschaffung, Einordnung und Unterhalt von vielfach nutzbaren Datensätzen. Da sich natürliche Prozesse nicht an menschengemachte Grenzen halten, werden auch Datensätze verwaltet, die über die Parkgrenze hinaus reichen. Flächendeckende Datensätzen, die das ganze Parkgebiet abdecken, werden von Datensätzen spezieller Teilgebiete ergänzt, die zu ganz spezifischen, u.U. räumlich stark eingeschränkten Fragestellungen erhoben wurden.

Daneben erfüllt das GIS-SNP auch administrative Aufgaben in Wartung und Unterhalt von GIS-Hard- und Software. Ein wichtiger Anspruch des GIS-SNP liegt in der Unterstützung der Nationalparkdirektion in allen räumlichen Sachfragen wissenschaftlicher und verwaltungstechnischer Natur. Gleichsam einem Management-Werkzeug soll das GIS-SNP den Entscheidungsträgern fundierte Grundlagen liefern [BACHMANN et al. 1998].

Im Sinne einer fächerübergreifenden Zusammenarbeit werden regelmässig Kurse und Einzelberatungen zu Konzepten und Arbeitsweise geographischer Informationssysteme abgehalten. Zu den Kernaufgaben des GIS-SNP gehört die Unterstützung und Beratung von Forscherinnen und Forschern im Umfeld des Nationalparks.

Trotz der noch relativ kurzen Bestehenszeit konnte das GIS-SNP bereits zwei eigentliche Forschungsschwerpunkte etablieren. In den Bereichen Wildlife-Management und Waldbrand-Management kann das GIS-SNP mit der Entwicklung spezifischer Lösungen für spezifisch Probleme aufwarten [BACHMANN et al. 1997].

Das GIS-SNP ist eng mit dem Geographischen Institut der Universität Zürich verbunden. Die für Studenten attraktive Verbindung von Hochschulausbildung und Praxis bot schon des öfteren Hand für die eine oder andere Abschlussarbeit. Die vorliegende Arbeit reiht sich in diese Tradition ein.

2.3 Arbeitsgruppe „zooloGISch“

Im Umfeld des GIS-SNP und der Abteilung Geographische Informationsverarbeitung/Kartographie des Geographischen Instituts der Universität Zürich (GIUZ) erkannte man 1997 eine Häufung thematisch ähnlich gelagerter Arbeiten im Bereich

GIS und Wildtierbiologie [ALLGÖWER & HALLER 1996; HALLER 1996; HÄFLIGER 1995; IMFELD 1996]. Die Gründung einer Interessengemeinschaft, sie nennt sich aus nahe liegenden Gründen Arbeitsgruppe „zooloGISch“, war die logische und konsequente Folge. Die Gruppe will ihren Anliegen Gehör verschaffen, erkannte Probleme thematisieren und für laufende Projekte, wie etwa die vorliegende Arbeit, Synergien ausnützen und durch fächerübergreifenden Austausch eine gemeinsame Wissensbasis schaffen.

An einer Reihe von konstituierenden Zusammenkünften erarbeitete die Arbeitsgruppe eine Reihe von Zielen [IMFELD & HALLER 1997]:

- Optimierung des GIS-Einsatzes für die Forschung an Wildtieren
- Entwicklung von Methoden, Analyseverfahren und Modellen für die Erkennung und Modellierung von Veränderungen in räumlichen Mustern (Verbreitung, Bewegung, Habitatnutzung, Migration, Ausbreitung, Populationsaustausch) bei Wildtieren

Ausgehend von diesen Grundzielen lässt sich eine breite Palette von Themen auflisten, die im Rahmen der Arbeitsgruppe „zooloGISch“ von Interesse sind. Folgende offene, unvollständige Liste gibt einen Einblick:

- Etablierung der Komponente GIS in allen Phasen einer Felddaufnahme, insbesondere aber der Planung (z. B. Standortsuche für Telemetrieantennen)
- Erhebung GIS-kompatibler Felddaten (Genauigkeiten von Grundlagendaten, Wahl der Kartengrundlage)
- Unterstützung von Felddaufnahmen (GPS-Telemetrie, Nachbearbeitung von Telemetrie-Daten)
- Visualisierung dynamischer Daten

2.4 Parteien der technischen Unterstützung

Für den Aspekt der technischen Lösungsfindung erhielt die Arbeit fruchtbare Hilfeleistung aus dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH, im Speziellen von Dr. André Streilein.

Für die Erstellung benötigter Messkammerbilder war das Ingenieurbüro AUER+CLEMENT AG, Flims, besorgt.

Kapitel 3

GIS in der Wildtierbiologie

„Im Alltag würde niemand daran denken, ein Auto zu kaufen ohne Tachometer, Bezinstandsanzeige, Temperaturanzeige und Warnleuchten für Probleme mit dem Öldruck. Dies sind Monitoring-Instrumente, die uns den Zustand unseres Fahrzeuges zeigen und vor der Katastrophe bewahren, an einem verregneten Sonntagmorgen mit leerem Tank stehen zu bleiben.“

Die Natur ist viel grösser und komplizierter als jede menschengemachte Maschine und die Konsequenz eines Systemabsturzes ist ein Desaster. Und trotzdem treffen wir die grossen Entscheidungen über das Management der Natur aufgrund wenig adäquater Indikatoren über den Zustand der Umwelt, Trends oder Reaktionen auf unsere Einflussnahme.

[...] Monitoring ist der Prozess, mit dem wir die Charakteristik der Umwelt im Auge behalten können.“

Martin W. Holdgate, im Vorwort zu „Monitoring Ecological Change“, SPELLENBERG [1991].

3.1 Wildlife-Management

Die Bandbreite dessen, was man unter Wildlife-Management verstehen kann, ist äusserst breit. Die vorliegende Arbeit hält sich an die Ausführungen und die Definition nach PEEK [1986, p. 3]:

„Wildlife-Management ist the art of making the land produce wildlife“

Diese Definition enthält im Wesentlichen die drei Konzepte *art*, *land* und *wildlife*. Über Sie soll im Folgenden kurz reflektiert werden.

- Die Verwendung des Begriffes *art* - Kunst - ist gerechtfertigt durch den Umstand, dass die Gesamtheit des Wildlife-Management nicht nur die naturwissenschaftlichen Grundlagen der Biologie oder der Ökologie der einzelnen Arten umfasst, sondern auch eine soziologische Dimension aufweist. Die Managements-Praxis beinhaltet das inhärente Element des Verständnisses und der Interaktion mit Menschen. Management erfordert weitsichtige und innovative Leute, welche die fundamentalen Probleme erkennen und fähig sind, Wege und Mittel zur Beschaffung von Informationen zu erkennen, die direkt zur Problemlösung beitragen. Die Kunst liegt somit v.a. in der Kommunikation mit den politischen Entscheidungsträgern und der Öffentlichkeit [PEEK 1986, p. 2].
- Das Konzept *land* - Land - beinhaltet Habitat. Die Behandlung der Tier- und

Pflanzenwelt ist unmöglich ohne das Konzept Habitat. Sowohl öffentliches als auch privates Land ist Gegenstand von intensivem Management, intensiver Nutzung und Veränderung. Somit muss jedes Wildlife-Management sich mit seinen spezifischen Zielen in einem Umfeld aus anderen Landnutzungsansprüchen behaupten [PEEK 1986, p. 2]. Wildlife-Management innerhalb einer Schutzzone oder eines Nationalparks bildet hier eine Ausnahme.

- Das letzte Konzept, *wildlife*, ist im Wandel. Im traditionellen Kontext, er leitet sich direkt aus dem Jagdwesen ab, beinhaltet *wildlife* ausschliesslich bejagte Arten. Das moderne Verständnis des Begriffes umfasst zusätzlich bedrohte Arten, die nicht von weidmännischem Interesse sind. In seiner allgemeinsten Form bezeichnet der Ausdruck nach dem *Endangered Species Act* von 1969 alle freilebenden Arten von den Wirbellosen zu den Wirbeltieren. Dies impliziert den Einbezug auch für den Menschen vordergründig unbedeutender Arten. Obwohl das Adjektiv wild im Begriff selbst enthalten ist, beschäftigt sich Wildlife-Management heute auch mit Populationen, die in irgendeiner Art bedrängt oder eingeschränkt sind. Die Beschreibung wild muss relativiert werden, insbesondere vor dem Hintergrund des beherrschenden Einflusses des Menschen auf seine Umwelt. Es kann aber ein Mass für den Erfolg eines Wildlife-Managements sein, wie sehr es gelingt, die wilden Dinge wild zu erhalten [PEEK 1986, p. 1].

Zusammengefasst beinhaltet der Begriff Wildlife-Management Forschung, ihre Anwendung und ihre Artikulation in der Öffentlichkeit [PEEK 1986, p. 3].

Umweltschutz und Wildlife-Management basieren auf einer Reihe von Disziplinen - Ökologie, Soziologie und Ökonomie - die äusserst komplex sind und in denen Prognosen meist sehr schwierig sind. Die Auswirkungen getroffener Massnahmen sind im Voraus oft unbekannt. Daraus folgt, dass die Wirkung der getroffenen Massnahmen einer Erfolgskontrolle unterworfen werden muss [MARTIN 1998].

Wildlife-Management wird oft konfrontiert mit einer Unmenge an „gemeinhin bekanntem Wissen“. Dieses Wissen hat mehr mit Tradition und Brauchtum zu tun als mit wissenschaftlich fundiertem Wissen und ist oft nicht verifizierbar. Fakten werden mit unbelegten Vermutungen vermischt - eine schlechte Basis für die Entwicklung nachhaltiger Managementstrategien [PEEK 1986]. Es ist verpflichtend für jedes Wildlife-Management, diesem Missstand durch die Etablierung einer einwandfreien Datenbasis zu begegnen.

3.2 Wildtier-Monitoring

3.2.1 Der Begriff *Monitoring*

Die Prozesse der Ökologie sind komplex und langatmig. Sie haben eine räumliche und eine zeitliche Dimension. Eine befriedigende Untersuchung langfristiger raumzeitlicher Prozesse erfordert ökologische Langzeitstudien und die daraus entstehenden Datenreihen. In der Analyse raumzeitlicher Phänomene wurde *Monitoring* daher zu

einem viel verwendeten Begriff. Von der Biologie über die Umwelt-Naturwissenschaften bis hin zu Fernerkundung und Geographischer Informationsverarbeitung steht Monitoring für ein breites Spektrum von Aktivitäten. HELLAWELL [1991, p. 1] gibt eine illustre Auflistung verschiedenster Aktivitäten, die zuweilen mit dem Begriff Monitoring beschrieben werden:

„Amongst these one may include, for example, attempts at describing prevailing environmental conditions; the occurrence, distribution and intensity of pollution; status of ecological communities or populations of species; or simply providing a watching brief on the countryside at large.“

Diese z.T. sehr gegensätzlichen Auffassungen von Monitoring zeigen auf, wie wichtig eine genaue Definition des Begriffes ist. Seit Ende der Siebziger Jahre hat sich eine hierarchische Reihe von Definitionen aus der englischen Sprache durchgesetzt [HELLAWELL 1991].

- **Survey (Aufnahme):** Ein Vorgang, bei dem eine Reihe von qualitativen und quantitativen Beobachtungen gemacht werden. Dies geschieht im Allgemeinen durch standardisierte Prozeduren und innerhalb eines strikten Zeitrahmens, immer aber ohne Vermutung, welche Resultate gefunden werden könnten. BREITENMOSER und BREITENMOSER-WÜRSTEN [1996] sprechen in diesem Zusammenhang auch von der Erfassung eines Zustandes (Status), gleichsam einem Inventar. SPELLENBERG [1991] verwendet gar den Begriff Zensus.
- **Surveillance (Überwachung):** Ein erweitertes Programm von Surveys, unternommen im Hinblick auf die Erstellung einer Zeitreihe. Eine Surveillance soll die Variabilität von Zuständen beschreiben und eine Spanne von Fakten aufzeichnen, die aussagekräftig sein könnten. Wieder aber ohne Vermutung in Bezug auf die Resultate. BREITENMOSER und BREITENMOSER-WÜRSTEN [1996] definieren Surveillance als eine Folge von Aufnahmen zum Festhalten eines dynamischen Prozesses oder der Schwankungen bzw. Variabilitäten eines Zustandes (z.B. Überwachung von Krankheiten). SPELLENBERG [1991] spricht von einem systematischen Messen einer Reihe von Variablen und Prozessen über die Zeit mit dem Ziel der Schaffung einer Daten-Zeitreihe.
- **Monitoring:** Periodisch stattfindende Surveillance (regelmässig oder unregelmässig) mit dem Ziel, den vorgefundenen Zustand auf Übereinstimmung mit einem im Voraus festgelegten Standard zu ermitteln, bzw. den Grad der Abweichung von der erwarteten Norm zu bestimmen. BREITENMOSER und BREITENMOSER-WÜRSTEN [1996] sprechen von einer fortgesetzten Überwachung zum Vergleichen eines Zustandes mit einer vorher definierten Norm oder eines zu erreichenden Zielwertes (z.B. Luftverschmutzung, Seuchenbekämpfung, Wiederansiedlung einer ausgestorbenen Art). SPELLENBERG [1991] erwähnt wiederum das systematische Messen vom Variablen und Prozessen über die Zeit, betont nun aber, dass es einen spezifischen Grund für die Datensammlung gibt, wie beispielsweise die Sicherstellung eines gesetzten Standards.

In der Vorformulierung eines Verdachtes oder einer Vermutung liegt die erste hauptsächliche Abgrenzung des Begriffes Monitoring gegenüber Survey und Surveillance. Diese These ist zu Beginn eines Monitorings u. U. sehr genau umschrieben. In diesen Fällen geht es darum, zu prüfen, ob und inwieweit die Realität von der Theorie abweicht. Die Vorstellung von den zu findenden Resultaten kann aber auch erst vage formuliert sein. Entscheidend ist, dass nicht ziellos Daten gesammelt werden. Monitoring ist in erster Linie ein Prozess, und nicht ein Resultat. Trotzdem erfordert Monitoring bereits in der Planungsphase einer Untersuchung im Vergleich mit dem Survey oder der Surveillance ein viel höheres Mass an Vorarbeit, denn die Norm oder der Standard müssen vor Beginn der Datenerhebung mindestens vage definiert werden. Diese Normen können vielerlei Gestalt haben: Von der Grösse einer Tierpopulation, über Habitatdiversität bis hin zum Vorkommen oder Fehlen gewisser Indikatorspezies [HELLAWELL 1991].

Der zweite grosse Unterschied zwischen Survey, bzw. Surveillance und Monitoring liegt darin, dass im Konzept des Monitorings ein korrigierendes Eingreifen vorgesehen ist, falls die gesetzten Vorgaben nicht erreicht werden [BREITENMOSER & BREITENMOSER-WÜRSTEN 1996]. Wer Monitoring betreibt muss auch bereit und fähig sein, lenkende Massnahmen zu ergreifen. Es macht wenig Sinn, viel Energie in das Monitoring eines Prozesses zu stecken, über den man keine Kontrolle hat [HELLAWELL 1991].

Den eben ausgeführten Definitionen folgend ist Monitoring nicht als Forschungsprozess zu betrachten. Denn Forschung wird unternommen mit dem Ziel, das Unbekannte und Unsichere zu ergründen. Wenn aber, wie für Monitoring gefordert, die Schlussfolgerung schon bekannt ist, braucht es gar keine Forschung mehr [HELLAWELL 1991].

Die vielfältigen Beweggründe ein Monitoring-Programm aufzuziehen, lassen sich nach HELLAWELL [1991, p. 3] in folgende drei Kategorien einteilen:

1. Bestimmung der Effektivität einer getroffenen Massnahme oder Bestimmung
2. Regulierende Massnahmen zur Aufrechterhaltung eines angestrebten Zustandes
3. Erkennung eines sich abzeichnenden Wandels, im Sinne eines Frühwarnsystems

Im Vorfeld jedes Monitoring-Projektes, in der eigentlichen Planungsphase, sollten die folgenden fünf Fragen genau geprüft und beantwortet werden [USHER 1991; BREITENMOSER & BREITENMOSER-WÜRSTEN 1996]. Die Liste ist hierarchisch aufgebaut, jede einzelne Frage kann erst nach Beantwortung der vorhergehenden angegangen werden.

- **Ziel:** Was ist das Ziel des Monitorings? Welche Frage soll beantwortet werden?
- **Methode:** Wie kann dieses Ziel erreicht werden? Mit welchen Methoden können die notwendigen Daten gewonnen werden?
- **Analyse:** Wie sollen die periodisch erhobenen Daten behandelt werden? Welche Analysen und statistischen Tests sind vorgesehen, Welcher Stichprobenumfang und welche Präzision der Informationen wird benötigt?
- **Interpretation:** Was wird die Bedeutung der Daten sein? Wird die Interpretation eine notwendige Entscheidung gestatten?
- **Erfüllung:** Wann wird die Zielsetzung des Monitoring-Programmes erfüllt sein?

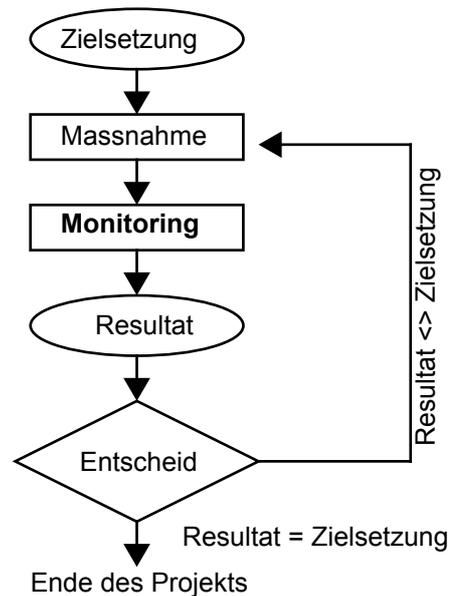


Abb. 3.1: Flussdiagramm Monitoring

Monitoring ist ein zielgerichteter Prozess mit einer Option auf ein Eingriffen ins System, sofern die Zielsetzung nicht erreicht wird. [Quelle: BREITENMOSER & BREITENMOSER-WÜRSTEN 1996, p. 3]

Im folgenden Kapitel werden die bis jetzt aufgeführten, allgemeinen Gesichtspunkte zu einem Monitoring für die Bereiche Ökologie und (Wild-)biologie untersucht. Welche Besonderheiten ergeben sich für eine ökologische Langzeitstudien, bzw. für ein biologisches Monitoring?

3.2.2 Ökologische Langzeitstudien und biologisches Monitoring

3.2.2.1 Begriffsdefinitionen

Viele Prozesse der Ökologie im Allgemeinen und der Wildtierbiologie im Speziellen sind nur mit langen Zeitreihen erfassbar. Verschmutzungen des Lebensraumes, Verminderung der Habitate und andere Störungen des Lebensraum können sich auf die Bestandeszahlen von Pflanzen- und Tierpopulationen auswirken. Diese Einflüsse können aber ohne breitabgestützte, langfristige Datengrundlagen nur schwer von natürlichen Schwankungen unterschieden werden und sind somit schwer untersuchbar [SPELLENBERG 1991].

Für ökologische Phänomene geben STRAYER et al. [1986] die vier charakteristischen Eigenschaften wie folgt an:

- **Langsame Prozesse:** ökologische Prozesse wie Waldsukzession oder die Lebenszyklen grosser Säugetiere haben eine Zeitskala, die weit über der gängigen Dauer von Forschungsprojekten liegt.
- **Seltene Ereignisse:** Störungen wie Brände oder Ausbrüche von Krankheiten und Seuchen treten selten und unregelmässig auf.

- subtile Prozesse: Sehr häufig sind die jährlichen Schwankungen ökologischer Prozesse weitaus grösser als der langjährige Trend.
- Komplexe Phänomene: Die Wirkungszusammenhänge der Natur sind vielfach vernetzt und bilden höchst komplexe Systeme.

Diese Eigenschaften illustrieren die Notwendigkeit von Untersuchungen über lange Zeiträume. PELTON und VAN MANEN [1996, p. 445] definieren eine ökologische Langzeitstudie (*long-term ecological study*) als:

„[...] eine kontinuierliche Untersuchung einer gegebenen Art, Gemeinschaft oder eines Ökosystems in einem bestimmten Gebiet.“

Ökologische Langzeitstudien liefern die notwendigen Datengrundlagen. Biologisches Monitoring ist eine verbreitete Arbeitsweise in ökologischen Langzeitstudien. Für den Begriff des biologischen Monitorings gibt es zwei verschiedene Deutungen, eine eng gefasste und eine weiter gefasste. Die Definition im engeren Sinne entstammt der zu Beginn der Achtzigerjahre einsetzenden Diskussion um die Umweltverschmutzung und beschreibt nach CAIRNS [1979] ein biologisches Monitoring als regelmässige, systematische Benützung von Organismen zur Bestimmung des Zustandes der Umwelt.

Verschiedene Autoren bevorzugen hingegen eine grosszügigere Fassung des Begriffes und beziehen auch die Untersuchung und Überwachung spezifisch biologischer Phänomene, wie z. B. Populationsentwicklung oder Biodiversität, in die Definition ein. Als Vertreter dieser Richtung sei SPELLENBERG [1991] angeführt. Er weist darauf hin, dass der Begriff biologisches Monitoring in einem weiter gefassten Sinne auch für ein Monitoring von Populationen und Lebensgemeinschaften steht, im Hinblick auf ein Verständnis langfristiger, ökologischer Prozesse. Der Begriff des biologischen Monitorings wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit im letztgenannten, weiteren Sinne verwendet.

Über den Wert ökologischer Langzeitstudien ist sich die Fachwelt einig. SPELLENBERG [1991] gibt eine Auflistung über den besonderen Nutzen langfristiger Untersuchungen speziell in Ökologie und Biologie:

- Biologisches Monitoring spielt eine wichtige Rolle in der Erhaltung bedrohter Arten, natürlicher Gemeinschaften und Landschaften.
- Das Monitoring biologischer Ressourcen bildet die Grundlage zur Modellierung von Strategien für nachhaltige Entwicklung.
- Biologisches Monitoring spielt eine grosse Rolle im Management von Pflanzen- und Tierpopulationen im Hinblick auf ihre langfristige Erhaltung. Monitoring liefert die Wissensbasis, auf der Entscheidungen über regulierende Massnahmen getroffen werden können.
- Letztlich schafft Monitoring auch Grundlagenwissen über die Dynamik von Ökosystemen.

Erstaunlicherweise liegen bis heute nur wenige, wirklich ökologische Langzeitstudien vor. Dementsprechend gibt es nur wenig Basiswissen über langfristige ökologische Phänomene. PELTON und VAN MANEN [1996] führen diese Lücken auf besonders hohe Kosten und beträchtlichen, logistischen Aufwand für Langzeitstudien zurück.

Das Wissensdefizit über langfristige, ökologische Prozesse in ungestörten Ökosystemen wiegt besonders schwer, werden diese doch herangezogen als Vergleichsbasis für die Abschätzung anthropogener Einflüsse [PELTON & VAN MANEN 1996].

Ökologische Langzeitstudien können hinsichtlich Grössendimension und Zeitdauer beträchtlich variieren. Die Spannweite der Untersuchungsobjekte erstreckt sich von ganzen Ökosystemen, über einzelne Populationen und Habitate bis hin zu zellphysiologischen Kennwerten auf Stufe Einzelorganismus.

Variablen
Lichenometrische Studien
Biomasse
Menge von totem organischem Material (Streu)
Artenlisten
Vorkommen oder Fehlen von Indikatorarten
Biodiversität
Räumliche Artenmuster
Geburten- und Sterbeziffern
Wachstumsraten
Grösse von Brutkolonien
Populationsdichte
Populationsstruktur (Alters- und Geschlechtsklassen)
Prozesse:
Produktivität
Streuakkumulation
Zersetzung
Kolonisation
Sukzession
räumliches Verhalten

Tab. 3.1: Variablen und Prozesse eines Monitoring
 In biologischem Monitoring und Surveillance betrachtete biologische Variablen und Prozesse. Die Fragestellungen der vorliegenden Arbeit entstammen v.a. dem unteren Bereich dieser Grössenskalen: Populationsdichte und -struktur, bzw. räumliches Verhalten. [Quelle: SPELLENBERG 1991, p. 10., verändert]

Die absolute Zeitdauer wird selten zu Beginn einer Untersuchung festgelegt. Oft erwächst eine ökologische Langzeitstudie aus einer auf kürzere Zeit konzipierten

Untersuchung. Der Zeitrahmen liegt aber meist über der Zuständigkeitsdauer einzelner Projektbetreuer [PELTON & VAN MANEN 1996].

Im Schweizerischen Nationalpark wurden bereits seit den Zwanziger Jahren Dauerbeobachtungsflächen angesetzt, die z. T. bis in die Gegenwart weiter betreut wurden [NIEVERGELT & SCHEURER 1986].

3.2.2.2 *Vorwissen, Methodik und Planung*

Den besonderen Eigenheiten des Untersuchungsgegenstandes gehorchend, stellt man an die Planung einer ökologischen Langzeitstudie, bzw. eines biologischen Monitorings folgende Anforderungen:

- **Untersuchungsgegenstand:** Der wohl wichtigste Schritt zu Beginn ist die Festlegung des Untersuchungsgegenstandes, denn von dieser Wahl hängen alle folgenden Entscheidungen ab. Es ist ein oft gehörter und nicht selten berechtigter Vorwurf an ökologische Langzeitstudien, nicht *frageorientiert* zu sein. Dagegen schützt sich, wer klar formulierte Hypothesen bildet und dann mit der Langzeitstudie testet [SPELLENBERG 1991].
- **Zeitrahmen:** Der zu wählende Zeitrahmen kann von folgenden Kriterien abhängen [PELTON & VAN MANEN 1996, p. 445]:
 - Charakteristik der betroffenen Art(en) (Lebensdauer, Seltenheit)
 - Ausmass des schon bekannten Wissens
 - Stabilität der abiotischen Umwelt
 - Ökosystemkomplexität
 - Ausmass der anthropogenen Störungen
- **Variablen:** Idealerweise werden die Variablen nur nach ökologischen Gesichtspunkten ausgewählt. In Realität spielen allerdings logistische Aspekte (Kosten, Zeit und Aufwand) eine ebenso grosse Rolle. Ein wichtiger Anspruch ist die Reliabilität (Zuverlässigkeit) der Variable. Des Weiteren soll sie stabil sein, d.h. über die gesamte Dauer der Untersuchung bestimmbar bleiben [PELTON & VAN MANEN 1996]. Je einfacher eine Variable, desto besser. Einfache, gut dokumentierbare Variablen sind viel wertvoller als schlecht erfassbare, komplexe Variablen [SPELLENBERG 1991]. Werden als Variablen das Vorkommen oder die Verbreitung einzelner Arten gewählt, sollten diese vom Datenerhebungs-Personal einfach, sicher und schnell taxonomiert werden können. Was nützt die schönste Indikatorart, wenn ihre Bestimmung nur im Labor möglich ist [SPELLENBERG 1991]?
- **Untersuchungsgebiet:** Das gewählte Untersuchungsgebiet sollte für die beabsichtigte Art des Monitorings geeignet sein. Dazu sollte es insbesondere repräsentativen Charakter für die Fragestellung haben, soweit dies im Voraus absehbar ist. Zur Gewährleistung der Kontinuität muss es zusätzlich *sicher* sein, d.h. es darf nicht grösseren abiotischen Einflüssen ausgesetzt sein (Lawinen, Steinschläge oder Überschwemmungen) [SPELLENBERG 1991]. Vom Menschen besonders ungestörte Örtlichkeiten finden sich insbesondere innerhalb Nationalparks und anderen gesetzlich ausgeschiedenen Schutzzonen.
- **Datenerhebungslogistik:** Ein Monitoring kann sich über eine lange Zeitperi-

ode erstrecken. Dabei kann es vorkommen, dass die verantwortlichen Betreuer mehrmals wechseln. Ausserdem werden v.a. bei grossangelegten Monitoringprogrammen viele Fachpersonen und ev. sogar Freiwillige für die Sammlung der Daten zuständig sein. Standardisierte Erhebungsmethoden und strikte Arbeitsanleitungen tragen wesentlich zum Erfolg eines Projektes bei [SPELLENBERG 1991].

- **Vorwissen** (*baseline data*): Die Planung einer ökologischen Langzeitstudie kann nicht ohne Vorwissen über den Untersuchungsgegenstand erfolgen. Dieses Wissen entstammt in der Regel aus zum Thema publizierter Literatur oder aus Feldvoruntersuchungen. In diesem Schritt gilt es, im Voraus in einem möglichst weit gefassten Rahmen Information über die Ökologie des Untersuchungsgebietes anzuhäufen. Oft müssen auch die Werte der zu untersuchenden Variablen zu Beginn einer Studie festgehalten werden, um die Wirkung einer getroffenen Massnahme überhaupt erkennen zu können [SPELLENBERG 1991].

3.2.2.3 *Auswertung und Interpretation*

Bereits zu Beginn der Untersuchung sollten die Analysemethoden festgelegt werden, die später zur Anwendung kommen. Wird dies vernachlässigt, kann es geschehen, dass mit viel Kosten und personellem Aufwand Daten erhoben werden, die schwierig zu analysieren sind. Zwar erwähnt SPELLENBERG [1991] nach der Datenerhebung auch die weiteren Schritte der Datenanalyse, Dateninterpretation und Datenpräsentation, nicht erwähnt wird aber der oft vernachlässigte Zwischenschritt der Datenaufbereitung der Rohdaten und der Datenintegration ins Analysemedium. Dieser Zwischenschritt bedeutet nach wie vor einen erheblichen Aufwand. Für die Analyse von raumzeitlichen Prozessen wird als Analysemedium immer häufiger das Instrument der Geographischen Informationsverarbeitung (GIV) gefordert. Die Weiterverarbeitung erhobener Felddaten stellt nun allerdings auch ihre Anforderungen an die Datenstruktur und somit rückwirkend an die Methodik und Planung der ökologischen Langzeitstudie, bzw. des biologischen Monitorings. Das anschliessende Kapitel 3.3 behandelt diesen Themenkreis.

3.2.2.4 *Fussangeln und Fallgruben*

Die komplexe Natur und der häufige Wechsel der Betreuung bieten eine grosse Anzahl von Fussangeln und Fallgruben für ökologische Langzeitstudien. Zusätzlich ist systematisches Monitoring ökologischer Prozesse ein relativ neues Element der Ökologie, daher fehlt eine breite Erfahrungsbasis. MARTIN [1998] stellt fest, dass Daten zu Biodiversität und Populationsentwicklung im Allgemeinen von geringer Qualität sind. Er spricht gar von weit verbreiteten, systematischen Fehlern bei der Datenerhebung und fordert daher strenge Standards [MARTIN 1998].

Verschiedene weitere Autoren diskutieren Fehlerquellen bei der Durchführung von ökologischen Langzeitstudien, insbesondere aber für Monitoring-Projekte. Hier eine Liste von verbreiteten Fussangeln und Fallgruben:

- Es kann vorkommen, dass erst nach Anlaufen des Projekts festgestellt wird, dass die gewählten Variablen gar nicht repräsentativ sind oder das Untersuchungsge-

biet ungeeignet ist für die Fragestellung [BREITENMOSER & BREITENMOSER-WÜRSTEN 1996].

- Des Weiteren kann die Zeitskala so gewählt werden, dass nicht langfristige Trends sondern kurzfristige Extremereignisse beobachtet werden [BREITENMOSER & BREITENMOSER-WÜRSTEN 1996].
- Die Erhebungsdaten gewisser Variablen fallen oft verschieden aus bei unterschiedlicher Witterung oder wechselnden Beobachtern [MARTIN 1998].
- Bei langfristigen Untersuchungen zeigt sich die Tendenz, dass immer neue Komponenten ans ursprünglichen Konzept angefügt werden, was letztlich zu Unübersichtlichkeit führt. Die Aufrechterhaltung der Datenkonsistenz und -kontinuität stellt eine besondere Herausforderung dar. Sie kann nur erreicht werden, wenn die ursprüngliche Aufgabenstellung nicht aus den Augen verloren wird. Sie ist aber unbedingte Voraussetzung für eine fundierte Analyse der Daten [PELTON & VAN MANEN 1996].
- Infolge ihrer langfristigen Ausrichtung können Monitoring-Programme äusserst kostspielig sein und leiden daher oft unter chronischer Unterfinanzierung [MARTIN 1998]. Oft ergeben sich zusätzliche Kommunikationsprobleme mit den Entscheidungsträgern. Es kann vorkommen, dass die Interpretation der Resultate von den politischen Entscheidungsträgern nur teilweise oder gar nicht unterstützt wird [PELTON & VAN MANEN 1996].

Aus diesen Ausführungen lassen sich für die Planung, die Umsetzung und die Auswertung ökologischer Langzeitstudien vier Eckpfeiler auflisten [SPELLENBERG 1991]:

- Präzise Festlegung des Untersuchungsobjektes
- Leitung durch wenige Projektverantwortliche
- Einfacher Projektaufbau
- Sicherstellung einer langfristigen Finanzierung

Wer sich an diese Merksätze hält, hat gute Chancen für ein Gelingen seiner ökologischen Langzeitstudie.

3.3 GIS in ökologischen Langzeitstudien

3.3.1 Zum Begriff GIS

Im althergebrachten Sinne steht das Kürzel *GIS* für *Geographische Informationssysteme* und meint ein computerbasiertes System zur Behandlung räumlicher Daten. GOODCHILD [1988] erläutert:

„The true potential value of Geographical Information Systems lies in their ability to analyse spatial data using the techniques of spatial analysis.“

Die vorliegende Arbeit stützt sich für die Definition eines Geographischen Informationssystems auf ARONOFF [1989]. Er betrachtet ein GIS primär als ein System für die Entscheidungsfindung in Management-Prozessen:

„A GIS is a computer-based system that provides the following four sets of capabilities to handle georeferenced data:

- 1. input;*
- 2. data management (data storage and retrieval);*
- 3. manipulation and analysis; and*
- 4. output. ”*

Zur Erfüllung dieser Funktionalität verfügt ein GIS gemäss DeMERS [1997] über folgende Subsysteme

1. Ein Dateninput-Subsystem, welches räumliche Daten aus diversen Quellen sammelt und vorverarbeitet. Dieses Subsystem ist somit auch verantwortlich für die Transformation und Gleichschaltung verschiedener räumlicher Datentypen.
2. Ein Datenverwaltungs-Subsystem, welches die räumlichen Daten organisiert und Abfrage, Aufdatierung und Editierung ermöglicht.
3. Ein Subsystem zur Datenmanipulation und -analyse, welches gewisse Funktionen über die Daten ausführen kann: Datenvereinigung, Schätzung von Parametern und Datenmodellierung [...].
4. Ein Ausgabe-Subsystem, welches Darstellungen als Tabellen, Graphiken oder Karten erlaubt.

Dateninput

Das Dateninput-Subsystem überführt die Daten aus ihrer ursprünglichen Form in eine GIS-kompatible Form. Räumliche Daten liegen im Allgemeinen als Karten (ev. mit Attributtabelle), Tabellen oder Bilddaten (Luft- bzw. Satellitendaten) vor. Die vorliegenden Daten werden digitalisiert, sie werden aus ihrer mehrheitlich analogen Form in ein vom Computer lesbares digitales Format überführt [DeMERS 1997]. Was hier sehr einfach klingt, die Datenintegration ins GIS, ist typischerweise die Knacknuss der Implementation eines GIS und wird bezüglich Kosten und Zeitaufwand gern massiv unterschätzt.

Datenmanagement

Es gibt viele Arten, wie räumliche Daten in vom Computer lesbaren Dateien organisiert werden können. Die verschiedenen Arten haben ihre Format-spezifischen Vor- und Nachteile im Bezug auf die Zugriffsgeschwindigkeit und den Zugang zu Analysefunktionen. Es gibt zwei grundsätzliche Modelle zur Repräsentation räumlicher Daten: Als Vektor- oder als Rasterdaten.

Im Vektormodell werden Objekte der realen Welt als Punkte und begrenzende Linien definiert, wie man sie auf einer Karte einzeichnen würde. Punkte, Linien und Polygone (ein Polygon ist eine Fläche, welche durch eine geschlossene Schleife von linearen Elementen umgrenzt wird) werden benützt zur Repräsentation unregelmässig verteilter Objekte. Die homogenen Einheiten von Vektordaten sind Punkte, Linien und Polygone [ARONOFF 1989]. Werden Vektordaten digitalisiert, so liegen sie vorerst nur als sogenannte Spaghetti-Daten vor. In einem ersten Vorverarbeitungsschritt müssen beschreibende Informationen über die Konnektivität und die relative, räumliche Beziehung der

Objekte bereitgestellt werden. Diese Informationen nennt man Topologie [DeMERS 1997]. Die Sachdaten der Objekte werden über thematische Attribute an die geometrische Repräsentation angehängt und in Tabellen verwaltet.

Beim Rastermodell wird der Objektraum in regelmässige, meist quadratische Rasterzellen aufgeteilt. Die geographische Lage eines Objektes ist nun gegeben durch die Zeile und Kolonne der Zelle, in der es liegt. Die Grösse der Zelle bestimmt die maximal mögliche räumliche Auflösung. Somit ist der Raum aufgeteilt in ein Menge von Rasterzellen mit u.U. verschiedenen Werten. Zellen mit gleichen Werten werden zu Zonen zusammengefasst. Ein Attributwert gilt für jede Lokalität innerhalb der Rasterzelle. Im Gegensatz zum Vektormodell korrespondieren die Einheiten des Rasters nicht mit den räumlichen Einheiten der realen Welt, die homogenen Einheiten sind hier nun die Rasterzellen [ARONOFF 1989].

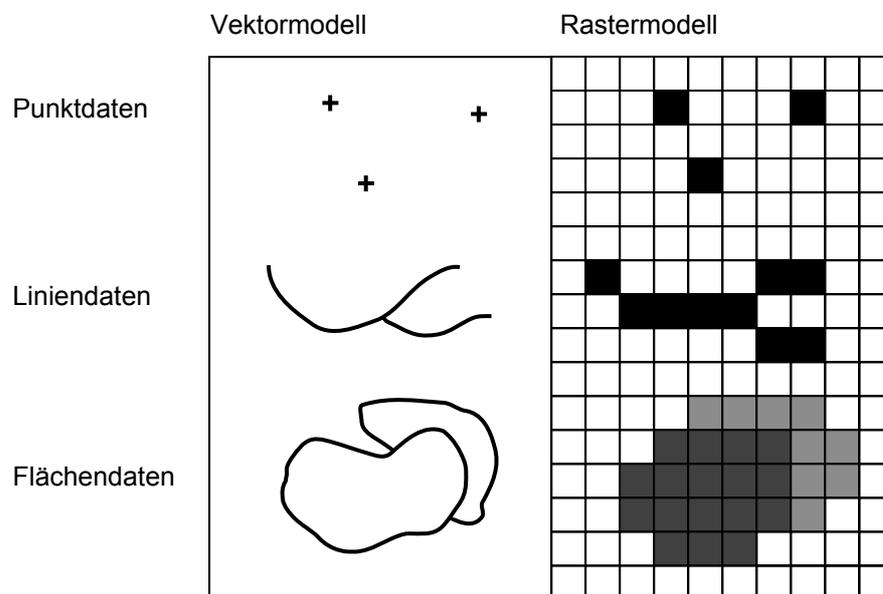


Abb. 3.2: Vektor- und Rasterdaten

Gegenüberstellung von Punkt-, Linien- und Flächenobjekten im Vektor-, bzw. Rastermodell. [Quelle: eigene Darstellung]

Datenmanipulation und -analyse

Die Funktionen der Datenmanipulation und -analyse erlauben nun die Ableitung neuer, auf den Ursprungsdaten beruhender Informationen. Dabei lassen sich vier Hauptgruppen der Analysefunktionen ausscheiden: Overlayfunktionen erlauben die Überlagerung und Verrechnung von Objekten und ihren Attributen aus mehreren Datenebenen. Durch Abfrage- und Auswahlfunktionen lassen sich Objekte nach logischen und/oder räumlichen Gesichtspunkten selektieren. Pufferfunktionen erlauben die Ausscheidung von Umgrenzungszonen um bestimmte Objekte. Hier ist die abstandsabhängige, abstossende Wirkung einer Strasse auf einen Wildwechsel als erläuterndes Beispiel zu erwähnen. Netzwerkfunktionen schliesslich dienen der Analyse strukturierter Netzwerke, beispielsweise Laufzeitberechnungen in einem Wildwechselnetzwerk

[FRAUENFELDER 1997, verändert].

Datenoutput

Die Ausgabe- und Dokumentationsfunktionen variieren je nach GIS in Qualität und Benutzerfreundlichkeit. Mögliche Ausgabemedien sind Karten, Tabellen, Graphiken oder Texte als *hard-copy* (Papier) oder als *soft-copy* (EDV-Dateien). Die schnelle und interaktive Ausgabe von Resultaten direkt am Bildschirm ist eine der grossen Stärken der Geographischen Informationsverarbeitung. Sie erlaubt die explorative Datenanalyse direkt am Bildschirm und bietet dadurch einen fruchtbaren Nährboden in der Projektarbeit beispielsweise für die politische Entscheidungsfindung.

In einem weiter gefassten Verständnis anerkennen verschiedene Autoren heute, dass in der Geoinformatik der wichtige Schritt vorwärts von der reinen Technologie zur eigentlichen Wissenschaft erfolgt ist und sprechen daher von GIS - *Geographic Information Science*. Man anerkennt somit den Nutzen, den eine Symbiose zwischen der anwendungsorientierten Technologie und einer tiefeschürfenden wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit den Grundlagen, also dem Raumbezug an sich, mit der Parametrisierbarkeit und mit den Analysemodellen bringt. Wie der Umgang mit dem analogen Informationssystem Karte zielt die Geoinformatik darauf ab, durch assoziatives Denken raumbezogene, strukturelle und darstellungsspezifische Merkmale zu interpretieren und miteinander in Beziehung zu setzen. Derartige Abläufe im menschlichen Denkprozess besser verstehen zu lernen und Modelle für die Entscheidungsfindung in Situationen mit raumbezogenem Charakter zu finden, das Speichern, Wiedererkennen und Weitervermitteln solcher Situationen in gewissem Umfang nachvollziehen zu können, das ist die eigentliche Herausforderung der GIS - *Geographic Information Science*, die damit den Rang einer vollwertigen und eigenständigen Wissenschaftsdisziplin belegt [BARTELME 1995].

Somit hat das Kürzel GIS heute eine hybride Bedeutungsbelegung und wird je nach Kontext zur Bezeichnung der Technologie oder der wissenschaftlichen Disziplin verwendet. Obwohl sich der Autor grundsätzlich der ganzheitlichen Betrachtungsweise als Wissenschaft - GIS - *Geographic Information Science* - verpflichtet fühlt, wird der Begriff in bestimmten Zusammenhängen auch in der Begriffsbelegung GIS - *Geographic Information System* verwendet werden.

3.3.2 GIS-gestütztes, projektorientiertes Arbeiten

Wie eben beschrieben, setzt der GIS-Arbeitsprozess gemäss Lehrbuch beim Dateninput ein. Im GIS-Anwendungsbereich, beim konkreten, projektorientierten Arbeiten, werden die Weichen für einen Erfolg oder Misserfolg jedoch bereits viel früher gestellt, in der Planungs- und Datenerhebungsphase. Hier entscheidet sich, ob die Datenstruktur für eine Weiterverarbeitung mit GIS geeignet ist, ob Metadaten über Genauigkeiten und Erhebungsumstände miterfasst werden.

In den meisten Fällen werden Rohdaten, da sie ja beispielsweise für die Biologie, die Ökologie oder das Ingenieurwesen erfasst werden, nach den Bräuchen und Traditionen der betroffenen Disziplinen erhoben. Es werden daher sehr unterschiedliche Ansprüche an die Rohdaten gestellt. Beispielsweise mag es einem Wildtierbiologen

genügen, den Standort eines beobachteten Huftieres auf 20 m genau oder gar mit der Angabe „oberes Drittel des Untersuchungsgebietes“ zu beschreiben - hingegen gibt es für einen Ingenieur wohl keine Realitäten jenseits des cm-Bereichs. Es ist eine natürliche Folge dieser Rahmenbedingungen, dass die Daten aus der integrativen Sicht der Geographischen Informationsverarbeitung sehr inhomogen erscheinen. Inhomogenitäten sind nicht zu vermeiden, es gilt mit ihnen umzugehen.

Eine weitere Realität ist der weit verbreitete Umstand, dass vielfach bereits bestehende Datensätze an die Geographische Informationsverarbeitung herangetragen werden. Sie wurden nicht unter der Perspektive der GIS-Weiterverarbeitung erhoben und entsprechen deren Anforderungen in der Regel nicht. In der vorliegenden Arbeit werden solche Daten fortan *historische Daten* genannt. An die Stelle von Datenerhebung und einfachem Dateninput tritt in diesem Fall ein meist mühsamer Vorverarbeitungsprozess, die Datenintegration ins GIS.

Datenintegration ist in fast jeder GIS-Anwendung ein Thema. Je ambitionierter eine Anwendung ist und je mehr Daten dabei involviert sind, desto wahrscheinlicher ist es, dass Datenintegration zu einem Problem wird [FLOWERDEW 1991]. Der Begriff Datenintegration hat in der Geographischen Informationsverarbeitung eine Reihe von Bedeutungen und wird für z. T. unterschiedliche Aspekte verwendet: Zusammenbringen von Daten verschiedener Quellen, Erarbeiten einer geometrischen Beschreibung der Erde innerhalb eines konsistenten topologischen Rahmens, Zusammenstellen von Werkzeugen für die Bearbeitung geographischer Informationen innerhalb eines Systems, Verbinden von räumlich verteilten Datenbanken, Konvertieren zwischen Raster- und Vektordaten und weitere Aufgaben [SHEPHERD 1991]. Die vorliegende Arbeit orientiert sich an der Definition von RHIND [1984, p. 275] und folgt damit dem Vorschlag von DANUSER [1996], der in seiner Diplomarbeit „Integration naturschutzrelevanter Daten ins Natur- und Landschaftsinventar Graubünden mit GIS“ den Begriff Datenintegration ausführlich thematisiert hat:

„Data integration is the process of making different data sets compatible with each other, so that they can reasonably be displayed on the same map and so that their relationships can sensibly be analysed [RHIND 1984].“

Somit kann die Geographische Informationsverarbeitung verschiedenste Informationen zusammenbringen und stellt die Funktionalität zur Verfügung, diese Informationen zu vereinigen. Daraus können neue Informationen abgeleitet werden, die sonst nicht zugänglich sind und die historische Informationen in einem neuen Kontext stellen [DANGERMOND 1989]. Die Datenintegration ist somit der Prozess, bei dem historische Datenfriedhöfe exhumiert werden.

Abschliessend gilt es nüchtern festzustellen, dass in vielen GIS-gestützten Projekten die Erstellung der Rohdaten und die Vorverarbeitung der Daten zur GIS-Kompatibilität oft den grössten Teil an zeitlichen Ressourcen beanspruchen. Oft bleibt die eigentliche Analysefähigkeit darob auf der Strecke.

3.3.3 GIS und Wildlife-Management

Immer öfter wird in die Analyse von Daten aus ökologischen Langzeitstudien auch die Geoinformatik integriert. Sowohl PELTON & VAN MANEN [1996] als auch SPEL-

LENBERG [1991] verweisen auf die grossen Vorteile von GIS im der Handhabung grosser raumzeitlicher Datensätze. Die Stärken von GIS liegen dabei insbesondere in der Datenverwaltung, und der Bereitstellung von Werkzeugen für effiziente räumliche Analyse und Interpretation.

Im Zusammenhang mit der Lancierung eines überregionalen Informationssystems zur Erhaltung der Biodiversität konstatierte DAVIS [1990] allerdings ein markantes Fehlen kohäsiver Grunddatensätze im Bereich des biologischen Monitoring. Die Ursache dafür ist schnell geklärt. Beobachtungsdaten wurden in der Vergangenheit meistens im Hinblick auf ein einziges, eingeschränktes Ziel gesammelt und organisiert. Eine weitere Verwendung dieser Daten kann später aufwendige Datenintegrations- und Formatierungsarbeiten erfordern. Im schlimmsten Fall müssen die Daten erneut erhoben werden. In den meisten Fällen wurden die Daten auch nicht unter der Perspektive einer GIS-Weiterverarbeitung erhoben, sie sind also nicht ohne weiteres GIS-kompatibel.

In Anlehnung an ESTES [1985] fordert DAVIS [1990] eine Erweiterung der Perspektive und eine Berücksichtigung des allumfassenden Datenflusses von der Datengewinnung über die -analyse bis hin zum -management.

Erstaunlicherweise steckt aber die konsequente Fortführung des GIS-Einbezuges, die konkrete Nutzung der GIS-Technologie in den Entscheidungsprozessen des Management, weitgehend noch in den Kinderschuhen [BASKERVILLE 1991]. Erst wenige wirklich relevante Entscheide im Bereich Wildlife-Management wurden aufgrund von GIS-Daten getroffen. Bis heute besteht die Tendenz, GIS „nur“ für Arbeiten zu gebrauchen, die man schon immer machte - lediglich schneller und eleganter. Was BASKERVILLE [1991] für sein Gebiet, das Waldmanagement feststellt, gilt auch für das Wildlife-Management:

„Die Einführung der Geographischen Informationsverarbeitung ist eine Erfahrung des Lernens und des Belehrenlassens für beide betroffenen Seiten, die GIS-Technokraten und die Entscheidungsträger, denen die Technologie als Entscheidungshilfe angeboten wird. [...] Der GIS-Praktiker muss sich über den Kontext der Entscheidungsfindung belehren lassen. [...] Der Entscheidungsträger sollte sich ein Bild machen von den Möglichkeiten und Einschränkungen der GIS-Technologie.

[...] Gefordert ist ein enger intellektueller Kontakt zwischen den Leuten mit der Technologie und den Leuten mit dem Problem. Entwicklungsarbeit ist nicht nur zur Verbesserung bestehender Verfahren nötig, sondern um neue, bisher unmögliche Dinge anzupacken.

GIS erlaubt nicht nur die Dinge schneller, besser und raffinierter zu tun - sondern auch anders.“

3.3.4 Verarbeitungsgegebene Anforderungen

In seinen Hinweisen über das Format und die Struktur eines biologischen Monitorings weist SPELLENBERG [1991] deutlich auf die Notwendigkeit hin, in jeder wissenschaftlichen Untersuchung bereits vor der Datenerhebung über die beabsichtigten Analysemethoden zu reflektieren. Damit wird der Gefahr begegnet, dass Daten in

einer Form aufgenommen werden, die für die Analysemethode nicht geeignet ist.

DAVIS [1990] bezeichnet die Erhebung von Daten über Verbreitung und Vorkommen als von fundamentaler Bedeutung für ökologische Studien. Dabei erwähnt er insbesondere die Erhebung geographischer Koordinaten in der Feldarbeit der Wildtierbiologie.

Die räumliche Lage einer Beobachtung auf der Erdoberfläche ist allerdings nur ein Teil der Daten, die erforderlich sind, um eine Beobachtung der GIV zuzuführen. Attribute, die die Beobachtung beschreiben, sind genau so wichtig [DAVIS 1996]. Attributdaten umfassen z. B. die Beschreibung des Alters, des Geschlechtes oder des Verhaltens eines beobachteten Tieres, je nach Fragestellung der Studie.

Um Dateninkonsistenzen vermeiden zu können, müssen weiter detaillierte Beschreibungen des Zustandekommens jedes Eintrags erstellt werden [PELTON & VAN MANEN 1996]. Diese Informationsdaten über die eigentlichen Daten nennt man **Metadaten**. Sie umfassen Informationen über die Erhebungsgenauigkeit, im Detail können das Messgenauigkeiten, Taxierungsunsicherheiten oder Auflösungsangaben sein.

Die Vor- und Aufbereitung von Felddaten für ein Geographisches Informationssystem unterliegt gewissen technischen Restriktionen. Solcherlei Anforderungen sollten bei der Planung der Datenerhebung bereits zur Sprache kommen.

Die Geographische Informationsverarbeitung stellt bestimmte Anforderungen an die Datenstruktur und die Datenerhebungsmethodik einer ökologischen Langzeitstudie, bzw. eines biologischen Monitoring. Die folgende Liste gibt einen Überblick über in der Praxis zu berücksichtigende Punkte. Sie wurde im Rahmen der Interessengemeinschaft „zooloGISch“ erarbeitet.

- Hohe positionale Genauigkeit der Aufnahmekoordinaten ist gerundeten Koordinaten oder gar generalisierten Quadratrasterangaben vorzuziehen. Eine Generalisierung kann auch bei der Verarbeitung noch erfolgen, dann ist der Informationsverlust allerdings quantifizierbar und daher kontrollierbar.
- Es ist darauf zu achten, dass die Kartengrundlage, auf die die Beobachtungen eingetragen werden, die Feldarbeit verzugsfrei und ungefalted übersteht. Verzerrungen der Kartengrundlage ergeben sich einerseits bei der Herstellung durch Reproduktions-Verzug (Fotokopierer) oder aber bei der Feldarbeit selbst durch Nässe oder Faltung der Aufnahmeunterlagen. Verzerrungen können zu beträchtlichen Fehlern beim Digitalisieren führen.
- Beschreibende Aufnahmen (wie „etwas sumpfig“, „eher trocken“) sind zu vermeiden oder vor Beginn der Felderhebung für alle Datenerheber verbindlich zu standardisieren. Numerische Klassifikationen bieten hier eine Alternative (1 = „etwas sumpfig“, 2 = „eher trocken“).
- Für die Attributierung ist eine eindeutige Verknüpfung von Punktdaten mit Attributdaten erforderlich. Mehrfachbelegungen von Nummern oder diskontinuierliche Nummerierungen führen zu erheblichen Problemen bei der Datenaufbereitung.
- Bei der Datenerhebung ist auf die genaue Dokumentation der Aufnahmebedingungen zu achten. Die Miterhebung von Metadaten ermöglicht eine anschlies-

sende Qualitätssicherung der Daten.

Diese Erkenntnisse sind nicht neu. Mittlerweile wird allerdings vermehrt versucht, diese wichtigen Einsichten an die Betroffenen, an den Feldforscher, bzw. an die Feldforscherin zu bringen. Ein Beispiel dazu liefert BACHMANN [1998] mit einer auf dem Internet zugänglichen kurzen Wegleitung „Vorgehen zum Erheben von GIS-kompatiblen Daten“.

3.3.5 Repräsentation von Beobachtungsdaten im GIS

Nach AUGUST [1996] sind Daten, die zur Erhebung der Biodiversität erhoben werden, fast ausschliesslich räumliche Daten. Am weitaus häufigsten wird GIS im Bereich Wildlife-Management für die räumliche Erfassung von Habitaten von Wildtieren (habitat mapping) verwendet [RODCAY 1991]. Daher scheint es naheliegend, die Möglichkeiten der Repräsentation von Wildtieren in der GIV anhand dieses Beispiels zu untersuchen.

Räumliche Daten können repräsentiert werden als Punkte, Linien oder Flächen. In diese drei Kategorien zerfallen auch die gebräuchlichen Repräsentationsarten, die DAVIS [1990] für Vorkommen und Verbreitungsgebiet von Wildtieren angibt.

1. Die einfachste Technik ist das simple Plotten der Beobachtungspunkte auf eine Basiskarte, ohne Schlussfolgerung auf eine unterschiedliche Beanspruchung der involvierten Teilgebiete. Das Hauptproblem dieser Methode liegt in der Schwierigkeit der genauen Angabe eines Beobachtungspunktes. Oft wird auch anstelle von fehlenden, effektiven Beobachtungs koordinaten die Lage eines bekannten Referenzpunktes oder -raumes verwendet (z.B. eine Wegkreuzung, eine Berg hütte oder eine Flurbezeichnung). Ein schwierigeres Problem stellt die Häufung von Beobachtungen in einfach zugänglichen und einsehbaren Teilgebieten des Untersuchungsgebietes dar. So liegt eine Häufung von Beobachtungen entlang eines Weges wohl kaum an einer räumlichen Vorliebe des Untersuchungsobjektes sondern an der Aufnahmetechnik [DAVIS 1990].
2. Eine verbreitete Repräsentationsart ist die Darstellung von Choroplethenkarten. Dabei werden Flächen mit oder ohne Beobachtungen, bzw. Gebiete gleicher Anzahl von Beobachtungen ausgeschieden. Die Ausscheidung der Regionen basiert dabei auf Raster- oder Vektordaten, beispielsweise auf künstlich gezogenen Grenzen die etwa der Reliefkompartmentierung oder aber politischen Grenzen [DAVIS 1990].
3. Weiter bietet sich die Verwendung eines künstlichen Rasters bzw. Netzgitters an [DAVIS 1990]. Hier wird lediglich ausgezählt, wieviele Individuen sich in einer Rasterzelle befinden. Diese Variante findet man insbesondere in der Wildtierbiologie immer wieder. Als Grundlage werden Landeskartenausschnitte, Luftbilder und häufig Panoramafotographien der Untersuchungsgebiete verwendet.

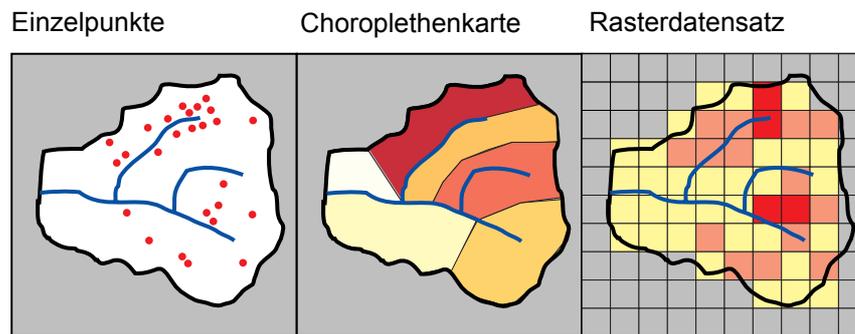


Abb. 3.3: Repräsentation von wildtierbiologischen Beobachtungsdaten
 Als Repräsentationsarten kommen das Aufplotten von einzelnen Beobachtungspunkten, die Generalisierung zu einer Choroplethenkarte oder aber die Auflösung der Information in einen Rasterdatensatz zum Einsatz. [Quelle: eigene Darstellung]

Die Ansätze 2. und 3. generalisieren die Daten in erheblichem Masse. Der Verlust an positionalen Genauigkeit in Bezug zu den Originaldaten geht mit dem Generalisierungsprozess einher. Derart generalisierte Daten haben je nach Zusammenhang wenig bis gar keinen ökologischen Wert mehr [DAVIS 1990].

Eine wesentlich komplexere Analyse der Raumnutzung durch Wildtiere stellt die Berechnung von Homeranges dar. Dabei werden die einzelnen Beobachtungspunkte in einer thematischen Karte von einem Polygon umschlossen, welches das Untersuchungsgebiet in *homerange* oder *nicht-homerange* aufteilt. Diese Grenze ist zwar den Daten inhärent, muss aber analytisch hergeleitet werden [HALLER 1996].

Durch die Verknüpfung mit zusätzlicher, an den Raum gebundener Information können nun mittels GIV Habitat- und Präferenzanalysen durchgeführt werden [HALLER 1996].

Kapitel 4

Huftiermonitoring im Schweizerischen Nationalpark

4.1 Huftiere - ein Schwerpunktthema im Schweizerischen Nationalpark

4.1.1 Huftiere im Schweizerischen Nationalpark

Die vier Huftierarten im Schweizerischen Nationalpark sind die Gemse (*Rupicapra rupicapra* L.), der Steinbock (*Capra ibex* L.), der Rothirsch (*Cervus elaphus* L.) und das Reh (*Capreolus capreolus* L.).

Taxonomisch beinhaltet der Überbegriff *Huftiere* (Ungulata) die Ordnungen Unpaarhufer (Perissodactyla) und Paarhufer (Artiodactyla). Alle vier im Nationalpark lebenden Arten sind Paarhufer und gehören dabei zur Unterordnung der Wiederkäuer (Ruminantia). Die Gemse und der Steinbock entstammen der Familie der Rinderartigen (Bovidae), der Rothirsch und das Reh gehören zur Familie der Hirschartigen (Cervidae) [ZISWILER 1993].

4.1.1.1 Gemse (*Rupicapra rupicapra* L.)

Die Gemse bildet im Schweizerischen Nationalpark eine seit der Parkgründung vom Menschen vermutlich nur wenig beeinflusste Population [NIEVERGELT 1996]. Die Gemsepopulation des Schweizerischen Nationalparks entwickelte sich seit der Parkgründung trotz des Fehlens grosser Raubsäuger mit erstaunlicher Konstanz. Die Bestandeszahlen der Gemse, der einzigen zur Gründerzeit im Park beheimateten Huftierart, schwankte trotz stets sich verändernden Rahmenbedingungen (Jagdverbot, Einwanderung des Rothirsches, Wiederansiedlung des Steinbockes) immer zwischen 1'000 und 1'500 Individuen. Teilpopulationen zeigten dabei unterschiedliche Entwicklungen [FILLI 1994].

In jüngster Zeit zeigt der Gembestand des Schweizerischen Nationalparks ansteigende Tendenz. Verringerte Konkurrenz vonseiten des Rothirsches seit dessen wirksamer Bestandesregulierung über die Sonderjagd¹ könnte neben den seit mehreren Jahren günstigen Winterbedingungen ein Hauptgrund für die jetzt beobachtete Hausse der Gemsepopulation sein [Geschäftsbericht des Schweizerischen Nationalparks 1997].

1. vgl. Glossar

Gebiet	Böcke	Geissen	Kitze	Total
Mingèr-Foraz	57	83	44	184
Fuorn, inkl. Schera	152	212	93	457
Spöl-En	197	408	196	801
Trupchun	53	63	20	136
Zähltotal	459	766	353	1578
Dunkelziffer 10%	46	77	35	158
Schätzttotal	505	843	388	1736
Vergleich Vorjahr in %	114	100	95	102
Zu-/Abnahme in %	14	0	-5	2

Tab. 4.1: Gemsbestand des Schweizerischen Nationalparks 1997
Quelle: Geschäftsbericht des Schweizerischen Nationalparks 1997

4.1.1.2 Steinbock (*Capra ibex L.*)

Der Steinbock wurde zwischen 1800 und 1850 in der Schweiz ausgerottet, im Kanton Graubünden bereits um 1650. Zur Wiederansiedlung wurde mit illegal beschafften Tieren aus der letzten Alpenkolonie im Gran Paradiso-Massiv (Aostatal, Italien) im Wildpark Peter und Paul (St. Gallen) 1906 eine Zucht aufgebaut. 1920 konnten im Nationalpark die ersten gezüchteten Tiere ausgesetzt werden [HINDENLANG & NIEVERGELT 1995].

Die Steinbockkolonie Albris/SNP, die zwischen 1920 und 1934 durch Zuwanderung aus dem Schweizerischen Nationalpark und die Aussetzung von 46 Steinböcken begründet wurde, wies zu Beginn der Neunziger Jahre einen gezählten Bestand von rund 1'600 Tieren auf. Nebst dem Schweizerischen Nationalpark, der nur einen kleinen Flächenanteil des potentiellen Lebensraums der Kolonie darstellt, beansprucht die Kolonie weitere Lebensräume in der Schweiz und in Italien [BUCHLI, ABDERHALDEN & FEUERSTEIN 1993].

Der heutige Bestand der Steinböcke im Schweizerischen Nationalpark ist stabil, doch hat sich die soziale Struktur in jüngster Zeit verändert. Der relative Anteil der adulten Tiere hat zugenommen. Insbesondere in der Val Trupchun, dem Hauptverbreitungsgebiet des Steinbockes im Schweizerischen Nationalpark, leben gegenwärtig relativ viele alte Böcke. Je nach Verlauf der kommenden Winter, wird sich der Altersaufbau des männlichen Populationsteils mehr oder weniger stark verändern [Geschäftsbericht des Schweizerischen Nationalparks 1997].

Gebiet	Böcke	Geissen	Kitze	Total
Mingèr-Foraz	1	-	-	1
Fuorn, inkl. Schera	12	18	2	32
Spöl-En	26	36	8	70
Trupchun	117	181	10	308
Zähltotal	156	235	20	441
Dunkelziffer 10%	16	24	2	41
Schätzttotal	172	259	22	452
Vergleich Vorjahr in %	135	109	22	97
Zu-/Abnahme in %	35	9	-78	-3

Tab. 4.2: Steinbockbestand des Schweizerischen Nationalparks 1997
Quelle: Geschäftsbericht des Schweizerischen Nationalparks 1997

4.1.1.3 Rothirsch (*Cervus elaphus* L.)

Zur Zeit der Gründung des Schweizerischen Nationalparks am Anfang des Jahrhunderts gab es praktisch keine Hirsche mehr im Schweizerischen Nationalpark. Ums Jahr 1917 wanderten allerdings wieder die ersten Rothirsche aus tieferen Lagen in den Schweizerischen Nationalpark ein. Von den Fünfziger Jahren an sorgten die Rothirsche durch heftige Wintersterben und Schäden am Wald in den Wintereinständen für Aufregung und lösten rege Forschungstätigkeiten aus [FILLI 1997a]. Anhand ausgedehnter Studien an markierten Rothirschen konnten in der Folge die grossräumigen Wanderungen zwischen Winter- und Sommereinständen nachgewiesen werden [SCHLOETH 1961].

Seit den Fünfziger Jahren hat die Zahl der Rothirsche, die den Sommer im Park verbringen, stark zugenommen. Seit 1970 halten sich im Juli und August zwischen 1'500 und 2'200 Hirsche im Park auf [KRÜSI 1996]. In jüngster Zeit ist der Hirschbestand im Nationalpark stabil, nach einem leicht negativen Trend Mitte der Neunziger Jahre, welcher auf die Sonderjagden zurückzuführen ist [ROBIN & FILLI 1995].

Gebiet	Stiere	Kühe	Kälber	Total
Mingèr-Foraz	139	156	69	364
Fuorn, inkl. Schera	218	196	84	498
Spöl-En	110	127	50	287
Trupchun	175	148	84	407
Zähltotal	642	627	287	1556
Dunkelziffer 20%	128	125	57	311
Schätzttotal	770	752	344	1867
Vergleich Vorjahr in %	99	105	101	101
Zu-/Abnahme	-1	5	1	1

Tab. 4.3: Rothirschbestand des Schweizerischen Nationalparks 1997
Geschäftsbericht des Schweizerischen Nationalparks 1997

4.1.1.4 *Reh (Capreolus capreolus L.)*

Für das besonders schwierig zu erfassende Reh, die mit Abstand seltenste Schalenwildart² im Park, gibt es keine verlässlichen Bestandesaufnahmen [Geschäftsbericht des Schweizerischen Nationalparks 1997].

4.1.2 Huftierforschung im Schweizerischen Nationalpark

Die Bereiche *Tourismus und Regionalwirtschaft*, *Huftiere* sowie *Information / Geographisches Informationssystem* bilden die drei prioritären Forschungsschwerpunkte des Schweizerischen Nationalparks [Geschäftsbericht des Schweizerischen Nationalparks 1997].

Seit der Gründung des Schweizerischen Nationalparks gilt den Huftieren ein wichtiges Augenmerk. Botanische Untersuchungen zur Entwicklung hochalpiner Ökosysteme unter Einfluss grosser Herbivoren haben im Nationalpark eine lange Tradition. Bereits 1917 richtete J. Braun-Blanquet eine Serie von botanischen Dauerbeobachtungsflächen ein. Diese Arbeiten wurden unter wechselnder Betreuung bis in die Gegenwart fortgesetzt. Die Wirkungen des Huftiereinflusses werden seit 1987 anhand eingezäunter Vergleichsflächen untersucht. Das 1992 begonnenen Projekt UWIWA (Untersuchung von Wildtierschäden am Wald) soll ein Aufnahmekonzept zu einer möglichst objektiven Erfassung der Wildtierschäden im Gebirgswald und in der Umgebung des Schweizerischen Nationalparks liefern [FILLI & SCHEURER 1996; ABDERHALDEN & BUCHLI 1998b].

Der Bestand und später auch die Verteilung der Huftiere wurde seit den Gründertagen des Parkes regelmässig erfasst. Vertiefende Forschungsprojekte wurden indes nur aus aktuellen Anlässen initiiert. Ein grosses Wintersterben der Hirsche in den Fünfziger

2. vgl. Glossar

Jahren, Wildtierschäden am Wald ausserhalb des Parkes in den Siebziger Jahren oder aber fehlendes Grundlagenwissen im Bereich Wildlife-Management zu Beginn der Neunziger lösten derartige Forschungsaktivitäten aus [FILLI 1997c].

In neuerer Zeit liegt das Hauptinteresse bei dynamischen Prozessen in Raum und Zeit und bei der Koordination bestehender Arbeiten. Die aktuelle Huftierforschung will die Entwicklung der Bestände und deren Interaktionen mit ihrem Lebensraum unter Ausschluss menschlicher Einwirkungen untersuchen [FILLI 1997c]. Bestandentwicklungen und -zusammensetzungen, sowie Kondition und Verhalten der im Nationalpark verbreiteten Huftiere, werden als zentrale Grössen für das regionale Huftiermanagement betrachtet [NIEVERGELT 1996].

Die Klausurtagung der Wissenschaftlichen Nationalparkkommission (WNPK) 1995 zum Thema „Langzeitbeobachtungen und Huftierdynamik“ hielt folgendes fest [FILLI & SCHEURER 1996]:

„Der Einfluss von Huftieren auf alpine Ökosysteme ist im Schweizerischen Nationalpark seit den 1950er Jahren eine zentrale Frage. [...] Der Einfluss hoher Huftierdichten spielt auch im Forschungskonzept WNPK (1989) eine zentrale Rolle.

Seit neuerer Zeit liegen Konzepte für die dynamische Betrachtung der Wälder vor. Darin wird der Einfluss der Huftiere auf den Wald als natürlich erachtet [SCHERZINGER, 1991]. Das Bild eines lückenlosen Waldes als natürliche Waldform wird mittlerweile von verschiedener Seite in Frage gestellt [GEISER, 1992] und diskutiert [ZOLLER & HAAS 1995] [KÜTTEL 1994].

[...] Vor diesem Hintergrund war die Klausurtagung 1995 darauf ausgelegt, Fragen der Langzeitbeobachtung im Zusammenhang mit der Huftierdynamik (wie zum Beispiel: Über- und Unternutzung oder saisonale Schwankungen) zu erörtern. Im Mittelpunkt stand die Frage:

Welche Prozesse und Naturwerte sind besonders durch die Huftierdynamik beeinflusst und wie sollen derartige Veränderungen langfristig erfasst werden?“

Insbesondere der zweite Teilsatz fordert methodische Untersuchungen zur Erfassung der Huftierdynamik. Die vorliegende Arbeit will einen Beitrag zu dieser Frage leisten.

In jüngster Zeit flammte die Diskussion um die (zu) hohen Huftierdichten im Schweizerischen Nationalpark erneut auf, insbesondere als Reaktion auf die Arbeiten von KRÜSI et al. [1995].

4.2 Projekte des Huftiermonitorings im Schweizerischen Nationalpark

4.2.1 Notwendigkeit eines Huftiermonitorings

Die Populationsökologie und die Raum-Zeit-Analyse des Verhaltens der Huftiere werden als Kerngrössen für das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen den Herbivoren und der Vegetation angesehen [FILLI & SCHEURER 1995].

Bereits das Forschungskonzept der WNPK aus dem Jahre 1989 legte den Grundstein

für wildtierökologische Langzeitstudien im Nationalpark. Darin wurde als Grundsatz-erklärung für die wissenschaftliche Arbeit im Nationalpark folgendes Ziel formuliert [NIEVERGELT 1996]:

„Das Verfolgen und Analysieren der langfristigen Entwicklung bzw. der natürlichen Regeneration von Landschaften und Lebensgemeinschaften im Nationalpark als einem einst intensiv genutzten, seit der Gründung aber möglichst wenig vom Menschen beeinflussten Raum.“

Ende der Achtziger Jahre wurde allerdings erkannt, dass für ein langfristiges Huftier-Management aktuelle Basisdaten und somit die Entscheidungsgrundlagen fehlten. Durch intensive Bestrebungen aller Beteiligten, insbesondere seitens der Parkdirektion, wurde seither die Management-orientierte Forschung forciert [NIEVERGELT 1996].

Die Klausurtagung der WNPK 1995 hielt deutlich fest [FILLI & SCHEURER 1995]:

„Es fehlt insbesondere an einem langfristigen Schalenwild-Monitoring, welches die Basis für alle Studien bildet, die mit Huftiereinflüssen zu tun haben.“

[...] Die Nationalparkdirektion hat sich dazu entschlossen hier einen Schwerpunkt zu setzen und zusammen mit den Mitarbeitern für eine langfristige Kontinuität bei der Überwachung der Huftierbestände und ihres Verteilungsmusters zu sorgen. Dabei sollen alle vier Huftierarten berücksichtigt werden, wobei die drei im Schweizerischen Nationalpark am meisten verbreiteten Arten Gemse, Rothirsch und Steinbock im Vordergrund stehen.“

4.2.2 Einzelprojekte

Unter dem Überbegriff *Huftiermonitoring* wurden mehrere konkrete Projekte neu angesetzt und mit bestehenden koordiniert. Die Einzelprojekte stammen aus den Bereichen Bestandserhebungen, Projekte auf Artebene und interdisziplinäre Grundlagen und Infrastruktur [FILLI 1997b].

Das Huftiermonitoring des Schweizerischen Nationalparks erstreckt sich über mehrere Grössenskalen. Den Bestandserhebungen, die im gesamten Parkgebiet durchgeführt werden, stehen tieferegreifende Untersuchungen in den Teilgebieten Il Fuorn und Val Trupchun gegenüber. Zu bestimmten Fragestellungen werden zusätzliche Diplomarbeiten und Dissertationen durchgeführt [FILLI 1997b]. Auch die vorliegende Arbeit kann in diesen Kontext eingeordnet werden.

4.2.2.1 Bestandserhebungen

Seit der Gründung des Nationalparks wurden die Huftierbestände in den Sommermonaten regelmässig gebietsweise nach Art und Geschlecht erfasst. Hierbei handelt es sich um flächendeckende Direktzählungen in den vier Teilgebieten Mingèr-Foraz, Fuorn (inkl. Schera), Spöl-En und Trupchun ohne genaue räumliche Bestimmung von Einzelbeobachtungen, also um eine Bestandeszählung. Unter Berücksichtigung der geschätzten Dunkelziffer resultiert das Schätztotal, das eine realistische Grösse der

vorhandenen Bestände ergibt (vgl. Kapitel 4.1.1 - Huftiere im Schweizerischen Nationalpark).

Demgegenüber stehen viele vereinzelte Arbeiten zur räumlichen Verteilung der Huftiere in abgegrenzten, voneinander losgelösten Untersuchungsgebieten [NIEVERGELT 1965; STAUFFER 1988; BOLLMANN 1989; FILLI 1990; HINDENLANG & WIRZ 1992; u.a.]. Diese Arbeiten wurden sporadisch nachgeführt.

Im Jahre 1997 begann die systematische, vierteljährliche Aufnahme der räumlichen Verteilung der Huftierbestände in den Untersuchungsgebieten Il Fuorn und Trupchun [FILLI 1997b]. Diese Aufnahmen finden jeweils in einem strikte vorgegebenen Zeitfenster statt, um eine langfristige Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Zeitfenster
Winter: 1. - 15. Januar
Frühling: 1. - 15. Mai
Sommer: 1. - 15. August
Herbst: 1. - 15. November

Tab. 4.4: Zeitfenster zur Aufnahme der räumlichen Verteilung der Huftiere
Quelle: FILLI [1997c]

Die Erhebungen werden in der Regel von Parkmitarbeitern durchgeführt. Die erhobenen Daten werden dem GIS-SNP zugeführt.

4.2.2.2 *Projekte auf Artebene*

Auf Artebene wurden seit Beginn der Neunziger Jahre drei Projekte angesetzt: das Steinbockprojekt ALBRIS/SNP, das Gemsprojekt SNP und das Rothirschprojekt SNP. Die grundsätzlichen Konzepte sind bei allen drei Projekten ähnlich gelagert, was eine Koordination der Einzelprojekte erleichtert. Die Projektleitung ist für die wissenschaftliche und methodische Betreuung zuständig, die Feldarbeit wird mehrheitlich von Parkwächtern, Praktikanten und Diplomanden, bzw. Doktoranden bewältigt. Die Projekte wurden auf eine Minimaldauer von jeweils fünf Jahren angesetzt, mit der Option, auf ein Dauerprojekt ausgeweitet zu werden [FILLI 1997c].

Steinbockprojekt ALBRIS/SNP

Unter der Leitung der begleitenden *Arbeitsgruppe Steinbock* (AGS) erhielt die Projektleitung von Bund, Kanton Graubünden und Schweizerischem Nationalpark den Auftrag, die für die Regulation des Bestandes der Steinbockkolonie ALBRIS/SNP notwendigen Grundlagen zu beschaffen, namentlich Angaben zur Bestandesgrösse, Alters- und Geschlechtsstruktur, Populationsdynamik, Verteilungsmuster, Wanderverhalten sowie Schadensgebiete und Schadensart [BUCHLI & ABDERHALDEN 1998a, p. 106].

Das Steinbockprojekt ALBRIS/SNP besitzt in mancherlei Hinsicht Pioniercharakter für wildtierökologische Langzeituntersuchungen in den Schweizer Alpen. Als Vorreiter

in der Reihe von ähnlich ausgelegten Huftier-Forschungsprojekten auf Artebene lieferte das Steinbockprojekt ALBRIS/SNP Basiswissen für moderne Regulationsansätze in der Region. Die Ergebnisse geben über die geschichtliche Bestandesentwicklung, den Einfang, Immobilisation und Markierung von Steinböcken, über Bestandesgrößen, -struktur und Populationsdynamik sowie über die Raum-Zeit-Verteilung des Bestandes Auskunft [BUCHLI, ABDERHALDEN & FEUERSTEIN 1998, p. 57].

Im Laufe des Projekts konnten viele Tiere eingefangen und markiert werden. Markiert wurde mittels Halsbandsendern sowie Ohr- und Hornmarken, was die intensive Verfolgung einzelner Individuen und die Ansprache auf weite Distanzen mit dem Fernrohr ermöglichte. Durch die Zusammenarbeit von Parkwächtern, Studenten, Wildhut und Projektleitung konnten unzählige Beobachtungen gemacht werden [BUCHLI, ABDERHALDEN & FEUERSTEIN 1998, p. 57]. 1996 wurde dieses Projekt abgeschlossen. Die Beobachtungen der markierten Tiere wird auf extensivem Niveau fortgesetzt. Weiterführende wissenschaftliche Fragestellungen v. a. zur Habitatsnutzung sind in Bearbeitung.

Der Referenzdatensatz ist bei der Projektleitung. Das GIS-SNP unterstützt die Projektleitung in der detaillierteren Auswertung der räumlichen Beobachtungsdaten.

Gemsprojekt SNP

Das 1995 gestartete Projekt Gemse SNP hat zum Ziel, an zwei unbejagten Gemsepopulationen mit unterschiedlichem Populationsdruck das Verhalten in Raum und Zeit sowie die Bestandes-Regulationsmechanismen zu untersuchen und zu vergleichen. Als Untersuchungsobjekte wurden die Zählgebiete Il Fuorn (Gemse und Rothirsch) und Trupchun (Gemse, Rothirsch und Steinbock) ausgewählt. Die Auswertung bereits bestehender Zähl- und Beobachtungsdaten legte die Vermutung nahe, dass insbesondere im Gebiet Trupchun der Gemsebestand durch zwischenartliche Konkurrenz reguliert wird [FILLI 1994]. Die Fragestellungen lauten im Detail:

- Regulieren sich die Gemsebestände durch erhöhte Mortalitäten oder durch Abwanderung, und welche Tiere sind davon betroffen?
- Welche äusseren Faktoren beeinflussen diese Regulationsmechanismen?
- Haben unterschiedliche Konkurrenzsituationen einen Einfluss auf das Aktivitätsmuster und die Raumnutzung der Gemsen?
- Wie wirken sich die Änderungen in den Rothirsch- und Steinbockbeständen auf die Gemsebestände aus?
- Wie ändert sich die Kondition der untersuchten Tiere im Jahresverlauf, und wie wirkt diese Änderung auf den Fortpflanzungserfolg?

Gefangene Gemsen werden mit Ohrmarken und farbigem Band an den Krickeln³ markiert z. T. auch mit Telemetrie-Sendern bestückt. Zusätzlich werden bei jeder gefangenen Gemse sowohl die Körpermasse und die Jahresschübe der Krickel vermessen, als auch Haar-, Kot- und Blutproben genommen. Die eigentliche Datenaufnahme erfolgt durch die Parkwächter, die auf ihren Diensttouren Standort und Gruppenszusammensetzung von beobachteten Tieren erfassen. Das Projekt ist langfristig angelegt. Die Daten werden im Nationalparkhaus digital erfasst und dem GIS-

3. vgl. Glossar

SNP zugeführt.

Im raumzeitlichen Kontext sei insbesondere die Arbeit von BOSCHI [1999] erwähnt: La bella, La pigra, Il solitario,...: Individuelle Raumnutzung der Gemse (*Rupicapra rup. rupicapra*) im Gebiet Il Fuorn des Schweizerischen Nationalparks [BOSCHI 1999]. Anhand individuell markierter Gemsen wurden in dieser Studie verschiedene Aspekte zur Raum- und Habitatnutzung, sowie zur Gruppenzusammensetzung von Tieren beider Geschlechter von der Setzzeit bis kurz vor Anfang Brunft untersucht.

Rothirschprojekt SNP

In den gleichen Untersuchungsgebieten wie im Gemsprojekt SNP (Il Fuorn und Trupchun) sollen die Raumnutzung sowie populationsbiologische Faktoren an markierten Rothirschen untersucht und verglichen werden. Das Rothirschprojekt betont insbesondere die Koordination mit den anderen, internen Huftierprojekten und externen Parteien, wie der Eidg. Forschungsanstalt für Wald-, Schnee- und Landschaft (WSL) (NF-Projekt „Mechanismen und Prozesse der Wald-Freilanddynamik unter starkem Herbivoreneinfluss am Beispiel des Schweizerischen Nationalparks" (31-43'120.95)) oder dem Jagd- und Fischereiinspektorat Graubünden (JFI). Es ist wichtig festzuhalten, dass die Hirschpopulation im Nationalpark keineswegs unbejagt ist - im Spätherbst verlassen die Hirsche das Gebiet des Schweizerischen Nationalparks und sind somit der Sonderjagd ausgesetzt. Gleichwohl muss die Populationsdynamik der Rothirsche untersucht werden, da das Rotwild über Konkurrenz einen beträchtlichen Einfluss auf die anderen Huftierarten ausübt [FILLI 1997c]. Folgende Fragen liegen dem Rothirschprojekt zu Grunde:

- Wie nutzen die Rothirsche den Nationalpark?
- Welchen äusseren Faktoren beeinflussen die Bestandesentwicklung?
- Wie beeinflusst der Rothirschbestand die Entwicklung der übrigen Huftiere?
- Wie ändert sich die Kondition der untersuchten Tiere im Jahresverlauf?
- Welche Faktoren beeinflussen die Kondition der Tiere?

Die Rothirsche werden im Bereich Il Fuorn mit Gatterfallen, andernorts mit dem Narkosegewehr behändigt. Die Markierung der Rothirsche erfolgt nach dem System des JFI. Zusätzlich werden einige Tiere mit herkömmlichen Telemetrie-Sendern oder aber mit GPS-gestützten Systemen ausgerüstet. Auch die Hirsche werden beim Fang vermessen. Zusätzlich werden Haar-, Kot und Blutproben weiterführenden Untersuchungen zugeführt (Hormonspiegel, genetische Analysen von verwandtschaftlichen Beziehungen). Die eigentliche Datenaufnahme erfolgt wie beim Steinbock und der Gemse nach einem extensiven Ansatz durch Parkwächter und Praktikanten. Ausserhalb des Parkes wird die Datenaufnahme mit dem JFI koordiniert. Erstmals wird für die Analyse der räumlichen Nutzung auch das GIS-SNP beigezogen [FILLI 1997c].

Im Themenkreis der Rothirschforschung steht auch die Arbeit von LEUZINGER [in Vorb.]: Kleinräumige Nutzung der subalpinen Weide Stabelchod im Schweizerischen Nationalpark durch Rothirsche (*Cervus elaphus* L.). Wildtierforschung und Naturschutzökologie. Sie ist angesiedelt im NF-Projekt „Mechanismen und Prozesse der Wald-Freilanddynamik unter starkem Herbivoreneinfluss am Beispiel des Schweizerischen Nationalparks" (31-43'120.95), genauer im Unterbereich „Raummuster und Verhalten der Huftiere". In dieser Arbeit wird auf Biotopebene das nächtliche Raum-

Zeit-Muster der Rothirsche auf der Alpweide Stabelchod untersucht. Mittels Direktbeobachtung mit einem Restlichtverstärker (LEICA BIG35) wird überprüft, wie und in welchen Dichten die verschiedenen Arealteile innerhalb des Untersuchungsgebietes genutzt werden. Dabei interessiert vor allem die Beziehung zwischen Saisonalität, Raummuster der Vegetation (Pflanzengesellschaften) und Raum-Zeit-Muster der Rothirsche. Der Standort der Hirsche wird in einem Plan eingetragen, so dass eine mögliche Bevorzugung bestimmter Gebiete aufgezeigt werden kann.

Verarbeitung und Analyse des Raum-Zeit-Musters werden zum Teil mittels GIS durchgeführt.

4.2.3 Interdisziplinäre Grundlagen und Infrastruktur

Durch die praktische Arbeit im Huftiermonitoring entsteht eine breite Basis an Know-How über Fang-, Markierungs-, Datenerhebungs- und Beobachtungsmethoden und im Bereich ökologischer Langzeitstudien an Huftieren. So konnten z. B. viele wertvolle Erfahrungen über das Telemetrieren im Hochgebirge gesammelt werden, die nun auch für die Adaption der GPS-Telemetrie auf ein gebirgisches Terrain von grossem Nutzen sind.

Studien zum Nahrungsangebot und physiologische Untersuchungen runden das Huftiermonitoring ab [ZIMMERMANN 1990]. Systematische Kot-, Urin- und Haarprobenentnahme bei zur Markierung behändigten Tieren sollen die Grundlage bilden für zukünftige, physiologische Analysen. Ziel dieser Untersuchungen ist es, sich ein Bild über die Kondition der Tiere je nach Jahreszeit, Nahrungsangebot oder Konkurrenzsituation machen zu können. Zum heutigen Zeitpunkt ist die Stichprobengrösse noch zu klein, erst in Zukunft sind verlässliche Aussagen zu erwarten [FILLI 1997b].

Kapitel 5

GIS - Kompatibilität der Huftierforschung im SNP

Die wohl am häufigsten in Bezug auf Anspruch und Zeitaufwand unterschätzten Arbeitsschritte einer GIS-gestützten Untersuchung bilden die Datenerhebung und die Datenintegration ins GIS. Diese beiden Schritte sind untrennbar miteinander verbunden und können letztlich über Erfolg oder Misserfolg eines Projekts entscheiden.

Nachdem im 3. und 4. Kapitel der grobe Rahmen thematisiert wurde, sollen nun konkrete Fallbeispiele untersucht werden. Das Ziel dieses Kapitels ist ein kritischer Augenschein der GIS-Kompatibilität der Huftierforschung des Schweizerischen Nationalparks anhand ausgewählter Fallbeispiele. Untersucht wurde jeweils der Datenfluss von der Erhebung der Rohdaten im Feld bis hin zum ins GIS integrierten Datensatz (etwa einer COVERAGE oder einem GRID).

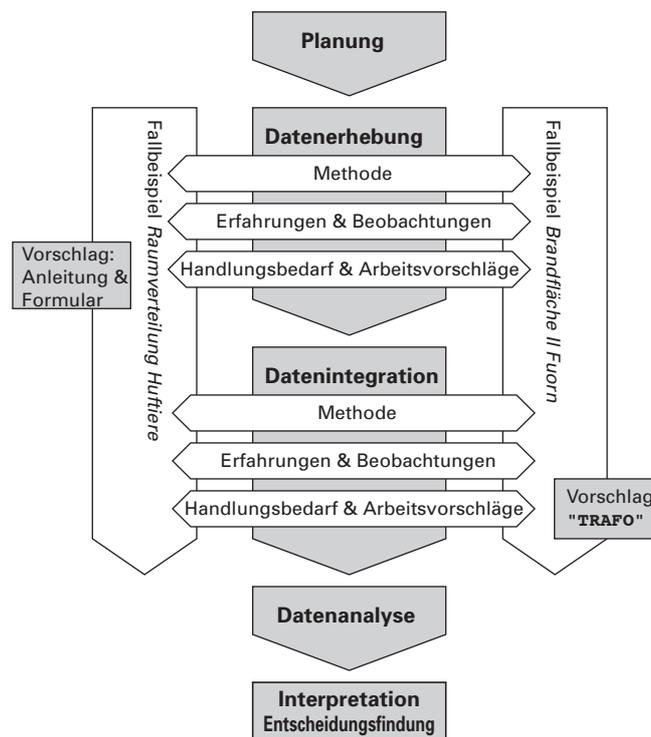


Abb. 5.1: Struktur des Kapitels 5

Die Arbeitsschritte Datenerhebung und Datenintegration werden anhand zweier Fallbeispiele auf ihre GIS-Kompatibilität untersucht, anschliessend werden konkrete Arbeitsvorschläge unterbreitet. [Quelle: eigene Darstellung]

Antrieb und Legitimation erwachsen vorab aus dem Anspruch, im Hinblick auf eine Optimierung einzelner Datenflüsse möglichen Handlungsbedarf aufzudecken und in einzelnen Fällen gangbare Lösungen in Form von weiterführenden Arbeitvorschlägen anzubieten. Das Hauptinteresse ist somit praktischer Natur - im Zentrum stehen die untersuchten Arbeitsschritte - die **Datenerhebung** und die **Datenintegration**. Die Bereiche **Methoden, Erfahrungen & Beobachtungen** sowie **Handlungsbedarf & Arbeitvorschläge** wurden sowohl für die Datenerhebung als auch für die Datenintegration an den beiden Fallbeispielen Schritt für Schritt erarbeitet.

Die Basis dieses Kapitels bilden die auf der Literatur basierenden Abschnitte des Kapitels 3 und eigene Beobachtungen und Erfahrungen im praktischen Umgang mit den Fallbeispielen. Es handelt sich somit um eine qualitative Untersuchung, ohne quantitative Belegung der Aussagen, welche den Rahmen dieser Arbeit gesprengt hätten. Es besteht keinerlei Anspruch auf die Erstellung einer umfassenden Bestandesaufnahme der GIS-Kompatibilität der gesamten Huftierforschung im Schweizerischen Nationalpark.

5.1 Exemplarische Untersuchungsobjekte

Es wurden zwei gegensätzliche Fallbeispiele gewählt. Erstens die vierteljährlichen Erhebungen der räumlichen Verteilung der Huftierbestände in den Untersuchungsgebieten Val Trupchun und Il Fuorn aus dem Huftiermonitoring und zweitens die Dauerbeobachtungen der Huftierverteilung auf der *Brandfläche Il Fuorn*¹.

Diese Fallbeispiele unterscheiden sich in mehreren Punkten. Aus methodischer Sicht gilt es vorab festzuhalten, dass bei der *räumlichen Bestandeserhebung* die Geographische Informationsverarbeitung bereits in der Planung miteinbezogen wurde, ganz im Gegensatz zur *Brandfläche Il Fuorn*. Darüber hinaus unterscheiden sie sich auch in der thematischen, wildtierbiologischen Fragestellung. Während bei der *räumlichen Bestandeserhebung* nur ein grossräumiges Monitoring der Huftierbestände gefragt ist, sind die Untersuchungen auf der *Brandfläche Il Fuorn* viel stärker ökologischer Natur, sie zielen auf ein grundlegendes Verständnis des Huftiereinflusses auf die Wiederbewaldung.

Das Fallbeispiel der Dauerbeobachtungen *Brandfläche Il Fuorn* wurde nicht zuletzt deshalb gewählt, weil es mit der Verwendung einer Ansichtsfotographie des Untersuchungsgebietes als Notationsgrundlage einen aus methodischer Sicht zukunftsweisenden Ansatz realisiert. Das Vorgehen liefert räumlich referenzierte Beobachtungsdaten, welche im Grunde also GIS-kompatibel sind, wenn sie mit der richtigen Verarbeitungsmethode weiterverarbeitet werden.

1. In der Folge wird die Erhebung der räumlichen Verteilung der Huftierbestände der Übersichtlichkeit halber kurz *Raumverteilung Huftiere* genannt, sind die Dauerbeobachtungen der Huftierverteilung auf der Brandfläche Il Fuorn angesprochen, wird hingegen die Kurzform *Brandfläche Il Fuorn* verwendet.

5.1.1 Raumverteilung Huftiere

Der grosse Vorteil der im Jahre 1997 neu lancierten, räumlichen Bestandserhebung gegenüber den traditionellen Bestandserhebungen ist, wie der Name schon sagt, der Miteinbezug der räumlichen Dimension. Während bei den herkömmlichen Bestandserhebungen summarisch gebietsweise erhoben wurde, resultieren nach dem neuen, räumlichen Modus xy-Koordinaten von Einzelbeobachtungen. Dies ermöglicht ganz neue Einsichten und Fragestellungen, der Einbezug geographischer Werkzeug zur Analyse der raumzeitlichen Verhaltensmuster drängt sich auf. Der GIS-Einbezug erfolgte dementsprechend bereits in der Planungsphase dieses Projektes.

Untersuchungsgebiete

Die Gebiete Val Trupchun und Il Fuorn wurden von der Direktion des Parkes für das Projekt *Raumverteilung Huftiere* ausgewählt.

Die **Val Trupchun** bildet den südöstlichsten Zipfel des Parks und ist von S-chanf aus zugänglich. Der gesamte Talkessel der Val Trupchun und der beiden Nebentäler Val Müschauns und Val Mela werden erfasst. Die Fläche beträgt ca. 18km² mit 5km in WE-, und 5.5km in NS-Ausdehnung. Die Hauptachse der Val Trupchun liegt in NW-SE-Richtung. Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich von der Varuschhütte auf 1'771m.ü.M. bis hinauf zum Piz Trupchun auf 2'941m.ü.M. und zum Piz Quattervals auf 3'154m.ü.M. Somit erstreckt sich der Lebensraum Trupchun von Lärchen-Fichtenwald über Grasheide bis hinauf in die nivale Stufe. Die Waldgrenze befindet sich auf ca. 2'000m.ü.M., wodurch grosse Teile des Untersuchungsgebietes über der Waldgrenze liegen und somit direkt einsehbar sind. Insbesondere im Sommer und zur Hirschbrunft im Herbst wird die Val Trupchun intensiv von Touristen besucht.

Das Untersuchungsgebiet **Il Fuorn** ist wesentlich offener als der Kessel der Val Trupchun. Es umfasst das gesamte Parkgebiet nördlich der Ofenpassstrasse von der Ova Spin bis hinauf zur östlichen Parkgrenze bei der Alp Buffalora, insbesondere also die Val dal Botsch, die Val da Stabelchod, die Val Nügliä und die Vallatscha. Die Gesamtfläche liegt mit ca. 26km² etwas über dem Wert des Untersuchungsgebietes Trupchun. Es hat eine längliche Form mit einer WE-Ausdehnung von 12km und einer NS-Erstreckung von maximal 4km. Die untersuchten Hänge sind zur Mehrzahl nach Süden exponiert. Auch in diesem Gebiet reicht das Untersuchungsgebiet vom Hotel Il Fuorn auf 1'793 m.ü.M. bis über 3000m.ü.M. (Piz Tavrü 3'112m.ü.M., Piz Nair 3'009m.ü.M.). Die Waldgrenze des Bergföhrenwaldes liegt mit 2'200m.ü.M., stellenweise gar über 2'300m.ü.M., deutlich höher als in der Val Trupchun. Auf den Wald folgt nach oben wiederum eine Grasheide. Im Untersuchungsgebiet Il Fuorn ist der Besucherstrom ähnlich hoch, zusätzlich stört der Verkehr auf der Ofenpassstrasse die Unberührtheit des Lebensraumes.

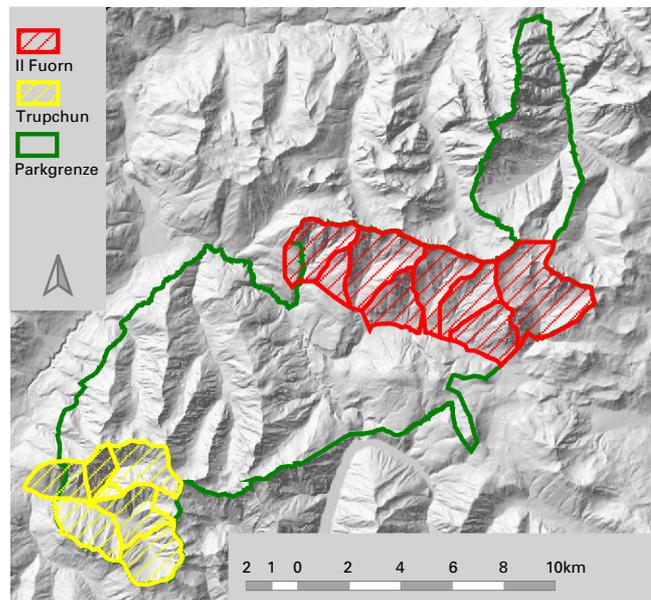


Abb. 5.2: Übersichtskarte
 Übersichtskarte der Untersuchungsgebiete Val Trupchun und Il Fuorn im Schweizerischen Nationalpark. Zusätzlich sind die nach Einsehbarkeit abgegrenzten Untersuchungsteilgebiete hervorgehoben [Quelle: GIS-SNP, Autor: P. Laube]

5.1.2 Brandfläche Il Fuorn

Ein aus Unachtsamkeit entstandener Waldbrand im Frühjahr 1951 riss am Südhang des Piz Fuorn eine Bresche in den Waldbestand, nachdem bereits Ende Januar 1951 ein grösserer Teil der Hochstämme dieses Erika-Bergföhrenwaldes durch einen Lawenniedergang umgelegt wurde [GEISSLER & HARTMANN 1997]. Dieses im Grunde unerfreuliche Ereignis schuf allerdings ein hervorragendes Beobachtungsobjekt zur Regeneration eines alpinen Lebensraumes unter hohen Huftierdichten und zur Analyse der raumzeitlichen Verhaltensmuster der Huftiere.

Untersuchungsgebiet

Die Brandfläche Il Fuorn befindet sich unmittelbar beim Hotel Il Fuorn an der Ofenpaspasstrasse. Die Umgrenzung des Untersuchungsgebietes ist direkt sichtbar, wird sie doch vom Rand des angrenzenden Waldes gebildet. Die Brandfläche erreicht in NS-Richtung eine Länge von ca. 600m und weist in WE-Richtung eine Breite von maximal 200m auf. Mit ca. 10 ha ist die Brandfläche somit deutlich kleiner als die Untersuchungsgebiete Trupchun und Il Fuorn, sie deckt einen kleineren Skalenbereich ab. Vom Hotel Il Fuorn auf 1'793m.ü.M. steigt sie innerhalb weniger Hundert Meter bis auf 2'200m.ü.M. An den steilsten Stellen weist sie ein Gefälle von gegen 100% auf. Die Brandfläche ist ein ausgeprägter Südhang und daher meist früh im Jahr schneefrei.

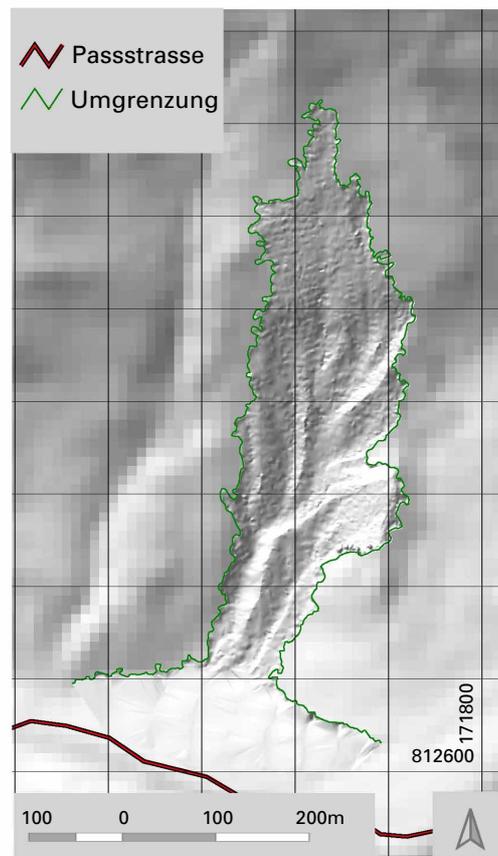


Abb. 5.3: Das Untersuchungsgebiet Brandfläche II Fuorn

Der Begriff Umgrenzung steht für die äusserste Ausdehnung der Brandfläche, entsprechend auch für die umgebende Grenze zum gesunden Wald [Quelle: GIS-SNP, Autor: P. Laube]

Seit dem Brand werden folgende Einrichtungen in unregelmässigen Abständen betreut [FILLI & SCHEURER 1996]:

- 9 botanische Kleinflächen à 1m² (inkl. Moosbeobachtungen seit 1982)
- 2 botanische Flächen à 4m x 4m (seit 1952)
- 2 botanische Flächen à 20m x 20m (seit 1952)
- 15 Samenkästen auf den Niveaus 1'870, 2'050 und 2'200m.ü.M (seit 1952; ab 1989 noch 6 zusätzliche Samenkästen)
- 1 Transsekt à 2m x 5m Breite auf 1'870m.ü.M. (seit 1955)

Seit Ende der Achtzigerjahre wurden zusätzliche Faktoren (Klima, Morphologie, Bodenfauna, Kleinsäuger) welche die Wiederbewaldung beeinflussen untersucht, und einige davon als Dauererhebungen eingerichtet. An der Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) wurde in den Achtzigerjahren im Zusammenhang mit der Erstellung eines 1:1'000 Detailplans der Brandfläche ein digitales Höhenmodell (DHM²) gerechnet.

2. vgl. Glossar

Das Vegetationsbild präsentiert sich heute wie folgt: Dort wo sich die Vegetation stabilisieren konnte, erfolgte eine Entwicklung hin zum Weidewald. Bei den Moosen traten zunächst die charakteristischen Brandflächenmoose wie das Drehmoos (*Funaria hygrometrica*) und das Brunnenlebermoos (*Marchantia polymorpha*) auf. Sie verschwanden allerdings nach ein paar Jahren wieder, um einer spärlichen Kalkschuttflora Platz zu machen. Auch nach rund 50 Jahren ist eine Wiederbewaldung der Brandfläche unwahrscheinlich. Äsungsdruck, Mikroklima und Erosion sind an diesem südexponierten Steilhang ungünstige Voraussetzungen zur Vegetationsstabilisierung [GEISLER & HARTMANN 1997].

Um die Dynamik dieser Brandfläche genauer verstehen zu können, benötigt man insbesondere zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Beobachtungsdaten der Huftiere. 1990 bis 1994 wurde deshalb zur Erfassung der Huftierbelastung der *Brandfläche II Fuorn* das Auftreten von Huftieren im Gebiet protokolliert.

5.2 Datenerhebung

5.2.1 Ausgangslage

Die Rahmenbedingungen für die Untersuchungen der Datenerhebung sind für die beiden Fallbeispiele von gerade gegensätzlicher Natur.

Bei den *räumlichen Bestandenserhebungen* hatte der Autor selbst mehrmals die Gelegenheit, an den Felderhebungen teilzunehmen und somit den Erhebungsprozess der Rohdaten direkt zu beobachten. Ergänzt wurden diese Erfahrungen durch den persönlichen Austausch mit den direkt betroffenen Beobachtern, welche in der Mehrzahl der Fälle von den Parkwächtern gebildet wurden. Sie verfügen einerseits über einen reichen, über viele Jahre gewachsenen Erfahrungsschatz zur Erhebung wildtierbiologischer Beobachtungsdaten, und andererseits genaue Kenntnisse der lokalen Ökologie.

Im Fallbeispiel Dauerbeobachtung *Brandfläche II Fuorn* waren die Rahmenbedingungen anders gelagert. Der Datensatz bestand bereits vor Beginn der vorliegenden Arbeit. Daher muss er als historischer Datensatz bezeichnet werden - wurde er doch in keiner Weise mit GIS-Perspektive erhoben. Die Erhebungsumstände mussten recherchiert werden und konnten vielfach nur fragmentarisch rekonstruiert werden. Eine Beurteilung des Erhebungsprozesses und der Erhebungsmethodik ist nicht mehr direkt möglich und wird dadurch massiv erschwert.

Zusätzlich differieren die Voraussetzungen für die beiden Fallbeispiele im Grad des GIS-Einbezugs in der Planung. Bei den räumlichen Bestandenserhebungen wurde bereits in der Projektplanungsphase die GIS-Weiterverarbeitung der zu erhebenden Daten thematisiert. Im Fall der Dauerbeobachtungen Brandfläche erfolgte die Methodenwahl der Feldbeobachtungen aus einem rein wildtierbiologischen Kontext.

5.2.2 Methoden der Datenerhebung

Raumverteilung Huftiere

Die beiden Untersuchungsgebiete zerfallen in mehrere Teilgebiete, die grob der Geländekompartimentierung entsprechen. Am Erhebungstag werden die Beobachter (mehrerlich Parkwächter) aus verschiedenen Gebieten in jeweils ein Untersuchungsgebiet zusammengezogen. Anschliessend werden sie auf die Teilgebiete verteilt und nehmen frühest möglich ihre Beobachtungsstandorte ein. Dies sind zumeist exponierte Geländepunkte im Gegenhang mit guter Sicht auf das zugewiesene Teilgebiet. Die eigentliche Erhebung der *Raumverteilung Huftiere* erfolgt per Ansprache³ unter Zuhilfenahme von Feldstecher und Fernrohr. Dabei geschieht die grobe Lokalisierung der Huftiere zumeist mit dem Feldstecher, die genaue Ansprache und die Bestimmung des genauen Standortes der Wildtiere erfolgt anschliessend via Fernrohr.

Die Beobachter stehen per Funk in Verbindung, wodurch allfällige Doppelzählungen durch spezifisches Nachfragen beim Nachbarbeobachter minimiert werden können.

Die räumliche Lokalisierung der Beobachtungen erfolgt auf Farb reproduktionen (teilweise vergrössert) der Landeskarte 1:25'000 durch nummerierte Punkte für Einzeltiere oder Tiergruppen.

Die Erhebung der Attributdaten geschieht auf speziellen Listen. Die Klasseneinteilung ist art-, geschlechts- und altersspezifisch, die genaue Einteilung der Beobachtungen in die vorgeschlagenen Klassen erfordert hoch qualifizierte Beobachter (vgl. Anhang II).

Huftiere Verteilung

Gebiet: _____ Kartennr.: _____ Beob.: _____

Datum: _____



Nr.	Zeit	Art	Total	männlich				Total	weiblich		Kitze /	unb.
				H 1j	H o K	H 1 K	H 2 K		H 1j	H 2+		
				G j	G 2+	G alt			G j	G 2+		
				S 1-3	S 4-6	S 7-10	S 11+		S j	S 2+	Kälber	

Abb. 5.4: Attributliste der Erhebung *Raumverteilung Huftiere*

Brandfläche Il Fuorn

Bei den Dauerbeobachtungen auf der *Brandfläche Il Fuorn* kam ein in der Wildtierbiologie häufig verwendetes Verfahren zum Einsatz, die Notation auf eine Schrägansichtsfotographie des Untersuchungsgebietes. Hierzu wurde ein Erhebungsformular erstellt unter Verwendung einer nicht genauer beschriebenen Schwarzweiss-Aufnahme einer Kleinbildkamera. Von diesem Formular wurden Fotokopien erstellt und als

3. vgl. Glossar.

Notationsunterlage verwendet.

Die Aufnahmen wurden von Parkwächtern in unregelmässigen Abständen ausgeführt. Zusätzlich zu diesen übers Jahr verteilten, extensiven Aufnahmen, wurden im Herbst 1992 und im Frühjahr 1994 intensive Dauerbeobachtungen durchgeführt. Während je sechs Tagen wurden dabei in 20-Minuten-Abständen über den ganzen Tag Momentaufnahmen der Verteilung, sowie die Bewegungen von Gruppen auf der Brandfläche aufgezeichnet [HINDENLANG & WIRZ 1992].

Im Ganzen umfasst der Datensatz *Brandfläche Il Fuorn* ca. 5000 Erhebungsprotokolle. Es entstand ein für die Wildtierbiologie sehr wertvoller Datensatz, insbesondere im Hinblick auf die Analyse raumzeitlicher Verhaltensmuster und dynamischer Prozesse. Mit seinen mehreren Tausend Einzelprotokollen bietet er auf kleinem Raum eine hohe räumliche und zeitliche Auflösung.

Ereignisprotokoll 1.2 BRANDFLÄCHE	Beobachter		Datum	Zeit		
Wetter:	Anzahl	Hirsche ●	Gemsen ⊗	Steinbö. ⊕	Rehe ○	Angaben zum Verhalten: ziehen z äsen ä ruhen r
Sicht: ○ gut ○ mässig ○ schlecht	♂ ♂					
	♀ ♀					
	♂ ♂					
	unbestimmt					
Bemerkungen:						

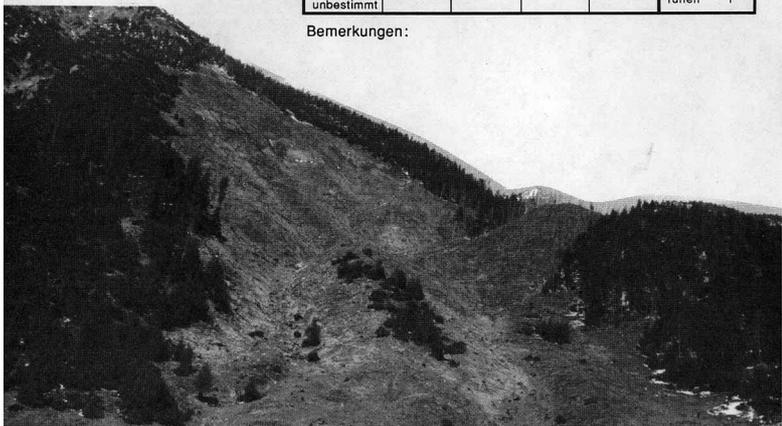


Abb. 5.5: Erhebungsprotokoll
Protokoll zur Erhebung der räumlichen Verteilung der Huftiere auf der *Brandfläche Il Fuorn*

Auch auf der Brandfläche erfolgte eine weidmännische Ansprache per Feldstecher und Fernrohr. Der Beobachtungsstandort war nicht vorgegeben. Es wurden folgende Parameter aufgenommen [HINDENLANG & WIRZ 1992]:

- Standort, Art, Alters- und Geschlechtsklasse
- Wetter und Sichtverhältnisse
- Kontinuierliche Beobachtungen der Verschiebungen der Gruppen auf der Fläche (nur teilweise)

5.2.3 Erfahrungen und Beobachtungen

Raumverteilung Huftiere

Das gewählte Verfahren zur Erhebung der *Raumverteilung Huftiere* in den Untersuchungsgebieten Val Trupchun und Il Fuorn bietet für einen GIS-Einsatz folgende Vor-

und Nachteile:

Hauptvorteile:

- **Effizienz:** Innerhalb eines Tages kann das ganze Untersuchungsgebiet erfasst werden. Die Erhebung wird von erfahrenen Beobachtern mit hoher Kenntnis der lokalen Ökologie durchgeführt. Es kann davon ausgegangen werden, dass ein hoher Prozentsatz der sichtbaren Bestände erfasst wird. Der Anteil der sichtbaren am effektiven Total der Bestände ist Gegenstand aktueller Untersuchungen.
- **raumzeitliche Dynamik:** Die Beobachtungen sind grundsätzlich räumlich referenziert, die vierteljährliche Wiederholung deckt den zeitlichen Anspruch ab. Somit sind die Voraussetzungen gegeben für eine Nutzung des Hauptvorteils der Geographischen Informationsverarbeitung in diesem Kontext, der Analyse der raumzeitlichen Dynamik.

Schwachpunkte:

- **Beobachtungsstandorte:** Die Wahl der Standorte erfolgte in Absprache mit den jeweils gebietsverantwortlichen Parkwächtern. Von der Standortwahl hängt entscheidend ab, wie gross der effektiv einsehbare Anteil des Untersuchungsteilgebietes ist. Die Beobachtungsstandorte sind so zu wählen, dass sie innerhalb nützlicher Frist erreichbar sind, was die Auswahl schon beträchtlich einschränkt. Weiter besteht eine einfache Beziehung zwischen der Einsehbarkeit und der Höhe über Talgrund des eingenommenen Beobachtungsansitzes: Je höher im Gegenhang, desto grösser die Einsehbarkeit. Mit steigender Höhe im Gegenhang wächst allerdings auch die Entfernung. Somit sinkt die Ansprechgenauigkeit, womit der zusätzliche Vorteil der grossen Höhe wieder verspielt wird. Zusätzlich gilt es zu verhindern, dass die Beobachter sich nicht gegenseitig die Huftiere aufscheuchen. Dies ist insbesondere in der Val Trupchun zu beachten, wo beide Talflanken erfasst werden. Erschwerend kommt hinzu, dass bestimmte Beobachtungsstandorte an den Winter- bzw. Frühlingsterminen unzugänglich sind (Schnee, Lawinengefahr). Werden aber die Beobachtungen nicht immer von identischen Standorten aus aufgenommen, wird die Vergleichbarkeit der Daten empfindlich eingeschränkt.
- **Beobachtungszeitpunkte:** Durch die grossen Unterschiede in den Anmarschzeiten zu den Beobachtungsstandorten ergeben sich u.U. grosse Differenzen des effektiven Erhebungszeitpunktes der Beobachtungen. Es kann somit nicht eine eigentlich scharfe Momentaufnahme der räumlichen Verteilung entstehen, sondern nur ein Grobeindruck der Raumaufteilung innerhalb eines gedehnten Zeitfensters von einigen Stunden.
- **Notation:** Die Auswertung der ersten Erhebungsprotokolle ergab eine breite Palette von Notationsarten und Nummerzuweisungen. Die wichtigsten Fehlerquellen sind hier aufgelistet:
 - Diskontinuierliche Nummerierungen oder Doppelpunkte (eine Nummer, aber zwei Punkte)
 - Unklare Zuweisung der Punktsymbole auf der Karte zu den Beobachtungsnummern

- Uneinheitliche Verwendung von Punktsymbolen (Punkt, Kreuz, Kreis bzw. Kringel, grosszügige Umrandung von Einzelbeobachtungen)
- Unklare Trennung zwischen den Untersuchungsteilgebieten (Beobachtungspunkte auf dem Areal des Nachbargebietes)
- Ein Beobachtungspunkt, mehrere Arten

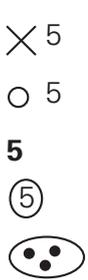
	eine Nummer - zwei Punkte
	Unklare Zuweisung
	Uneinheitliche Verwendung von Punktsymbolen

Abb. 5.6: Problematische Notationsformen von Beobachtungsdaten

Die Abbildung zeigt zunächst eine Doppelnummerierung, danach ein oft angetroffenes Bild von unklarer Zuweisung der Nummern zu Punktsymbolen. Die untere Hälfte illustriert eine Anzahl von häufig gefundenen Möglichkeiten, Beobachtungen auf eine Karte einzuzichnen. [Quelle: eigene Darstellung]

Zunächst kann mit der verfügbaren Digitalisierungsfunktionalität nur ein exakter Punkt erfasst werden. Es ist nicht klar, wo dieser gesetzt werden soll, wenn statt eines eindeutigen Fadenkreuzes ein flächenhaftes Symbol, ein Kreis oder eine Zahl verwendet wurde. Weitere Probleme ergeben sich beim Digitalisieren, wo eine eindeutige Zuweisung jedes Punktes zu nur einer Nummern unbedingt erforderlich ist. Ohne klare Zuweisung der Attributdaten sind Lagedaten wertlos. Aufwendige Rückfragen zur Klärung von Doppeldeutigkeiten vermindern die Effizienz der Datenverarbeitung erheblich und bleiben in manchen Fällen gar erfolglos.

- **Erwartungshaltung:** Für die anspruchsvolle weidmännische Ansprache der Huftiere über die gegebenen, grossen Distanzen sind erfahrene Beobachter unerlässlich. Erfahrung kann aber zu einer Erwartungshaltung führen und einer unvoreingenommenen Erhebung entgegenwirken. Beispielsweise wird dort, wo weniger Tiere erwartet werden, auch weniger intensiv gesucht.
- **Mehrfachzählungen:** Mehrfachzählungen von sich bewegenden Tieren können zwar via Funkabsprache minimiert, nicht aber ganz ausgeschlossen werden, insbesondere bei „Grenzgängern“ zwischen den Untersuchungsteilgebieten.

- **Optische Hilfsmittel:** Die Beobachter sind auf den Einsatz optischer Hilfsmittel angewiesen. Die maximale Distanz einer verlässlichen Ansprache lässt sich gemäss Aussage mehrerer Parkwächter nicht mit einer präzisen Zahl angeben. Sie ist abhängig von der Tierart, der Witterung und besonders von den Beleuchtungsverhältnissen. Steinwild ist dabei am schwersten ansprechbar (da seine Färbung, wie der Name ja vermuten lässt, dem steinigen Hintergrund sehr gut angepasst ist). Die Beobachtungsdistanzen streuen innerhalb der Untersuchungsgebiete beträchtlich. Somit sind die Rahmenbedingungen für eine genaue Ansprache sehr unterschiedlich. Dies ist allerdings in den Attributdaten nicht ersichtlich. Die einmal einer Klasse zugewiesene Beobachtung verliert jede Information über mögliche Anspracheschwierigkeiten. Die Klasse „unbestimmt“ wird selten benutzt.
- **Kartengrundlage:** Die präzise Notation der beobachteten Standorte auf das Kartenblatt muss als schwierig bezeichnet werden. Erstens liegen viele Beobachtungen in sehr steilem Gelände, welches in der Orthogonalprojektion der Landeskarte stark gestaucht wird. Somit ergeben geringe Eintragefehler in der Karte, erhebliche Höhenfehler. Zweitens finden sich die Beobachtungen mehrheitlich auf merkmalsarmen alpinen Rasen, Schutthalden oder gar Felspartien. Zumal gerade deren Repräsentation durch die Signaturen des Kartenmodells eher der Gewährleistung der Kartenlesbarkeit denn der geometrischen Richtigkeit genügen.
- **Attributdaten:** Die Miterfassung der Attributdaten ist für den Wert der Beobachtungsdaten unerlässlich. Sie stellt aber sowohl zeitlich als auch organisatorisch eine Zusatzbelastung dar.
- **Markierte Tiere:** Werden markierte Tiere gesehen, so wird das nicht im gleichen Aufnahmeblatt markiert, Information geht verloren.

Brandfläche Il Fuorn

Die Notation der Beobachtungsstandorte auf eine Ansichtsfotographie des Untersuchungsgebietes ist aus geographischer Sicht ungewohnt, da keine Orthogonalprojektion vorliegt. Da auch die gebräuchlichen GIS-Lösungen mit der Orthogonalprojektion arbeiten, ergibt sich für dieses Fallbeispiel eine besondere Ausgangslage.

Hauptvorteile:

- **Effizienz:** Die Erhebungsmethode ist sehr einfach und schnell. Sie ist ausserdem beobachterunabhängig.
- **Positionale Genauigkeit:** Eine hohe Genauigkeit der Information der räumlichen Lage ist unbedingte Voraussetzung für jede folgende Lebensraumanalyse oder Analyse der raumzeitlichen Dynamik. Somit haben präzise Erhebungen für die Perspektive GIS-Einsatz sehr hohe Priorität. Die Brandfläche ist allerdings von sehr homogener und daher merkmalsarmer Beschaffenheit. Durch die fehlenden optischen Orientierungspunkte sind genaue Positionsangaben auf einer generalisierten Karte in der nach hinten geneigten Fläche äusserst schwierig. Die Notation auf eine Ansichtsfotographie der Brandfläche ermöglicht einen direkten optischen Vergleich des Notationsmodells mit der Realität, ohne dazwischen geschaltete Kartengeneralisierung. Die Notation gestaltet sich somit wesentlich

einfacher und damit in letzter Konsequenz genauer.

Schwachpunkte:

- **Beobachtungsstandort:** Der Beobachtungsstandort ist nicht vorgegeben. Somit ist bei den einzelnen Datensätzen nicht die gleiche Einsehbarkeit des Untersuchungsgebietes gegeben. Dadurch leidet die Vergleichbarkeit der Datensätze.
- **Beobachtungszeitpunkte:** Durch die Wahl einer extensiven Methode geschehen die Aufnahmen in unregelmässigen Abständen. Die Daten erhalten somit einen unregelmässigen zeitlichen Charakter, die abgedeckten Zeitfenster sind zufällig über den Zeitstrahl verteilt. Es können sich empfindliche Lücken im Monitoring des raumzeitlichen Verhaltensmusters der Huftiere ergeben.

5.2.4 Handlungsbedarf und Arbeitsvorschläge

Die meisten Schwachpunkte sind direkt mit der positionalen Genauigkeit der Beobachtungsdaten verbunden. Verbesserungsvorschläge zielen letztlich immer auf eine Erhöhung der Datenqualität. Diese ist in besonderem Masse gefordert für den Einsatz der Geographischen Informationsverarbeitung, welche Genauigkeiten vorspiegeln kann, welche die Rohdaten gar nicht hatten. Es ist beispielsweise ohne weiteres möglich, Koordinaten von Feldbeobachtungen auf sechs Stellen nach dem Komma zu verwalten - wengleich die Beobachtungen selbst im 100m-Bereich geschätzt wurden. Es gilt somit in erster Linie bei der Rohdatenerhebung auf eine genauest mögliche Arbeitsweise zu verweisen. In zweiter Linie müssen die Parameter der Erhebungsumstände in Form von Metainformation durch den ganzen Datenfluss mitgenommen werden.

Raumverteilung Huftiere

- **Beobachtungsstandort:** Die Bestimmung der optimalen Standorte kann mit einer Sichtbarkeitsuntersuchung unterstützt werden (ARC/INFO⁴, bzw. ArcView: visibility), was für einige exemplarische Teilgebiete vom GIS-SNP durchgeführt wurde. Dabei müssen die Vegetationstypen, insbesondere der Wald, in die Berechnungen einfließen. Das Hauptproblem liegt dabei bei der Zuweisung der Wuchshöhen und Transparenzeigenschaften der einzelnen Vegetationstypen. Die praktische Umsetzung dieses Lösungsansatzes erwies sich in den bisher untersuchten Teilgebieten allerdings als problematisch. Es scheint, dass in diesem Fall die analytische Berechnung der „optimalen Standorte“ der jahrzehntelangen Erfahrung der Parkwächter nicht das Wasser reichen kann.
- **Beobachtungszeitpunkte:** Es muss versucht werden, das Erhebungszeitfenster so klein wie möglich zu halten. Dies kann erreicht werden durch eine zeitlich koordinierte Datenerhebung. Die Synchronisierung der Aufnahmen kann per Funk erfolgen. Praktisch hiesse das, zur angegebenen Erhebungszeit innerhalb kürzester Zeit die Standorte aller beobachteten Tiere (Einzeltiere oder Gruppen) festzuhalten. Erst anschliessend würde dann die genaue Ansprache der Einzelbeobachtungen per Fernrohr erfolgen. Die Beobachtungen dürfen dann nicht als Momentaufnahmen bezeichnet werden, sondern als Aufnahmen innerhalb eines

4. vgl. Glossar

(anzugebenen) Zeitfensters.

- **Notation:** Als erster konkreter **Arbeitsvorschlag** wird hier eine Anleitung zur Erhebung der Felddaten vorgelegt. Sie entstand als Reaktion auf die Erfahrungen und Beobachtungen beim Digitalisieren der Daten des Aufnahmetermins Mai 1997. Durch die Gleichschaltung der Notationsarten, Punktsymbole und weitere Parameter, wie eine einheitliche Stiftverwendung, soll eine anschliessende Integration der entstehenden Daten erleichtert und allfälligen Fehlerquellen vorgebeugt werden. Die ausformulierte Anleitung findet sich im Anhang I.
- **Erwartungshaltung:** Eine Verminderung des Einflusses der Erwartungshaltung der Beobachter kann durch die zyklische Rotation der Beobachtereinteilung erfolgen. Somit hat sich an jedem Erhebungsdatum ein neuer, unvoreingenommener Beobachter mit den einzelnen Untersuchungsteilgebieten auseinander zu setzen. Dem kann entgegnet werden, dass somit der Vorteil genauer Kenntnisse der lokalen Fauna verspielt werden.
- **Kartengrundlage:** Es gilt, ein Mass darüber zu erhalten, wie genau die Notation der Beobachtungen auf die Kartenblätter in der gegebenen Situation möglich ist. Dabei ist den speziellen Rahmenbedingungen (Steiles, merkmalsarmes Gelände wie Schutthalden und Felspartien, Beobachtung über weite Distanzen vom Gegenhang) Rechnung zu tragen. Möglich wäre hier eine Untersuchung, wie sie DANUSER in seiner Arbeit über die Integration naturschutzrelevanter Daten ins Natur- und Landschaftsinventar Graubünden mit GIS vorgeschlagen hat [DANUSER 1996]. In seiner Arbeit schätzte er die Genauigkeit beim Bestimmen von Lagekoordinaten durch eine Untersuchung bei verschiedenen Testpersonen.
- **Attributliste:** Als zweiter konkreter **Arbeitsvorschlag** wurde ein erweitertes Protokollformular für die Attributdaten erarbeitet. Neben der Integration eine Spalte *markierte Tiere* wurde auch dem Reh auf dem überarbeiteten Formular ein Platz zugestanden. Als Details finden sich nun auch erweiterte Totalisierungsoptionen für Spaltentotale und die komplette, vereinfachte Klassierungslegende direkt auf dem Formular. Das Formular wird seit dem Herbsttermin 1997 erfolgreich in der Praxis eingesetzt. Das Formular ist im Anhang II abgedruckt.

Brandfläche II Fuorn

- **Beobachtungsstandort:** Die Beschränkung auf nur einen Beobachtungsstandort ist eine einfache Massnahme, welche die Vergleichbarkeit der Daten erhöht.
- **Beobachtungszeitpunkte:** Eine Vorgabe von verbindlichen Erhebungszeitpunkten ermöglicht eine regelmässige zeitliche Auflösung. Neben den extensiven Erhebungen in den Jahren 1990 - 1994 erfolgten ja bereits Dauerbeobachtungen nach einem intensiven Muster in 20-Minutenintervallen je eine Woche lang im Herbst 1992 und im Frühjahr 1994. Will man den extensiven Charakter der Erhebungen beibehalten, so ist es auch möglich, eine fixe Anzahl Zeitfenster übers Jahr vorzugeben, innerhalb derer die Erhebungen zu erfolgen haben. Dies gewährleistet eine hohe Flexibilität für die Arbeitsplanung der Beobachter bei genügend regelmässigen Aufnahmen. Eine sinnvolle Länge der vorgegebenen Zeitfenster muss von der Wildtierbiologie festgesetzt werden.

5.3 Datenintegration – digitale Datenaufbereitung

5.3.1 Ausgangslage

Wie bei der Datenerhebung bestehen bei den beiden Fallbeispielen auch im Bereich der Datenintegration unterschiedliche Rahmenbedingungen. Bei den räumlichen Bestandesaufnahmen bedeutet Datenintegration das bekannte Digitalisieren der Beobachtungspunkte. Also eine Überführung von orthogonalprojizierter Punktinformation vom analogen in ein digitales Format, nichts anderes als die Beschreibung eines bekannten Weges.

Grundverschieden präsentierte sich die Situation bei den Dauerbeobachtungen Brandfläche. Jegliche Auswertungen wurden bis anhin im Referenzsystem der Ansichtsfotographie durchgeführt. Das Referenzsystem der Beobachtungen ist zwar grundsätzlich räumlich, stellt aber keine gebräuchliche Orthogonalprojektion dar und muss somit als nicht geocodiert bezeichnet werden. In diesem Zusammenhang kann nicht von Geographischer Informationsverarbeitung im eigentlichen Sinne gesprochen werden. Die Daten konnten in ihrem bisherigen Format nicht mit der Datenbasis des GIS des Nationalparks in Verbindung gebracht werden - der eigentliche Datenintegrationsprozess musste zuerst entwickelt werden. Es musste auf die Rohdaten zurückgegriffen werden, konkret also auf die rund 5'000 Beobachtungsprotokolle. Die Datenintegration gestaltete sich in diesem Fall als eigentliche digitale Datenaufbereitung. Die dazu nötigen Arbeitsvorschläge werden in Abschnitt 5.3.4 erörtert werden.

Die Ausgangslage bei den Dauerbeobachtungen Brandfläche war insofern speziell, als es neben der Integration der bestehenden Datenbasis noch galt, die Erhebungsmethode für die Zukunft zu vereinfachen und optimieren. Es galt einen Brückenschlag zu bewältigen von der Vergangenheit in die Zukunft.

5.3.2 Methoden der Datenintegration

Raumverteilung Huftiere

Die Beobachtungen werden nach herkömmlichen Verfahren ins GIS des Nationalparks integriert. Die geometrische Information der Punktdaten wird am Digitalisierstisch direkt von der Papiergrundlage des Kartenausschnittes digitalisiert. Somit entsteht für jedes Kartenblatt, bzw. jedes Untersuchungsteilgebiet eine einzelne Punktcoverage mit absoluten Koordinaten (in der winkeltreuen, schiefachsigen Orthogonalprojektion der Landestopographie). Die konkreten Arbeitsschritte werden mit Applikationen der GIS-Software ARC/INFO der Firma ESRI ausgeführt (ArcEdit). Die anschliessenden Vorverarbeitungs- und Vereinigungsarbeiten der digitalisierten Rohdaten erfolgen mit demselben Software-Paket.

Die Attributinformation wird bislang mit der Datenbank-Software Claris FileMaker 3.0 Pro erfasst und verwaltet. Die Verknüpfung der Geometrie mit den Attributdaten erfolgt über ein eindeutiges Code-Item.

Brandfläche II Fuorn

Die Beobachtungsdaten wurden jeweils im Jahresrhythmus zuhanden der WNPk-Arbeitsgruppe "Entwicklung alpiner Ökosysteme mit hohen Huftierbeständen" ausgewertet [HINDENLANG & WIRZ 1992]. Die Überführung der Daten aus dem analogen Format auf den Beobachtungsprotokollen in ein digitales Format erfolgte durch die Verwendung eines quadratischen Zählrahmens.

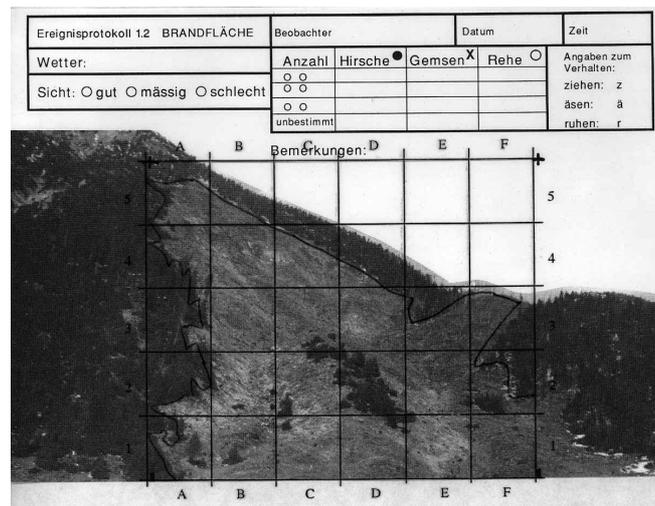


Abb. 5.7: Verwendetes Analyse-Quadratraster

Der quadratische Zählrahmen wurde über das Erhebungsprotokoll gelegt, anschliessend wurden Beobachtungen pro Quadrat ausgezählt.

Die Auswertungen erfolgten digital. Dazu erstellten K. Hindenlang und D. Wirz einen Auswertungs-Prototyp (Hyperstacks) und erstellten eine Datenbank [HINDENLANG & WIRZ 1992]. Die Analysen umfassen Dichtenberechnungen, Häufigkeitsverteilungen und Untersuchungen der Verschiebungswege der Tiere. Die Analyse der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Huftiere auf der Brandfläche erfolgte im Referenzsystem der Ansichtphotographie und somit nicht geocodiert.

5.3.3 Erfahrungen und Beobachtungen

Raumverteilung Huftiere

- **Kartengrundlage:** Beim Digitalisieren der Beobachtungsdaten traten die üblichen Probleme auf: Papierverzüge durch Falten der Kartengrundlage und Schäden am Papier und am Schriftbild durch Nässe.
- **Datenverwaltung:** Für die Verwaltung der Attributdaten wird bis anhin eine flache Datenbank verwendet. Sie nimmt allerdings schon nach der Aufnahme weniger Erhebungstermine ein beträchtliches Ausmass an. Langfristig muss eine leistungsfähigere Attributverwaltung angestrebt werden.

Brandfläche II Fuorn

Durch die Verwendung eines quadratischen Gitters als Zählrahmen auf einer Photographie der nach hinten oben geneigten Brandfläche, ergaben sich Massstabsdifferenzen, die jede statistische Analyse der Daten in diesem Referenzsystem in Frage stellen.

Man war sich dieser Fehler von Anfang an bewusst, entschied sich aber in Ermangelung an Alternativen, trotzdem für dieses Zählraster. Erst im Jahre 1994 gelangte man zum Entschluss, diese Art der Aufnahme und Analyse einzustellen.

Aus geographischer Perspektive und vor dem Hintergrund der sich stets entwickelnden Software-Lösungen der Geographischen Informationsverarbeitung drängte sich eine kritische Neubeurteilung dieses Verfahrens auf. Nicht zuletzt auch, weil man sich des grundsätzlichen Wertes des Datensatzes durchaus bewusst war.

Es darf nicht verwundern, dass in den Analysen stets die hinteren Partien der Brandfläche die höchsten Huftierdichten aufweisen. Denn je weiter im Hintergrund eine Rasterzelle des Zählrahmens liegt, desto grösser ist ihr Flächenäquivalent in der Orthogonalprojektion.

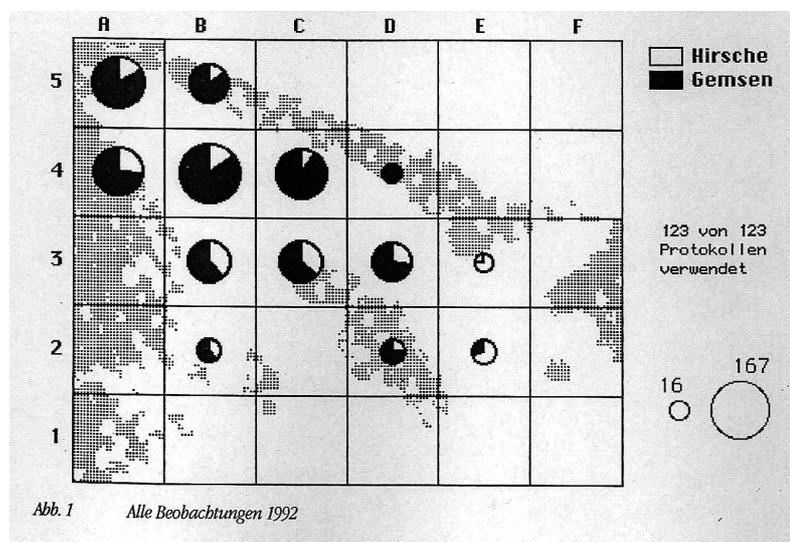


Abb. 5.8: Bisher erfolgte Auswertung der räumlichen Verteilung

Die Kreisdiagramme stehen für Anzahl Huftierbeobachtungen innerhalb eines Rasterquadrates. [Quelle: HINDENLANG & WIRZ 1992]

Besonders auffallend lässt sich dieser scheinbar triviale Zusammenhang beispielsweise am Quadrat B4 veranschaulichen, welches im hinteren und oberen Teil der Brandfläche liegt und somit in einer Orthogonalprojektion einen sehr Flächenanteil aufweist.

Es ist leicht einzusehen, dass nur schon durch die Generalisierung der Punktinformation auf eine Rasterzelle ein hohes Mass an positionaler Information verloren geht. Des Weiteren wird sofort klar, dass dieser Informationsverlust im oberen Teil der Brandfläche viel grösser ist als im Vordergrund, da hinten die Rasterzellen grössere Flächenanteile haben. Verbindet man diese beiden Feststellungen, so verlieren Beobachtungsdaten aus den Rasterzellen der Reihen 5 und 4 weitgehend ihren Wert im Bezug auf positionale Information.

Deshalb liegt der Verdacht nahe, dass die aufgeführten Verteilungsmuster sehr schön die geometrische Verzerrung illustrieren, hingegen keine Aussage erlauben über effektive Huftierverteilungen.

5.3.4 Handlungsbedarf und Arbeitsvorschläge

Raumverteilung Huftiere

- **Metainformation:** Für eine sinnvolle Analyse der Beobachtungsdaten ist eine Abkehr vom nicht hinterfragten und nicht genauer beschriebenen Beobachtungspunkt zu fordern. Zum einen führt nur die konsequente Mitnahme von Erhebungs(un-)genauigkeiten und Verarbeitungsfehlern zu sinnvollen Aussagen über positionale Genauigkeiten. Des Weiteren sollten gerade in wildtierbiologischen Anwendungen Alternativen zur simplen Punktrepräsentation einer Beobachtung gesucht werden. Denkbar wären dazu Isolinienoberflächen für Aufenthaltswahrscheinlichkeiten.
- **Datenverwaltung:** Die bis anhin erstellte flache Datenbank stellt in der langfristigen Perspektive für die entstehende Datenflut nur eine Übergangslösung dar. Die Zukunft gehört auch hier der Relationalität. Für die Verwaltung der entstehenden Daten empfiehlt sich langfristig die Abkehr von der flachen Datenbank und die Verwendung einer relationalen Datenbank⁵.

Brandfläche Il Fuorn

- **Perspektivenwechsel:** Der aus geographischer Sicht einzig sinnvolle Ausweg aus der "Sackgasse Zählraster" liegt in der Abkehr vom verfälschenden Bildreferenzsystem und in der Hinwendung zur gebräuchlichen Orthogonalprojektion. Für eine Weiterverarbeitung der Beobachtungsdaten und für die Integration ins GIS-SNP drängt sich eine digitale Geocodierung der Rohdaten, also der einzelnen Beobachtungsdaten auf der Brandfläche auf. Dies kann mit einer Koordinatentransformation erreicht werden.
- **Transformation:** Aus dem Perspektivenwechsel ergibt sich folgender **Arbeitsvorschlag:** Es muss ein Weg gesucht werden, wie ab dem historischen Erhebungsformular Koordinaten abgelesen und in Orthogonalkoordinaten überführt werden können. Im anschließenden Schritt müssen alle Datensätze transformiert werden. Erst dann können wieder raumzeitliche Analysen durchgeführt werden.

5. vgl. Glossar

Kapitel 6

Entwicklung der Prototypapplikation „TRAFO“

6.1 Zielsetzungen

Das sechste Kapitel beschreibt die konkrete Umsetzung des im Kapitel 5 formulierten Arbeitsvorschlages zur Bereitstellung eines Transformations-Werkzeugs von Bildpunkten zu Kartenpunkten. Somit sind Startpunkt und Ziel des entstehenden Datenflusses klar definiert: Der Datenfluss muss von den Bildkoordinaten des historischen Bildes zu geocodierten Kartenkoordinaten führen. Für die dazwischen liegenden Verarbeitungsschritte kommen photogrammetrische Verfahren und Techniken zum Einsatz. Insbesondere wurde zur Ermöglichung eines rechnerischen Transformationsverfahrens die Zwischenstufe eines Messkammerbildes eingeführt.

Der Datenfluss lässt sich wie folgt beschreiben (vgl. Anhang V):

1. Überführung der Beobachtungspunkte von der historischen Aufnahme auf das erstellte Messkammerbild
2. Transformation der jetzt im Bildkoordinatensystem des Messkammerbildes vorliegenden Beobachtungspunkte in die Kartenprojektion, also in eine Orthogonalprojektion¹ unter Verwendung des Prinzips Monoplotting (vgl. Kap. 6.4.2)

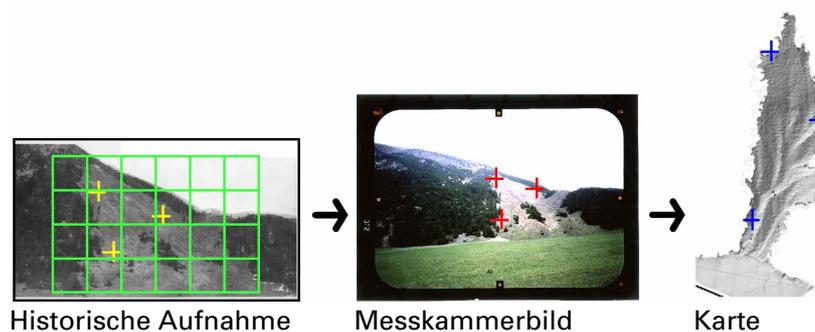


Abb. 6.1: Datenfluss

Diese Abfolge zeigt den Datenfluss des Koordinaten-Transformationsverfahrens der Applikation "TRAFO". Die Beobachtungspunkte werden von der historischen Aufnahme über das Messkammerbild zur Karte transformiert. [Quelle: eigene Darstellung]

1. vgl. Glossar

6.2 Schlaglicht terrestrische Photogrammetrie

6.2.1 Grundlagen der Photogrammetrie

Die Photogrammetrie, zu deutsch Bildmessung, ist ein Verfahren zur Vermessung von Objekten nach Lage und Form. Dabei werden die Messungen nicht direkt am Objekt, sondern indirekt auf Bildern des Objektes vorgenommen. Die Photogrammetrie ist deshalb ein Verfahren der Fernerkundung [KONECNY & LEHMANN 1984].

Die Photogrammetrie bemüht sich dabei um die Erfassung ausgewählter Objekte, wie beispielsweise Linien oder Punkte. Der allgemeine Weg der Photogrammetrie führt über die geometrische und radiometrische Bildverarbeitung zu Objektinformation. Die wichtigste Anwendung der Photogrammetrie liegt in der Vermessung der Erdoberfläche und ihrer Darstellung in Plänen und topographischen Karten. Die Photogrammetrie ist ein geodätisches Messverfahren [KONECNY & LEHMANN 1984].

Ein photographisches Bild liefert nur je einen geometrischen Ort für die Lage eines abgebildeten Objektpunktes entlang eines Bildstrahls zwischen Bildpunkt, Aufnahmezentrum und Objektpunkt [KONECNY & LEHMANN 1984]. Die räumliche Ausmessung von photographischen Bildern in Lage und Höhe ist daher nur möglich,

- wenn das Objekt von zwei verschiedenen Aufnahmestandorten photographiert wurde und somit ein Stereobildpaar vorliegt. Jeder Objektpunkt kann dann durch den Schnitt zweier Bildstrahlen bestimmt werden; oder
- wenn bereits eine Zusatzinformation über die Z-Koordinate der Objekte vorliegt (z. B. in Form eines digitalen Höhenmodelles (DHM)).

6.2.1.1 Koordinatensysteme

Zur Rekonstruktion der Lage und Form eines Objektes werden die geometrischen Abbildungsgesetze der Photographie verwendet. Die in der Photogrammetrie verwendeten Aufnahmekameras erzeugen (Mess-)bilder, die mit hinreichender Genauigkeit als Zentralprojektionen der photographierten Objekte angesehen werden können [KRAUS, 1994]. Zur Beschreibung des Abbildungssystems im Raum bedient man sich zweier Koordinatensysteme, eines zweidimensionalen Bildkoordinatensystems (x/y) und eines dreidimensionalen Objektkoordinatensystems ($X/Y/Z$) (häufig die Landeskoordinaten). Dazu folgende Definitionen²:

2. In der Folge bezeichnen Koordinaten in GROSSBUCHSTABEN Objektkoordinaten im Raum, Kleinbuchstaben hingegen Bildkoordinaten.

Symbol	Bedeutung
O	Projektionszentrum, Aufnahmezentrum (X_O, Y_O, Z_O)
M	Bildmittelpunkt, Schnittpunkt der Verbindungslinien zwischen den Rahmenmarken
H	Bildhauptpunkt, Durchstoßpunkt der optischen Achse durch die Bildebene, mit den Koordinaten (x_h, y_h). Als Folge der real gebauten Optik liegt H in der Regel nicht exakt im Bildmittelpunkt
P	Objektpunkt im Raum (X_p, Y_p, Z_p)
P'	Bildpunkt mit den Koordinaten (x_p, y_p)
c	Kammerkonstante, sie entspricht ungefähr der Brennweite

Tab. 6.1: Definitionen photogrammetrischer Koordinatensysteme
[Quelle: KRAUS 1994, p. 15]

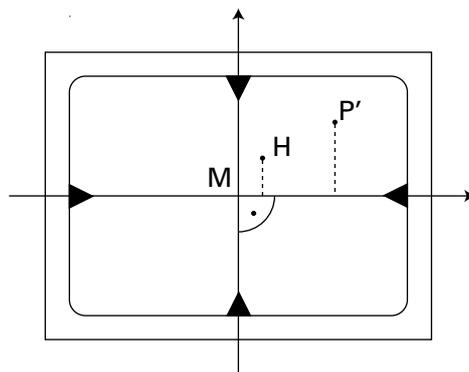


Abb. 6.2: Messkammerbild
Das Bildkoordinatensystem eines Messkammerbildes wird repräsentiert durch die Rahmenmarken. [Quelle: KRAUS 1994, p. 13]

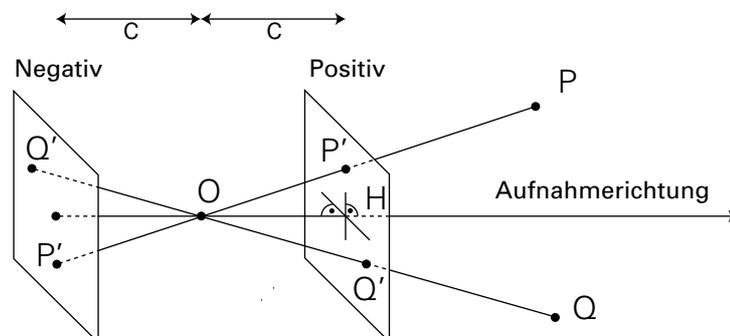


Abb. 6.3: Positiv- und Negativstellung
[KRAUS 1994, p. 13]

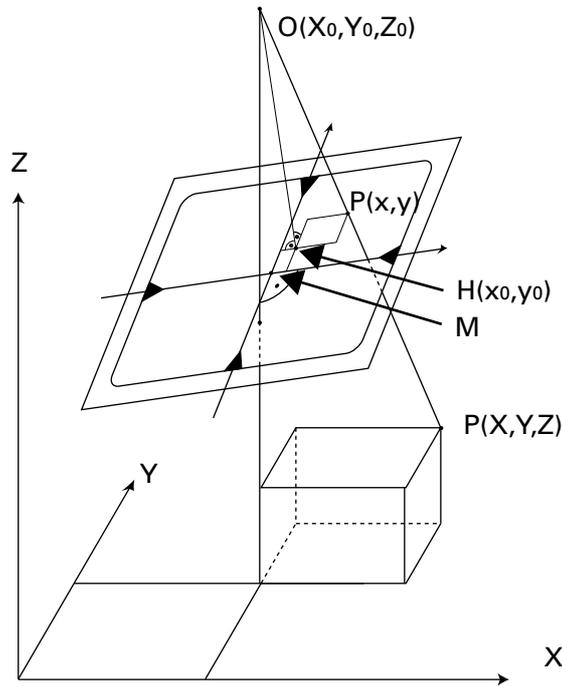


Abb. 6.4: Zusammenhang zwischen Bild- und Objektkoordinaten
 [Quelle: KRAUS 1994, p. 14]

6.2.1.2 Orientierungsparameter

Zur Beschreibung der Aufnahmegeometrie bedient man sich bestimmter unabhängiger Parameter, man spricht von Orientierungselementen. Insgesamt definieren neun Parameter die Zentralprojektion eines Bildes [KRAUS 1994]:

innere Orientierung:

Symbol	Bedeutung
c	Kammerkonstante
x_h, y_h	Bildkoordinaten des Bildhauptpunktes

Die drei Konstanten der inneren Orientierung beschreiben die innere Geometrie der Kamera. Sie legen das Projektionszentrum in Bezug zur Bildebene fest. Zusätzlich kann die Abweichung der gebauten Optik von der Zentralprojektion durch weitere Parameter beschrieben werden. Dies alles sind kameraspezifische Größen, die der Hersteller im Labor bestimmt und im Kalibrierungsbericht³ der Kamera festhält.

3. vgl. Glossar

äussere Orientierung:

Symbol	Bedeutung
X_o, Y_o, Z_o	Objektkoordinaten des Projektionszentrums
ω, φ, χ	Drehwinkel des Bildes

Die sechs Parameter der äusseren Orientierung legen das Projektionszentrum und die Stellung des Bildes im Objektkoordinatensystem fest. Sie können bei stabilen Aufnahmeplattformen direkt durch geodätische Messungen festgelegt oder aber bei beweglichen Plattformen, wie etwa Flugzeugen, indirekt über Passpunkte bestimmt werden.

6.2.1.3 Kammern und Bilder

Kameras lassen sich nach KRAUS [1994] aus methodischer Sicht in drei Klassen einteilen:

- Nicht-Messkameras (non-metric cameras), die für die Photogrammetrie nur bei geringen Genauigkeitsansprüchen und mit grosstem Auswerteaufwand verwendet werden können. Im Rahmen dieser Arbeit werden Aufnahmen von Nicht-Messkammern *Amateurbilder* genannt. Sie entstammen typischerweise herkömmlichen Kleinbildkameras.
- Teilmesskameras (partial-metric cameras), die aus ursprünglich nicht für die Photogrammetrie bestimmten Kameras für Messzwecke weiterentwickelt wurden, aber nicht alle Elemente der inneren Orientierung in optimaler Weise stabil aufweisen.
- Messkameras (metric cameras), die speziell für die Photogrammetrie entwickelt wurden. Bilder von Messkammern werden Messkammerbilder genannt. Das Kalibrierungsprotokoll einer Messkammer enthält zur inneren Orientierung folgende Parameter:
 - die Sollbildkoordinaten der Rahmenmarken
 - die Koordinaten des Bildhaupt- (H) und Bildmittelpunktes (M)
 - die Kammerkonstante c
 - die mittlere radiale optische Verzeichnung
 - das Kalibrierungsdatum

6.2.2 Terrestrische Photogrammetrie

Je nach Art des Aufnahmestandortes unterscheidet man zwischen der gebräuchlichen Luftbildmessung und der terrestrischen Photogrammetrie.

In der terrestrischen Photogrammetrie werden die Messbilder üblicherweise nicht in systematischen Bildflügen vom Flugzeug, sondern in beliebiger, dem Aufnahmeobjekt am günstigsten angepassten Aufnahmeanordnung von terrestrischen, also erdgebundenen, Standpunkten aus gemacht. In der terrestrischen Photogrammetrie bildet das

Stereobildpaar den Normalfall [KONECNY & LEHMANN 1984].

Die terrestrische Photogrammetrie besitzt gegenüber der Luftphotogrammetrie einige Nachteile. Die Abbildungsstandorte sind wegen der Sichtverhältnissen auf der Erdoberfläche geländeabhängig. Für die entsprechenden Strahlen zwischen zwei Aufnahmestandorten und den jeweiligen Objektpunkten im Gelände ergeben sich für den Stereofall mit kurzer Basis sehr unterschiedliche Schnittwinkel, für weite Entfernungen entstehen schleifende Schnitte. Die Auswertegenauigkeit nimmt daher mit zunehmender Objektentfernung sehr stark ab. Die auftretenden Fehler sind abhängig vom Bildmasstab, welcher mit der Aufnahmeentfernung variiert [KONECNY & LEHMANN 1984, verändert].

In vielen modernen Anwendungen werden daher bewusst rechtwinklig zueinander liegende Aufnahmerichtungen verwendet, um schleifende Schnitte zu verhindern.

Die terrestrische Photogrammetrie kommt heute in vielen industriellen Anwendungen (z. B. Vermessung von Flugzeug-Rohlingen oder Crash-Test-Autos), in der Architektur und in Sonderanwendungen im Hochgebirge zum Einsatz [KONECNY & LEHMANN 1984, verändert].

6.3 Entwicklungsumgebung

Es war von Anfang an klar, dass eine sehr spezifische Lösung für ein sehr spezifisches Problem entstehen würde. Gleichwohl sollte aber die entwickelte Applikation⁴ auf verwandte Probleme transponierbar bleiben und musste daher in einer möglichst weit verbreiteten Programmiersprache verfasst und einfach aufgebaut sein. Je einfacher und allgemeiner das Werkzeug werden würde, desto leichter würde es sich auch in bestehende Benutzeroberflächen, bzw. kommerzielle GIS-Lösungen wie etwa ARC/INFO oder ArcView der Firma ESRI einbinden lassen. Aus diesen Gründen fiel die Wahl der Entwicklungsumgebung auf die Programmiersprache C unter dem Betriebssystem UNIX.

6.3.1 Das Betriebssystem UNIX

Ein Betriebssystem wie z.B. UNIX stellt die Schnittstelle zwischen dem Benutzer und dem Computer dar. Das Betriebssystem verwaltet vorhandene Ressourcen, startet Programme und steuert den Dialog zwischen der Hardware und dem Benutzer. Das Betriebssystem UNIX wurde bereits in den Siebziger Jahren in den Labors der amerikanischen Firma AT&T entwickelt [BOES & REIMANN 1990].

UNIX ist ein sehr leistungsfähiges Betriebssystem für mehrplatzfähige Computer, das zunächst als Software-Entwicklungsplattform für Programmierer konzipiert wurde. UNIX ist heute weit verbreitet, was folgenden Vorzügen zuzuschreiben ist: Leichte Erlernbarkeit, Komfort und Mächtigkeit. Zur Frage, was UNIX so erfolgreich machte, meinten KERNIGHAM und PIKE bereits 1984:

4. vgl. Glossar

„First, because it is written in C, it is portable - UNIX systems run on a range of computers from microprocessors to the largest mainframes [...]. Second, the source code is available and written in a high-level language, which makes the system easy to adapt to particular requirements. Finally, and most important, it is a good operating system, especially for programmers“ [KERNIGHAM & PIKE 1984, p. vii-viii].

UNIX ermöglicht es, Programme zu laden und auszuführen, ohne dass ein zusätzlicher Aufwand getrieben werden muss. Der Anwender hat die Möglichkeit, Programme ablaufen zu lassen, die in C, Pascal oder auch Fortran geschrieben sind [KERNIGHAM & PIKE 1984].

6.3.2 Die Programmiersprache C

Beinahe das gesamte Betriebssystem UNIX ist in C implementiert, C ist die Standardsprache in UNIX [WALKER 1986].

Im Vorwort zur ersten Ausgabe ihres Standardwerkes „the C programming language“ beschrieben die Väter der Programmiersprache KERNIGHAM und RITCHIE ihre Sprache C wie folgt:

„C is a general-purpose programming language which features economy of expression, modern control flow and data structures, and a rich set of operators“ [KERNIGHAM & RITCHIE 1988].

Die Programmiersprache C ist eng an das Betriebssystem UNIX gebunden, da sowohl das System selbst als auch viele Dienstprogramme in C verfasst sind. C ist keine *grosse* Sprache. Ihre Stärke liegt in der Abwesenheit von Restriktionen. C bietet die bekannten Funktionalitäten für gut strukturierte Programme: Gruppierung von Aussagen (statements), Entscheidungsfindung (if-else), Auswahl aus einer Anzahl möglicher Alternativen (switch), Schleifenbildung mit Abbruchtest zu Beginn (while, for) und am Ende der Schleife (do) und Ausstieg aus der Schleife (break) [KERNIGHAM & RITCHIE 1988].

In den Jahren 1983-1988 entwickelte das American National Standards Institute (ANSI) die in dieser Arbeit verwendete, heute gebräuchliche und verständlichere Definition von C, den sog. „ANSI C Standard“ [KERNIGHAM & RITCHIE 1988]. Für die Entwicklung des vorgestellten Prototypen wurde der ANSI C Standard verwendet.

6.4 Datenfluss

Das zur Anwendung kommende Prinzip zur Koordinatentransformation der Beobachtungspunkte entspricht einem Verfahren der Disziplin der terrestrischen Photogrammetrie. Das Vorgehen entspricht im Wesentlichen einer von GRÜN und SAUERMANN bereits Ende der Siebziger Jahre beschriebenen Prozedur zur Überwachung von zeitabhängigen Veränderungen von Merkmalen auf einer Gletscheroberfläche unter Verwendung einer Nichtmesskammer [GRÜN & SAUERMANN 1977]. Die beschriebene Anwendung gleicht dem Problem der Beobachtungsdaten *Brandfläche Il Fuorn* insbesondere in der Verwendung nur eines Nichtmesskammerbildes und

nur eines Bildes anstelle eines Stereopaars.

GRÜN und SAUERMANN weisen darauf hin, dass es grundsätzlich unmöglich ist, Raumpunkte aus nur einem Bild zu rekonstruieren, und deshalb zusätzliche geometrische Information über das photographierte Objekt (hier das Gelände) ins Verfahren einfließen müssen. Unter Voraussetzung einer gewissen Unveränderlichkeit des Geländes könne diese Information als digitales Höhenmodell (DHM) einfließen, welches vorgängig erstellt würde [GRÜN & SAUERMANN 1977, p. 2].

Weiter halten GRÜN und SAUERMANN [1977] fest, dass die Rekonstruktion von Abbildungsstrahlen im Raum aus einem orientierten Messkammerbild kein Problem darstelle, dagegen aber die Verwendung eines Amateurbildes Schwierigkeiten bereite. Insbesondere würden bei letztgenannten die Parameter der inneren und teilweise auch der äusseren Orientierung fehlen. Als Lösung schlagen sie eine Koordinatentransformation der Koordinaten (x', z') des Amateurbildes in Koordinaten (x, z) eines zu erstellenden Messkammerbildes vor. Anschliessend sei dann der dadurch bestimmbare Abbildungsstrahl mit dem Gelände zu schneiden [GRÜN & SAUERMANN 1977].

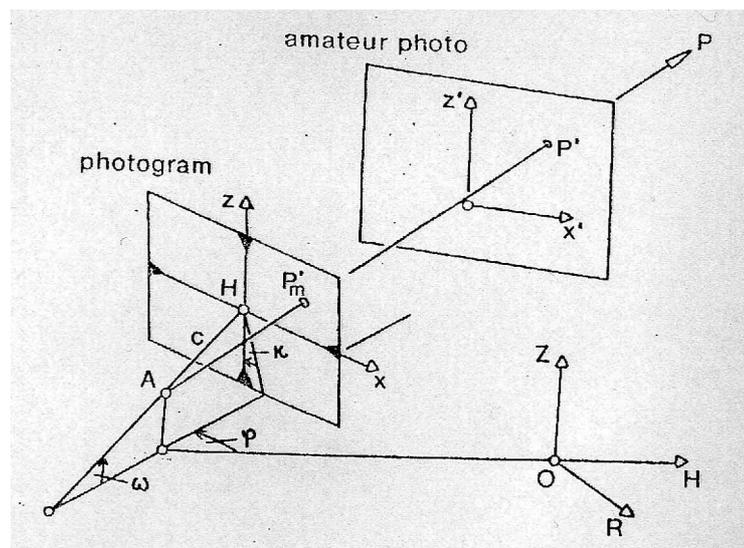


Abb. 6.5: Grundidee des Verfahrens

Projektion eines Abbildungspunktes in ein Amateurbild und in ein Messkammerbild. Der Kamerastandort A und der Punkt P sind im Objektkoordinatensystem (R, H, Z) angegeben, die Bildpunkte P' im Amateurphoto in (x', z') , P'_m im Messkammerbild (Photogramm) in (x, z) . Des Weiteren sind die Rotationswinkel ω, φ, χ angegeben. [Quelle: GRÜN & SAUERMANN 1977, p. 4]

6.4.1 Stufe I: Vom Amateurbild ins Messkammerbild

Die erste Stufe des Datenflusses hat somit folgende Anforderung zu erfüllen:

- Absicht: Überführung der Huftier-Beobachtungspunkte (in Bildkoordinaten des Bildkoordinatensystems (x_a, y_a) des „historischen“ Amateurbildes) in Beobachtungspunkte in einem Messkammerbild der *Brandfläche Il Fuorn* (in Bildkoordinaten des Messkammerbildes (x_m, y_m)).

Im Gegensatz zu GRÜN und SAUERMAN, die für jede Erhebung ein neues Bild erstellen, wurden die Beobachtungen *Brandfläche Il Fuorn* auf Kopien des immer gleichen Bildes notiert. Somit sind Standort und Blickrichtung für alle Aufnahmen identisch. Allerdings musste davon ausgegangen werden, dass die verwendete, historische Aufnahme mit Verzerrungen und Massstabsunterschieden behaftet war. Aus diesem Grund entschied man sich nicht wie GRÜN und SAUERMAN [1977] für eine projektive sondern für eine affine Transformation.

Affine Ebenentransformation:

Die affine Ebenentransformation erfasst Translation, Rotation, Massstabsunterschiede und Orthogonalitätsabweichungen zwischen zwei Koordinatensystemen in der Ebene [GÖPFERT, 1987]. Sind (x,y) die Koordinaten eines beliebigen Punktes im System 1 und (X',Y') die Koordinaten des entsprechenden Punktes im System 2 so gilt folgende Vorschrift:

$$X' = a_0 + a_1x + a_2y \quad (1)$$

$$Y' = b_0 + b_1x + b_2y \quad (2)$$

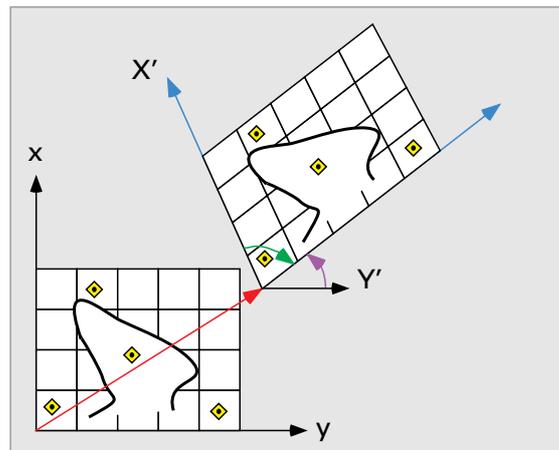


Abb. 6.6: Ebene Affintransformation mit Überbestimmung

Dargestellt sind die beiden Koordinatensysteme (x,y) und (X',Y') . Die Transformation erfasst **Translation**, **Rotation**, **Massstabsunterschiede** und **Orthogonalitätsabweichungen**. [Quelle: eigene Darstellung]

Die sechs Parameter a_0 , a_1 , a_2 , b_0 , b_1 und b_2 sind durch drei Passpunkte⁵ eindeutig bestimmt. Diese Passpunkte dürfen nicht auf einer Geraden liegen. Bei mehr als drei Passpunkten ($n > 3$) spricht man von Überbestimmung. Die Parameter ergeben sich dann näherungsweise nach folgenden Berechnungsgleichungen, welche nach der Methode der kleinsten Quadrate abgeleitet wurden:

5. vgl. Glossar

$$i = 1 \dots n$$

$$X_s = \frac{[X_i]}{n} \quad Y_s = \frac{[Y_i]}{n} \quad x_s = \frac{[x_i]}{n} \quad y_s = \frac{[y_i]}{n} \quad (3)$$

$$\bar{X}_i = X_i - X_s \quad \bar{Y}_i = Y_i - Y_s \quad \bar{x}_i = x_i - x_s \quad \bar{y}_i = y_i - y_s \quad (4)$$

$$a_1 = \frac{([\bar{y}_i^2] \cdot [\bar{x}_i \cdot \bar{X}_i]) - ([\bar{x}_i \cdot \bar{y}_i] \cdot [\bar{y}_i \cdot \bar{X}_i])}{([\bar{x}_i^2] \cdot [\bar{y}_i^2]) - ([\bar{x}_i] \cdot [\bar{y}_i])^2} \quad (5.1)$$

$$a_2 = \frac{([\bar{x}_i^2] \cdot [\bar{y}_i \cdot \bar{X}_i]) - ([\bar{x}_i \cdot \bar{y}_i] \cdot [\bar{x}_i \cdot \bar{X}_i])}{([\bar{x}_i^2] \cdot [\bar{y}_i^2]) - ([\bar{x}_i] \cdot [\bar{y}_i])^2} \quad (5.2)$$

$$b_1 = \frac{([\bar{y}_i^2] \cdot [\bar{x}_i \cdot \bar{Y}_i]) - ([\bar{x}_i \cdot \bar{y}_i] \cdot [\bar{y}_i \cdot \bar{Y}_i])}{([\bar{x}_i^2] \cdot [\bar{y}_i^2]) - ([\bar{x}_i] \cdot [\bar{y}_i])^2} \quad (5.3)$$

$$b_2 = \frac{([\bar{x}_i^2] \cdot [\bar{y}_i \cdot \bar{Y}_i]) - ([\bar{x}_i \cdot \bar{y}_i] \cdot [\bar{x}_i \cdot \bar{Y}_i])}{([\bar{x}_i^2] \cdot [\bar{y}_i^2]) - ([\bar{x}_i] \cdot [\bar{y}_i])^2} \quad (5.4)$$

$$a_0 = X_s - (a_1 \cdot x_s) - (a_2 \cdot y_s) \quad (5.5)$$

$$b_0 = Y_s - (b_1 \cdot x_s) - (b_2 \cdot y_s) \quad (5.6)$$

Die Schritte (3) und (4) führen eine Schwerpunktzentrierung durch. Dieses Vorgehen gewährleistet eine höhere numerische Stabilität des Verfahrens. Die eckigen Klammern [Ausdruck] bedeuten:

$$\sum_{i=1}^n \text{Ausdruck}$$

Passpunkte:

Die Passpunkte müssen in beiden Bildern eindeutig angesprochen werden können, sie müssen sog. korrespondierend sein. Da im Fallbeispiel Dauerbeobachtung *Brandfläche Il Fuorn* die Passpunkte manuell aus dem historischen Amateurbild herausgelesen werden müssen, wurde zur Minimierung der entstehenden Fehler mit Überbestimmung gearbeitet.

Umsetzung:

Die Umsetzung der affinen Ebenentransformation geschieht in zwei aufeinanderfolgenden Schritten:

1. Ableitung der Transformationsvorschriften nach den Formeln (3)-(5.6).
2. Eigentliche Transformation der Koordinatenpaare durch Einsetzen der Koordi-

natenpaare in Formel (1) und (2).

Zu schaffende Rahmenbedingungen:

Aus obigen Ausführungen leiten sich folgende Rahmenbedingungen ab, die es zur angestrebten Transformation eines Punktdatensatzes zu schaffen gilt:

1. Erstellung eines orientierten (innere und äussere Orientierung bekannt) Messkammerbildes der *Brandfläche Il Fuorn*. Soweit möglich ist der Aufnahmeort demjenigen der historischen Aufnahme anzugleichen. Zusätzlich sind im Gelände die angestrebten Passpunkte optisch zu markieren, was die rechnerische Orientierung der Messkammerbilder erleichtert.
2. Koordinatenliste der Passpunkte im Messkammerbild-Koordinatensystem
3. Koordinatenliste der Passpunkte im Amateurbild-Koordinatensystem. Die Punkte können dazu an einem Digitalisierisch digitalisiert werden.
4. Koordinatenliste der Beobachtungspunkte im Amateurbild-Koordinatensystem, also im gleichen Koordinatensystem in welchem die Passpunkte digitalisiert wurden.

6.4.2 Stufe II: Vom Messkammerbild in die Orthogonalprojektion

Die nun anschliessende Stufe II des Datenflusses muss folgender Anforderung genügen:

- Absicht: Berechnung der Kartenkoordinaten in der Orthogonalprojektion aus den bereitgestellten Beobachtungskoordinaten im Messkammerbild-Koordinatensystem.

Monoplotting:

Für diesen Schritt anerbote sich der Prozess Monoplotting. KRAUS definiert Monoplotting wie folgt [KRAUS 1994, p. 337]:

„Die analytische Einzelbildauswertung gekrümmter Objektflächen wird - in Anlehnung ans Englische - mit Monoplotting bezeichnet. [...] Monoplotting wird sowohl für Auswertungen von Luftbildern als auch von terrestrischen Bildern eingesetzt.“

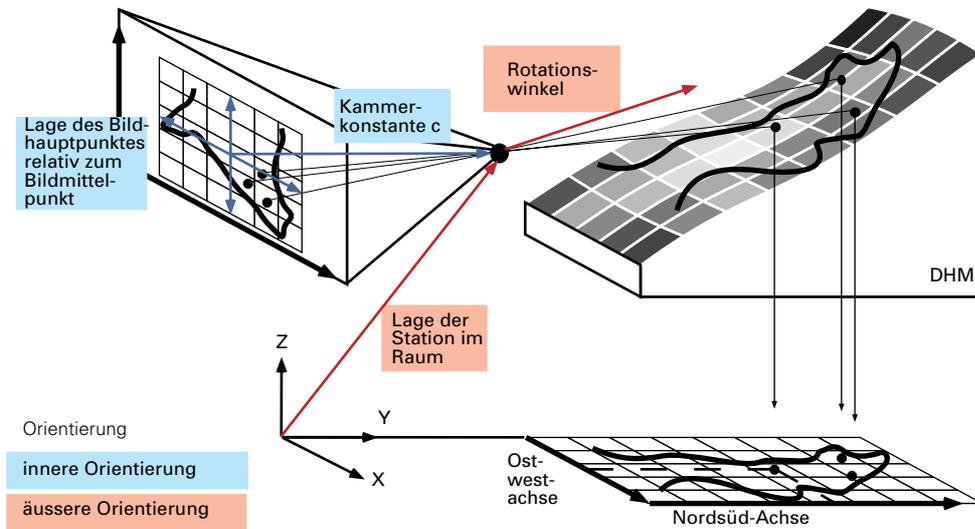


Abb. 6.7: Monoplotting

Beim Prozess Monoplotting werden Abbildungspunkte eines Messkammerbildes auf das digitale Höhenmodell rückprojiziert, wodurch ihre Kartenkoordinaten ermittelt werden können. [Quelle: eigene Darstellung]

Man verwendet anstelle eines Stereobildpaares nur ein Messkammerbild, zusätzlich aber das digitale Höhenmodell. Monoplotting kann somit als die Umkehr des geläufigen Ablaufes der Photogrammetrie beschrieben werden, bei dem aus einem Stereobildpaar Lage- und Höheninformation gewonnen wird.

Unter der Bedingung, dass die innere und äussere Orientierung der auszuwertenden Aufnahme bekannt ist, gelangt man aus den Bildkoordinaten (x_m, y_m) eines Beobachtungspunktes nach folgender Beziehung zu den Raumkoordinaten eines beliebigen Punktes auf dem Abbildungsstrahl (X, Y, Z) [KRAUS 1994, p. 336]⁶.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \end{bmatrix} + R \times \begin{bmatrix} x_m - x_h \\ y_m - y_h \\ 0 - c \end{bmatrix} \quad (6)$$

Wobei (X_o, Y_o, Z_o) die Lage des Projektionszentrums, R die Rotationsmatrix (welche abgeleitet werden kann aus den Winkeln ω, φ, χ), (x_h, y_h) die Bildkoordinaten des Bildhauptpunktes und (x_m, y_m) die Bildkoordinaten des untersuchten Bildpunktes darstellen.

Nun bewegt man sich vom Kamerastandort solange auf dem Abbildungsstrahl auf das Gelände zu, bis die Differenz des z -Wertes auf dem Strahl und des (interpolierten) z -

6. Diese Formel stellt einen Spezialfall der Gleichung einer räumlichen Ähnlichkeitstransformation dar, bei der die Masstabeszahle des Bildkoordinatensystems Eins gesetzt wurde. Ausführliche Erläuterungen sind zu finden in [KRAUS 1994, p. 121ff.].

Wertes des DHM Null wird. In diesem Punkt schneidet der Abbildungsstrahl das Gelände, es ergeben sich die korrigierten Objektkoordinaten X, Y und Z.

Genauigkeit:

Die Genauigkeit des Monoplotting-Verfahrens hängt gemäss KRAUS [1994] in erster Linie vom Schnittwinkel des Abbildungsstrahles mit dem Gelände ab. Bei sehr flach einfallenden Strahlen verursachen folgende Ungenauigkeiten bereits grosse Fehler der xy-Koordinaten:

- geringe Höhenfehler des digitalen Höhenmodells
- kleine Fehler in der inneren und äusseren Orientierung des Bildes
- kleine Fehler bei der Messung der Bildkoordinaten des Beobachtungspunktes

Beim Fallbeispiel *Brandfläche Il Fuorn* ist mit flachen Einfallswinkeln zu rechnen, was besagte schleifende Schnitte nach sich zieht. Dadurch ergeben sich unvermeidbare Lage- und Höhenfehler der korrigierten Punkte. Dies ist als gegeben zu akzeptieren. Das Ablesen der Bildkoordinaten ist durch die Auflösung des historischen Amateurbildes physikalisch beschränkt und kann auch mit moderner Bildverarbeitungssoftware nicht massgeblich verbessert werden. Auch diese Fehlerquelle ist als gegeben zu akzeptieren.

Umsetzung:

Die Umsetzung erfolgt in der oben beschriebenen Weise. Dabei wird für jedes Bildkoordinatenpaar (x_{mi}, y_{mi}) unter Berücksichtigung der inneren und äusseren Orientierung des Messkammerbildes der entsprechende, räumliche Schnittpunkt des Abbildungsstrahles mit dem Höhenmodell ermittelt.

Zu schaffende Rahmenbedingungen:

Aus den im Abschnitt *Genauigkeit* aufgelisteten Fehlerquellen leiten sich direkt die zu schaffenden Rahmenbedingungen für das Fallbeispiel *Brandfläche Il Fuorn* ab.

- KRAUS macht die Verwendung eines engmaschigen und genauen Höhenmodells zu einer unabdingbaren Bedingung für das Gelingen des Ansatzes, damit zwischen den Gitterpunkten sinnvoll interpoliert werden kann [KRAUS 1994].
- Die Minimierung der Fehler der inneren Orientierung konnte dadurch erreicht werden, dass die Erstellung der Messkammerbildes an ein Ingenieurbüro mit entsprechender Präzisionsausrüstung vergeben wurde.

6.5 Die Prototypapplikation „TRAFO“

Im letzten Abschnitt des Kapitels soll nun noch die konkrete Umsetzung des eben vorgestellten Verfahrens erläutert werden.

6.5.1 Aufbau

Die entstehende Applikation hatte von Anfang an einem hybriden Anforderungshorizont zu genügen: In erster Linie musste sie in der Lage sein, die bestehenden 5000 historischen Datensätze zu verarbeiten und zu geocodieren. In zweiter Linie sollte sie

aber auch einer in die Zukunft gerichteten Wiederaufnahme der Beobachtungen unter den neuen Rahmenbedingungen, sprich Aufnahmen auf einem Messkammerbild, Hand bieten. Sie sollte einen Brückenschlag ermöglichen von der Vergangenheit in die Zukunft.

Somit kam nur ein einfacher und modularer Aufbau mit Einzelprogrammen für die einzelnen Verarbeitungsschritte in Frage. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass, je nach Rahmenbedingungen, irgendwo im Verarbeitungsprozess eingestiegen werden kann. Dies ist z. B. dann gefordert, wenn schon ein Messkammerbild vorhanden ist, wie dies bei zukünftigen Felderhebungen *Brandfläche Il Fuorn* der Fall sein wird.

Die Einzelprogramme verarbeiten einfache ASCII-Textdateien mit Punktkoordinaten. Eingabe und Ausgabeformate sind aufeinander abgestimmt. Insbesondere die Datei mit den korrigierten, geocodierten Beobachtungspunkte ist so formatiert, dass sie sich ohne zusätzlichen Aufwand beispielsweise in die Softwareumgebung des Programmpaketes ArcView integrieren und geocodiert darstellen lässt.

6.5.2 Module

Im eben erläuterten Kontext entstanden die drei aufeinander aufbauenden Module `affintrafo.c`, `samplecorr.c` und `monoplot.c`.

Das erste Modul, `affintrafo.c`, berechnet aus den zwei Passpunkt-Koordinatendateien (`<koos_sys_a>`, `<koos_sys_m>`) die Abbildungsvorschrift der affinen Ebenentransformation und schreibt sie in eine Parameterdatei (`<parafile>`). Gleichzeitig werden Parameter mitgeliefert, die die Fehler der Näherungslösung quantifizieren. Nach der Kompilation erfolgt der Programmaufruf direkt in der UNIX-Arbeitsumgebung.

Programmaufruf: `affintrafo <koos_sys_a> <koos_sys_m> <parafile>`

- Das zweite Modul `samplecorr.c` passt nun die Beobachtungspunkte eines beliebigen historischen Datensatzes (`<sample_a>`) ins Koordinatensystem des Messkammerbildes ein (`<sample_m>`). Es bezieht sich dabei auf die von `affintrafo.c` bereitgestellten Transformationsparameter (`<parafile>`). Es resultiert eine Koordinatenliste der Beobachtungspunkte im Messkammerbild-Koordinatensystem.

Programmaufruf: `samplecorr <sample_a> <parafile> <sample_m>`

- Das letzte und aufwendigste Modul `monoplot.c` bewerkstelligt nun den räumlichen Schnitt des Abbildungsstrahles mit dem Höhenmodell. Dazu werden natürlich primär die korrigierten und ins Messkammerbild eingepassten Koordinaten der Beobachtungspunkte benötigt (`<sample_m>`). Zusätzlich müssen die Parameter der inneren (`<int_orient>`) und äusseren Orientierung (`<ext_orient>`) angegeben werden. Des Weiteren kommt hier das hochauf-

lösende, digitale Höhenmodell (DHM) zum Einsatz (<DHM>). Ausgegeben werden eine Datei mit den korrigierten, geocodierten Koordinaten (<sample_o>) und eine ausführliche Dokumentationsdatei (<reportfile>), welche die Ein- und Ausgabeparameter, berechnete Zwischenresultate und Iterations- sowie Interpolationsschritte auflistet.

Programmaufruf: `monoplot >sample_m> <int_orient> <ext_orient>
<DHM> <sample_o> <reportfile>`

Eine wichtige Funktionalität innerhalb des Moduls `monoplot.c` bildet die Interpolation der DHM-Höhenwerte innerhalb der Gitterwerte in der Feinabstimmung des Geländeschnittpunktes. Hier kommt eine bilineare Interpolation der Höhe $z(y,x)$ zum Einsatz. Sind die Punkte 1(0,0), 2(1,0), 3(1,1) und 4(0,1) die im Gegenuhrzeigersinn nummerierten und ins Einheitquadrat verschobenen Eckgitterpunkte, so berechnet sich die Höhe $z(x,y)$ wie folgt [WATSON 1992]:

$$z(x, y) = A + Bx + Cy + Dxy \quad (7)$$

mit den Parametern:

$$A = z_1 \quad (8)$$

$$B = z_2 - z_1 \quad (9)$$

$$C = z_4 - z_1 \quad (10)$$

$$D = z_1 - z_2 + z_3 - z_4 \quad (11)$$

Die Parameter lassen sich ableiten nach der Methode der kleinsten Quadrate [WATSON 1992].

Kapitel 7

Anwendung der Prototypapplikation "TRAFO"

7.1 Aufnahme der Messkammerbilder

Ein wichtiger Eckpfeiler des Datenintegrationsprozesses bildet die Bereitstellung des Messkammerbildes. Im vorliegenden Beispiel der „Brandfläche Il Fuorn“ erfolgte die Aufnahme des Messkammerbildes und die Einmessung der Passpunkte am 27. Mai 1998 durch die Parteien AUER+CLEMENT AG, Ingenieurbüro SIA für Geodäsie, Raumordnung und Luftbildverarbeitung, Flims, und GIS-SNP.

7.1.1 Bestimmung des Aufnahmestandortes

Die eine Hälfte der äusseren Orientierung eines Aufnahmesystems bildet die Lage des Aufnahmestandortes im Raum, also seine X_o -, Y_o - und Z_o -Koordinaten. Diese sollten im Feld näherungsweise bestimmt werden.

Der Aufnahmestandort des neuen, orientierten Bildes sollte möglichst übereinstimmend mit dem Standort der historischen Aufnahme gewählt werden, damit eine hohe Vergleichbarkeit mit der historischen Aufnahme erreicht werden konnte. Durch die angestrebte Annäherung der Aufnahmestandorte sollten die Transformationsparameter klein gehalten.

Leider war der Aufnahmestandort der historischen Photographie unbekannt. Da wie sich herausstellte bei der Bereitstellung der Erhebungsgrundlage auch noch die Ränder der historischen Aufnahme zurechtgeschnitten wurden, fehlten zur Bestimmung des Aufnahmestandortes jegliche Anhaltspunkte, wie etwa Rahmenmarken, Eckpunkte oder die Bildmitte. Diesen ungünstigen Rahmenbedingungen folgend, ging es im Feld darum, eine bestmögliche Näherung zu finden - stets im Wissen, dass hier eine Fehlerquelle lag.

Der Standort vor Ort musste unter Zuhilfenahme der Originalphotographie angenähert und rekonstruiert werden. Die einzigen verwertbaren Informationen zur Bestimmung des Aufnahmestandortes lagen in der historischen Aufnahme selbst, genauer im abgebildeten Ausschnitt des Geländes und der Abbildungsgeometrie. Nur durch genaues Vergleichen der abgebildeten Geländepartien mit dem effektiven Panorama vor Ort konnte der gesuchte Standort näherungsweise rekonstruiert werden. Die Ungenauigkeiten dieser Näherung sind unbekannt, werden aber durch die Verwendung einer Affintransformation ohnehin ausgeglichen.

Der gefundene, hypothetische Aufnahmestandort wurde verpflockt und eingemessen.

In der Folge diente er als Aufnahmestandort der Messkammerbilder.

7.1.2 Passpunktwahl

Nachdem nun der Aufnahmestandort näherungsweise festgelegt war, galt es, die Rahmenbedingungen zu schaffen, für die rechnerische Bestimmung der genauen Parameter der äusseren Orientierung. Zur Berechnung der gesuchten Parameter können Passpunkte im Gelände verwendet werden. Sie werden vor der Erstellung der eigentlichen Aufnahme im Feld durch auffällige Gegenstände optisch markiert, in unserem Falle geschah dies durch weisse, rautenförmige Kartonplatten. Wird ihre Lage anschliessend geodätisch eingemessen, so bilden sie eine exakte Verbindung von Bildkoordinaten ins orthogonalprojizierte System (Landeskartenkoordinaten).

Die Verteilung von Passpunkten in einem Messkammerbild hat zunächst einmal photogrammetrischen Ansprüchen zu genügen:

- **Anzahl:** Es ist eine möglichst grosse Zahl von Passpunkten anzustreben, denn je breiter die Grundmenge ausgelegt ist, desto genauer werden die Näherungslösungen. Die minimale Anzahl liegt bei drei Passpunkten. Zur Bestimmung von sechs Unbekannten werden mindestens sechs Beobachtungen benötigt, bei zwei Bildkoordinaten pro Punkt ergeben sich die besagten drei Punkte.
- **Bildfüllende Verteilung:** Die Passpunkte sollen randlich, im Idealfall in den Ecken der Aufnahme, liegen – sie sollten bildfüllend verteilt sein. Durch ihre stark laterale Lage ergeben sich für die Schnittgeraden ihrer Abbildungsstrahlen grosse Winkel. Je grösser die Winkel zwischen zwei sich schneidenden Geraden, umso kleiner sind die Ungenauigkeiten, die sich aus schleifenden Schnitten ergeben, bei der rechnerischen Bestimmung der Parameter der äusseren Orientierung.
- **Lage zueinander:** Die Lage der Passpunkte zueinander ist so zu wählen, dass nicht mehrere Punkte auf einer Geraden oder auf einen Kreis zu liegen kommen. Solche Punkte ergäben keine zusätzlichen Schnittpunkte und wären informations- und somit wertlos.

Zusätzlich zu den eben formulierten, allgemein photogrammetrischen Anforderungen, galt es vor dem Hintergrund der Integration der *historischen Datenbasis Dauerbeobachtungen Brandfläche Il Fuorn* weitere Aspekte zu berücksichtigen.

- **Korrespondierende Passpunkte:** Der unbedingte Anspruch der Verknüpfung der historischen Daten mit zukünftigen Erhebungsdaten forderte korrespondierende Punkte für das Messkammerbild mit der historischen Aufnahme. Der Einfachheit halber wurden die Passpunkte gerade so gewählt, dass sie sowohl in der historischen Aufnahme als auch im Messkammerbild zweifelsfrei identifiziert und gleichzeitig angesprochen werden konnten. Dazu wurden markante Gegenstände oder Geländepartien verwendet, die sowohl auf der historischen Aufnahme, als auch vor Ort im Gelände einfach erkannt werden konnten. Seit dem Aufnahmezeitpunkt der historischen Photographie veränderte sich das Untersuchungsgebiet. Die bestehenden Koniferen wuchsen beträchtlich und erosive Veränderungen gestalteten das Erscheinungsbild der Brandfläche um. Daher galt es zusätzlich, Gegenstände und Geländefragmente zu finden, die sich in der verstri-

chenen Zeit seit der Aufnahme des historischen Bildes nicht oder nur geringfügig verändert haben konnten. Es eigneten sich demzufolge insbesondere:

- Fusspunkte der Stämme lebender Koniferen
- Fusspunkte grosser Totholzstämme
- Eckpunkte massiger Felsbrocken
- **Erreichbare Passpunkte:** Da die Passpunkte markiert werden mussten, hatten sie erreichbar zu sein. Daher schieden geeignete Passpunkte in unwegsamem oder schlecht erreichbarbarem Gelände aus.

Die praktische Umsetzung obiger Ansprüche gestaltete sich wie folgt: Zunächst wurde vor Ort eine Auswahl an Passpunkten getroffen. Danach lief ein vom Kamerastandort über Funk geleiteter Helfer die einzelnen Punkte an. Er wurde mit Hilfe der historischen Aufnahme genau zu den vorgesehenen Gegenständen und Geländefragmenten gelotst. Anschliessend brachte er die weissen Kartonplatten an.

Im Vorfeld der Aufnahmekampagne galt es sicherzustellen, dass die verwendeten optischen Marken ausreichend gross waren, um sicher über der Auflösung des Aufnahmesystems zu liegen. In Absprache mit dem Ingenieurbüro AUER+CLEMENT AG einigt man sich auf weisse Kartonrauten mit den Massen 40cm x 40cm.

Diesem Verfahren folgend konnten 20 Passpunkte ausgeschieden und verpflockt werden (Punkte Nr. 1 bis 20)

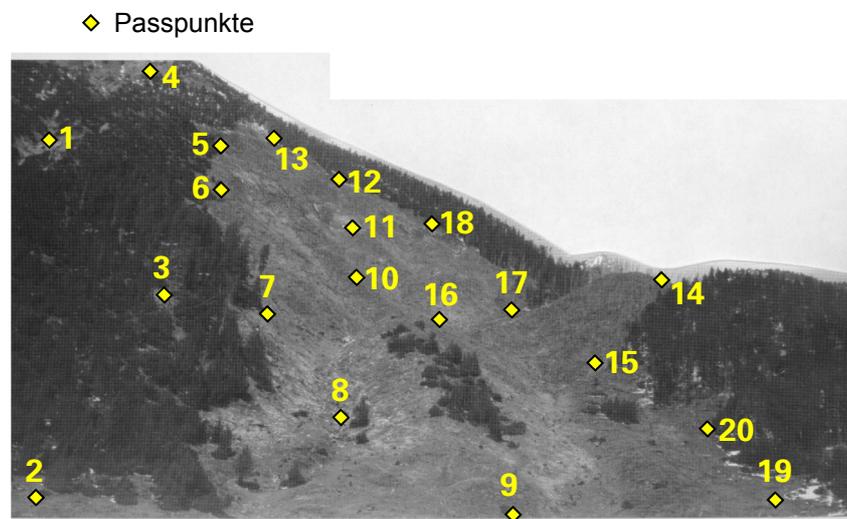


Abb. 7.1: Historische Aufnahme
Die Abbildung zeigt die historische Aufnahme, die Grundlage des Erhebungsformulars. Als gelbe Marken sind die 20 Passpunkte eingetragen, welche an besonders auffälligen Punkten gesetzt wurden.

7.1.3 Messkammerbilder

Als Kammer wurde eine Universalmesskammer UMK 10/1318U der Firma ZEISS verwendet. Die von AUER+CLEMENT AG eigentlich auf den Bildflug vom Helikopter ausgerichtete Kammer wurde für diesen terrestrischen Einsatz umgerüstet und

auf ein mobiles Stativ gesetzt.

Bei einer Kammerkonstanten von 99mm ergibt sich ein nutzbares Bildformat von 120mm auf 166mm. In Winkeln angegeben entspricht das in Richtung der langen Formatseite 79° (88 gon), entlang der kurzen Formatseite 61° (68 gon) und gemessen in der Diagonalen 87° (97 gon). Es handelt sich also um ein Weitwinkelobjektiv, welches den Vorteil hat, einen grossen Geländeausschnitt abzubilden. Als Vergleich, bei einer Kleinbildkamera entspricht die gebräuchliche Brennweite für Weitwinkelobjektive von 28mm einem Diagonalenwinkel von 76° [JENNY 1997].

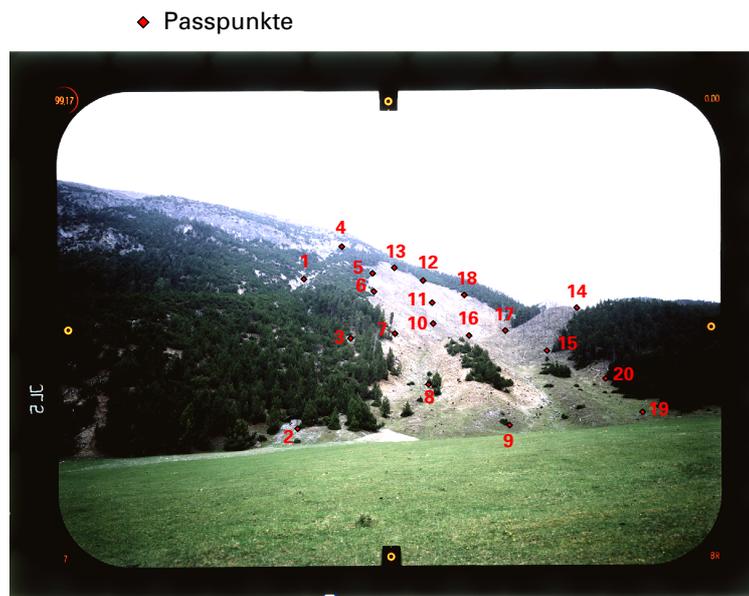


Abb. 7.2: Messkammerbild
Diese Abbildung zeigt das am 5. 4. 1997 aufgenommene Messkammerbild der Brandfläche II Fuorn. Die im Gelände mit Signalplatten optisch markierten Passpunkte sind in der Abbildung mit roten Rauten speziell hervorgehoben.

Es wurde ein Farbnegativfilm des Typs AGFA Aviphot Chrome 200 PE1 (color reversal film) verwendet. Im Hinblick auf eine zukünftige stereoskopische Auswertung der Messkammerbilder, wurde parallel zur Aufnahme vom angenäherten, historischen Standort von einem lateral verschobenen Standort ein weiteres Messkammerbild erstellt. Somit liegt nun ein Stereobildpaar vor.

7.1.4 Einmessen der Passpunkte

Die geodätische Einmessung der verpflockten und photographisch festgehaltenen Passpunkte in hoher positionaler Genauigkeit ermöglichte einen präzisen Anschluss der inneren Abbildungsgeometrie ans Relief.

Die Einmessung der verpflockten Passpunkte erfolgte mit einer herkömmlichen Totalstation (Theodolit und elektronische Distanzmessung (EDM)) der Firma LEICA. Die absoluten Koordinaten des Aufnahmestandortes und der Passpunkte wurden via diffe-

rentieller GPS-Vermessung bestimmt. Dazu wurde das lokale Koordinaten-System über Referenzstationen ans Triangulationsnetz der Landestopographie angehängt.

7.2 Äussere Orientierung der Messkammerbilder

Die Parameter der äusseren Orientierung wurden am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich berechnet. Dazu wurden die 20 markierten und vermessenen Passpunkte und die Näherungswerte des Aufnahmestandortes für einen räumlichen Rückwärtsschnitt verwendet. Unter einem *räumlichen Rückwärtsschnitt* versteht man die Bestimmung der sechs Elemente der äusseren Orientierung eines Bildes aus mindestens drei Passpunkten (bei bekannter innerer Orientierung) [KRAUS 1994, p. 278]. Der räumliche Rückwärtsschnitt ist ein Sonderfall der Bündelblockausgleichung [KRAUS 1994, p. 268].

Im vorgestellten Fallbeispiel wurde zur Bestimmung der äusseren Orientierung die Applikation DIPAD (Digital System for Photogrammetric and Architectual Design) eingesetzt [STREILEIN 1998].

Es ergaben sich folgende Werte:

Parameter	Resultate
X_0, Y_0, Z_0	812286.565m, 171828.138m, 1815.336 m.ü.M
ω, φ, χ	1.843428 rad, -0.228922 rad, 0.107354 rad

Tab. 7.1: Äussere Orientierung der Messkammerbilder

Zur Überprüfung der erstellten Ausgleichung wurden die Residuen berechnet. Sie stehen für die Differenz zwischen gemessenen Bildkoordinaten und Bildkoordinaten aus der Rückprojektion der im Feld gesetzten Passpunkte mit der gewonnenen Orientierung des Messkammerbildes.

PPt.-Nr.	v_x [micron]	v_y [micron]	dv [micron]
1	-1.024	2.264	2.485
2	1.942	0.716	2.070
3	12.903	-5.285	13.944
4	4.038	7.676	8.673
5	1.930	-1.491	2.439
6	-0.469	-5.694	5.713

Ppt.-Nr.	vx [micron]	vy [micron]	dv [micron]
7	3.855	6.353	7.432
8	-6.878	-9.750	11.932
9	-5.808	-3.806	6.944
10	-5.887	-0.535	5.911
11	-2.126	-3.614	4.194
12	-1.787	-7.372	7.586
13	-5.251	3.631	6.384
14	0.573	-3.105	3.157
15	-8.117	-8.822	11.988
16	1.237	17.678	17.721
17	2.427	-0.017	2.427
18	5.929	-11.834	13.237
19	9.203	0.829	9.240
20	-6.432	15.067	16.383

Tab. 7.2: Residuen des räumlichen Rückwärtsschnittes
 Es gilt zu beachten, dass im verwendeten Bild ein Pixel genau 50 micron, bzw. 0.05 mm entspricht.

7.3 Digitales Höhenmodell

Bei digitalen Höhenmodellen gilt es Genauigkeit und Auflösung zu unterscheiden. Die Genauigkeit ist ein Mass für die Übereinstimmung des Modells mit dem effektiven Gelände. Die Auflösung hingegen beschreibt nur die Abstände zwischen den im Modell repräsentierten Geländepunkten, also die Maschenweite des Modells. In der Regel fordert man für digitale Höhenmodelle eine Auflösung die mit der Genauigkeit des Modells übereinstimmt.

Für die *Brandfläche Il Fuorn* bestand bereits vor dieser Arbeit ein digitales Geländemodell. Es wurde in den Achtzigerjahren von der WSL erstellt. Zunächst wurde von der *Brandfläche Il Fuorn* ein Detailplan 1:1'000 via analytischer Photogrammetrie angefertigt. Dabei wurden folgende Objekte dreidimensional erfasst:

- Höhenlinien in 5m Äquidistanz
- Waldgrenze
- stehende abgestorbene Bäume
- Einzelbäume
- Büsche
- Baumstrunke

- Rinnen
- Fussweg
- Kreten

Das Höhenmodell wurde für die Erstellung eines Übersichts-Orthophotos gerechnet. Für die vorliegende Arbeit wurde das Höhenmodell mit den innerhalb der Umgrenzung gelegenen, eingemessenen Passpunkten verglichen, um ein Mass für die Genauigkeit des Modells zu erhalten.

Nr.	Z(eingemessen)	Z(DHM)	dZ
2	1815.991	1816.003174	0.012174
5	2034.448	2033.809570	0.638430
6	1968.692	1968.032471	0.659529
7	1872.418	1872.743600	0.325600
8	1834.661	1836.378174	1.717174
9	1818.931	1818.957886	0.026886
10	1918.454	1918.758057	0.304057
11	1981.436	1982.374146	0.938146
14	1921.472	1921.223999	0.248001
15	1871.533	1873.393921	1.860921
16	1903.406	1904.257812	0.851812
17	1911.594	1913.295166	1.701166
18	2011.954	2012.490000	0.536000
19	1823.495	1824.610474	1.115474
Mittel			0.755377

Tab. 7.3: Evaluation des Höhenmodells der *Brandfläche II Fuorn*

Die vorgefundene Genauigkeit der Höheninformation liegt im Einmeterbereich, also nicht besonders hoch. Dieser Umstand sollte für die Evaluation der Applikation "TRAFO" (Kapitel 7.6) im Hinterkopf behalten werden.

7.4 Beispieldatensätze

Die nun folgenden Beispiele illustrieren die Arbeitsweise der Prototypapplikation "TRAFO". Als erstes und naheliegendes Beispiel wurden die Koordinaten der Beobachtungspunkte eines Erhebungsprotokolls umgerechnet. Als zusätzliche Illustration

diente die Umrechnung der Gitterpunkte des ursprünglich von HINDENLANG und WIRZ [1992] gewählten Analyserasters in effektive Lagekoordinaten.

7.4.1 Erhebungsdaten vom 4. 4. 1995

Es wurde das Erhebungsprotokoll vom 4. 4. 1995 gewählt, da hier die Beobachtungen besonders illustrativ über die ganze *Brandfläche Il Fuorn* verteilt liegen. Da die effektiven Lagekoordinaten der beobachteten Huftiere ja unbekannt sind, konnte die Genauigkeit dieser Transformation nicht evaluiert werden. Auf den derart transformierten Beobachtungspunkten können nun geocodierte, aus geographischer Sicht sinnvolle Dichteberechnungen durchgeführt werden.

● Huftierbeobachtungen

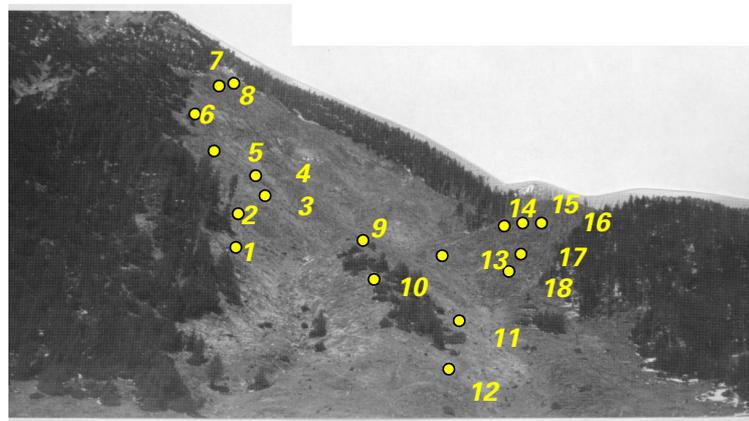


Abb. 7.3: Erhebungsdatensatz vom 4. 4. 1995

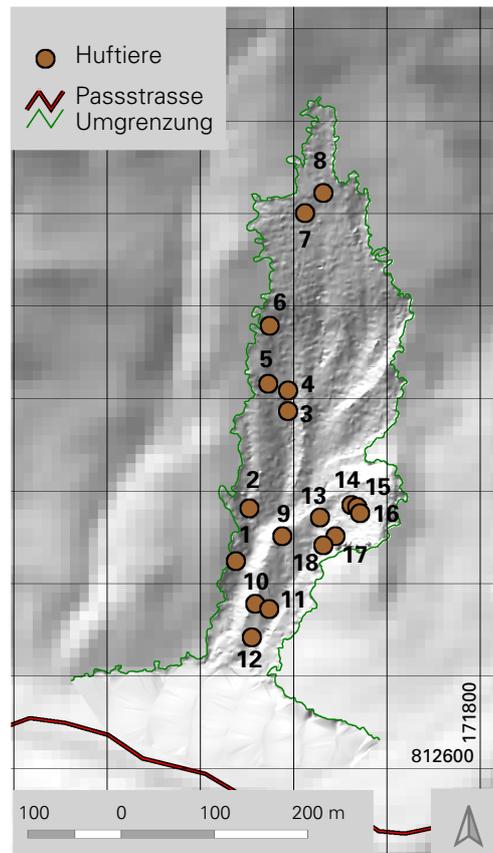


Abb. 7.4: Transformierte Beobachtungspunkte vom 4. 4. 1995
 [Quelle: GIS-SNP, Autor: P. Laube]

7.4.2 Gitterpunkte des Analyserasters

Als zweites Beispiel wurden die Bildkoordinaten der Gitterpunkte des vormals verwendeten Analyserasters [HINDENLANG & WIRZ 1992] in Lagekoordinaten transformiert. Dies geschah im Hinblick auf eine Bestimmung der Massstabsfehler der vormals verwendeten Analyseverfahren. Dazu wurden die transformierten Gitterpunkte zu Polygonen verbunden. Anschliessend konnten die Flächenanteile der einzelnen Rasterquadrate relativ zum kleinsten Quadrat B1 berechnet werden. Es konnten natürlich nur Gitterpunkte transformiert werden, deren Bildlage sich im Gelände befindet. Nicht berücksichtigt werden konnten daher die Rasterquadrate in der rechten oberen Bildecke. Aus den in Kapitel 5.3.3 angestellten Überlegungen zur Geometrie des Abbildungssystems weisen die Rasterquadrate in der linken oberen Bildecke die grössten Flächenanteile auf. Das Rasterquadrat B4 sticht mit seiner 2'1.15 fachen Fläche des Quadrates A1 besonders hervor!

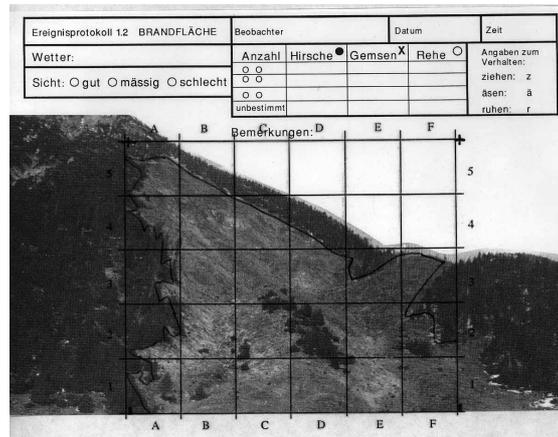


Abb. 7.5: Analyseraster
 Die Abbildung zeigt das Quadratraster, welches bisher zur Berechnung von Dichtewerten herangezogen wurde.

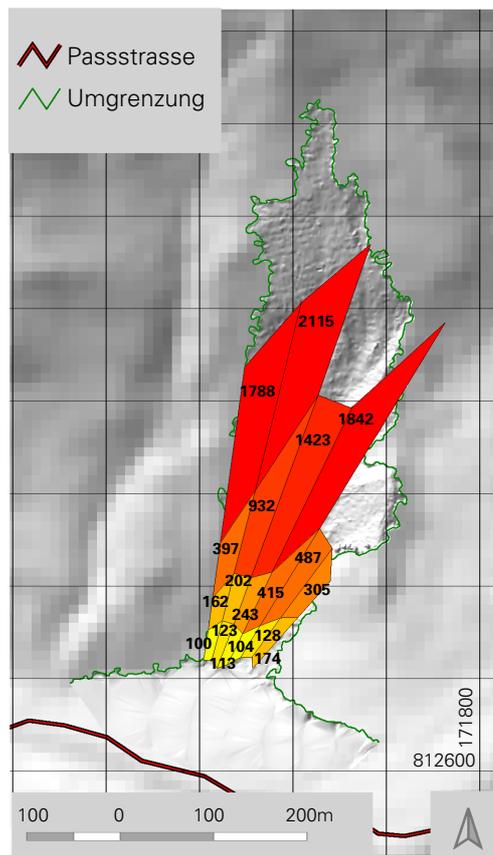


Abb. 7.6: Projektion des Quadratrasters aufs Gelände
 Durch die besondere Abbildungsgeometrie ergeben sich durch die Rückprojektion des Quadratrasters auf das Gelände erhebliche Massstabsunterschiede. Die Zahlen beschreiben prozentuale Flächenanteile im Bezug zur kleinsten Fläche A1. [Quelle: GIS-SNP, Autor: P. Laube]

7.5 Evaluation des vorgestellten Transformationsverfahrens

Dieser Abschnitt versucht eine einfache Genauigkeits-Abschätzung des vorgestellten Transformationsverfahrens. Da mehrfach Näherungsverfahren und Ausgleichsrechnungen zum Einsatz kamen und aufgrund der in Abschnitt 6.4 beschriebenen verfahrensinhärenten Fehlerquellen sind alle Resultate Näherungslösungen. Welches ist aber die Größenordnung der eintretenden Fehler?

Im Speziellen für das Monoplotting-Modul `monoplot.c` gibt es eine einfache Möglichkeit der Evaluation. Dabei handelt es sich um die Projektion der Passpunkte vom Messkammerbild auf das Gelände. Von diesen 20 Punkten sind sowohl die genauen Bildkoordinaten als auch deren genau eingemessene Lage im Raum bekannt. Werden nun die Lagekoordinaten der transformierten Passpunkte mit den effektiv eingemessenen Punkten verglichen, ergibt sich aus den Differenzen unter gewissen Vorbehalten ein Mass zur Evaluation des Verfahrens. Ein erster Vorbehalt liegt in den Ungenauigkeiten der verwendeten Eingabegrößen, im Speziellen des verwendeten Höhenmodells. Ein zweiter Vorbehalt ist in besonderem Masse bei den Passpunkten ausserhalb der *Brandfläche Il Fuorn* anzubringen. Da nur für den Bereich der Brandfläche selbst ein Höhenmodell mit 1m-Auflösung vorliegt, muss ausserhalb mit aus einem 10m-Modell interpolierten Werten gerechnet werden. Dadurch werden die Aussagekraft der Werte für die Punkte 1, 3, 4, 12, 13 und 18 relativiert.

PPt.-Nr.	X	dX	Y	dY	Z	dZ
1	812288.27	-0.30	172284.20	17.52	1992.96	5.62
2	812288.86	0.14	171919.50	0.22	1815.99	0.01
3	812311.32	-1.30	172009.80	-9.43	1859.30	-2.46
4	812359.59	-2.70	172592.70	-14.43	2198.92	-8.70
5	812381.35	-1.71	172342.50	-5.95	2037.38	-2.93
6	812366.73	-2.82	172244.90	-12.25	1973.93	-5.24
7	812344.12	-2.49	172052.30	-9.49	1875.02	-2.60
8	812335.78	1.87	171968.00	4.89	1833.94	0.72
9	812340.57	-1.51	171920.30	-2.75	1820.16	-1.23
10	812407.70	1.34	172158.90	3.96	1917.22	1.23
11	812445.82	0.77	172269.30	3.47	1979.74	1.69
12	812474.90	2.67	172394.10	9.71	2059.64	3.95
13	172457.70	0.75	172457.70	6.71	2105.14	2.47
14	812495.62	5.26	172081.50	6.62	1917.76	3.70
15	812425.17	14.50	172020.70	20.16	1866.01	5.53
16	812436.54	1.20	172140.10	2.68	1902.00	1.41
17	812457.56	9.99	172120.30	17.27	1905.90	5.68
18	812509.45	-0.56	172314.00	-0.19	2011.88	0.07

Ppt.-Nr.	X	dX	Y	dY	Z	dZ
19	812367.92	1.84	171906.4	1.72	1823.97	-0.47
20	812405.25	6.41	171958.10	6.77	1840.45	1.82
Mittel		3.01		7.81		2.88
Minimum		0.14		0.18		0.01
Maximum		14.50		20.16		8.70

Tab. 7.4: Rückprojizierte Passpunkte

Angegeben sind die rückgerechneten Koordinaten der Passpunkte und ihre Residuen im Vergleich mit den eingemessenen Koordinaten in m. Die kursiv gedruckten Passpunkte liegen ausserhalb des 1m-Höhenmodells. Als statistische Werte sind Mittel, Minimum und Maximum der Beträge aufgelistet.

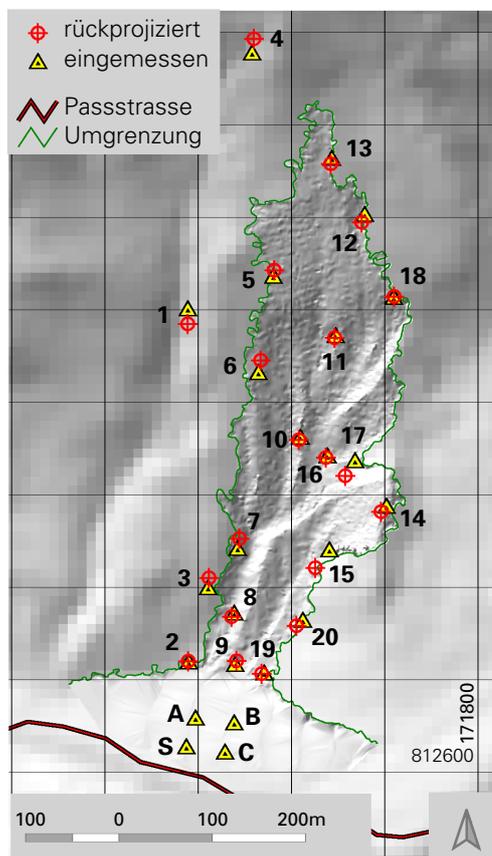


Abb. 7.7: Rückprojizierte Passpunkte

Der Vergleich der Lage der rückprojizierten Passpunkte mit ihrer geodätisch eingemessenen Lage ermöglicht eine einfache Evaluation des Transformationsverfahrens. Der Punkt S ist der Aufnahmestandort, die Punkte A, B und C sind Aufnahmestandorte von zusätzlichen Messkammerbildern. [Quelle: GIS-SNP, Autor: P. Laube]

Die Grössenordnung der Abweichungen liegt im Meterbereich. Wie zu erwarten war, liegen die Werte in Y-Richtung, also in *Blickrichtung*, deutlich über denen in X-Rich-

tung. Dies liegt daran, dass sich die schleifenden Schnitte primär in Blickrichtung auswirken. Es erstaunt wenig, dass das Minimum in X-Richtung beim nahe dem Aufnahmestandort liegenden Passpunkt Nr. 2 erreicht wird. Schon bemerkenswert ist das Minimum in Y-Richtung - liegt es doch beim Passpunkt Nr. 18, also einem Punkt weit im Bildhintergrund. Auf der Seite der Maxima illustriert der Passpunkt Nr. 15 was geschieht, wenn bei sehr flachen Winkeln und ungenauem Höhenmodell der Projektionsstrahl zu nahe dem Aufnahmestandort auf das Gelände trifft.

Die Grössenordnung der Abweichungen erscheinen mit "im Meterbereich" relativ hoch. Der Autor führt diese Abweichungen auf ein ungenaues Höhenmodell zurück. Dies ist gemäss KRAUS [1994] die erste Fehlerquelle des Prozesses Monoplotting.

7.6 Diskussion

Die aufgelisteten Beispiele und die Evaluation durch Rückprojektion der Passpunkte haben klar gezeigt, dass das vorgeschlagene Verfahren für die Integration der historischen Daten der Dauerbeobachtungen *Brandfläche Il Fuorn* geeignet ist. Vorbehalte sind anzubringen v.a. im Bereich des der Transformation zugrunde liegenden Höhenmodells. Darin liegt denn auch ein Ansatzpunkt für die Verbesserung der Genauigkeiten.

Ein weiterer Ansatzpunkt liegt in einer konsequenten Abschätzung der Fehler. Diese Funktionalität müsste durchgehend im ganzen Verarbeitungsprozess gesondert in X-, Y- und Z-Richtung die geschätzten Ungenauigkeiten als Metainformationen von einer Phase in die folgende mitnehmen. Somit könnte für jede transformierte Koordinate eine individuelle Fehlerabschätzung erfolgen, wodurch die einzelnen Beobachtungspunkte in ihrer Aussagekraft bewertet werden könnten.

Kapitel 8

Schlussbetrachtungen

8.1 Rekapitulation der Kernpunkte

Der Diskussion der Resultate soll eine Rückbesinnung auf die Ziele und Absichten der Arbeit, im Sinne einer Rekapitulation der Kernpunkte, vorangestellt werden.

Der Untertitel der vorgestellten Arbeit veranschaulicht den Anspruch an die ausgeführten Arbeiten: Lösungen zur Datenintegration und Datenerhebung.

Es war ein wichtiges Anliegen, im Rahmen einer praxisorientierten Arbeit Lösungen anzubieten für spezifische Probleme an der Schnittstelle GIS-Wildtierbiologie. Dieser Ansatz des projekt- bzw. prozessorientierten Arbeitens an konkreten Aufgabenstellungen dient letztlich der Erweiterung einer fächerübergreifenden Wissensbasis der beiden Fachbereiche Geographische Informationsverarbeitung und Wildtierbiologie. Denn gemeinsames Basiswissen ist unmittelbare Voraussetzung für jede Prozessoptimierung und Effektivitätssteigerung bestehender Verfahren im Hinblick auf eine fruchtbare Weiterentwicklung der interdisziplinären Zusammenarbeit.

Zur Erreichung dieser Ziele sollten die Prozesse Datenerhebung und Datenintegration des GIS-Einsatzes im Schweizerischen Nationalpark anhand zweier Fallbeispiele auf ihre GIS-Kompatibilität untersucht werden. Als konkrete Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse sollte anschliessend für den Datensatz *Brandfläche Il Fuorn* ein Datenintegrationsverfahren erarbeitet werden, u.a. zur Validitätsprüfung der bisher erfolgten und umstrittenen Analysen der bestehenden Daten.

8.2 Resultate

Die vorgestellte Arbeit kann, da sie Prozessoptimierung und Verfahrensentwicklung betrieb, nicht mit Resultaten als verblüffende Zahlen, Statistiken oder bahnbrechenden neuen Erkenntnissen aufwarten. Ihre Resultate kommen daher als konkrete Arbeitsvorschläge und vereinzelt, ausgearbeiteten Arbeitshilfen für den praktischen Einsatz.

Raumverteilung Huftiere

- Die Untersuchungen am Projekt der *Raumverteilung Huftiere* brachten zwei konkrete Arbeitsvorschläge hervor. Erstens eine Anleitung zur GIS-kompatiblen Notation von Beobachtungen auf Erhebungsprotokolle. Diese Anleitung wurde speziell den wildtierbiologischen Rahmenbedingungen angepasst. Sie wurde verfasst, um Doppeldeutigkeiten und Unklarheiten der Rohdaten zu unterbinden.

- Zweitens wurde die bisher verwendete Attributliste unter dem Gesichtspunkt der GIS-Kompatibilität überarbeitet und ergänzt. Es wurde letztlich ein neues Formular vorgelegt, welches die Verknüpfung der Attribut- mit den Lagedaten vereinfacht und effizienter gestaltet. Sowohl die Erhebungsanleitung als auch die Attributliste werden heute bei der *Raumverteilung Huftiere* mit Erfolg eingesetzt.

Brandfläche Il Fuorn

- Beim Fallbeispiel *Brandfläche Il Fuorn* ging die Arbeit einen Schritt weiter, es wurde ein Verfahren zur Datenintegration der noch nicht GIS-tauglichen Beobachtungsdaten ins GIS-SNP entwickelt. Die vorgestellte Prototypapplikation "TRAFO" wurde unter Verwendung von speziell im Feld erhobenen Passpunkten auf ihre Genauigkeit evaluiert. Die Genauigkeiten bewegten sich im Meterbereich.
- Für das entwickelte Datenintegrationsverfahren für den Datensatz *Brandfläche Il Fuorn* wurde ein orientiertes, photogrammetrisches Messkammerbild der *Brandfläche Il Fuorn* in einer Feldkampagne erstellt. Die Aufnahme des Messkammerbildes wurde an das Ingenieurbüro AUER+CLEMENT AG, Flims, extern vergeben. In Zusammenarbeit mit dem GIS-SNP wurden zeitgleich Passpunkte in der *Brandfläche Il Fuorn* markiert und geodätisch eingemessen. Die äussere Orientierung des Messkammerbildes wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Photogrammetrie und Geodäsie der ETH Zürich erarbeitet. Sowohl Passpunkte als auch Messkammerbild stehen von nun an weiteren Datenerhebungen auf der *Brandfläche Il Fuorn* zur Verfügung. Somit wurden für die *Brandfläche Il Fuorn* die Rahmenbedingungen geschaffen für beliebige Anwendungen der terrestrischen Photogrammetrie, beispielsweise aus den Disziplinen Geobotanik oder Geomorphologie.
- Die entwickelte Prototypapplikation "TRAFO" wurde an zwei Testdatensätzen angewendet. Die Korrektur des Beobachtungsdatensatzes vom 4. 4. 1995 lieferte die effektiven Standorte der beobachteten und auf dem Erhebungsprotokoll verzeichneten Huftiere. Als zweiter Testdatensatz wurden die Kreuzungspunkte des Auswertungsgitters korrigiert. Die bestimmbare Massstabsvariation innerhalb des historischen Amateurbildes übertraf selbst die Erwartungen des Autors. Diese Befunde bilden die Grundlage für eine Gültigkeitserwägung der bisher ausgeführten Analysen des Datensatzes *Brandfläche Il Fuorn*.

8.3 Diskussion

Die umfassende Aufarbeitung der Literatur im 3. Kapitel bildete die unerlässliche Grundlage für die folgenden, auseinander hervorgehenden Kapitel der Arbeit. Sie kann aber auch ein Ausgangspunkt sein weitere Arbeiten im Bereich GIS-Wildtierbiologie. Die gesichteten Quellen bestätigen, dass sich die Geographische Informationsverarbeitung und ökologische Langzeitstudien im Allgemeinen und wildtierbiologische Untersuchungen im Speziellen hervorragend ergänzen. Dies konnte im 5. Kapitel für die Schnittstelle GIS-Huftierforschung im Schweizerischen Nationalpark weitgehend bestätigt werden. Durch die Vereinigung der zwei Fachberei-

che wird es möglich, bekannte Fragen unter neuen Blickwinkeln zu beleuchten und neue Fragen zu stellen. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit bietet ein grosses Potential.

Für den Prozess Monitoring, ein Hauptwerkzeug ökologischer Langzeitstudien, erscheint der Einbezug der Geographischen Informationsverarbeitung absolut zwingend. Beim Monitoring entstehen räumlich codierte Daten in einer bestimmten zeitlichen Periodizität - für diese Art Daten ist GIV das prädestinierte Verwaltungs- und Analyseinstrument. Des Weiteren verlangt die Untersuchung ökologischer Zusammenhänge eine möglichst vielfältige Datenbasis - ein Anspruch dem ein GIS nach der Integration diverser Datensätze durchaus genügt.

Raumverteilung Huftiere

Die quantitative Untersuchung der Erhebungs- und Integrationsmethodik zeigte, dass die im Fallbeispiel *Raumverteilung Huftiere* gewählten Vorgehensweisen unter gewissen Vorbehalten als GIS-kompatibel zu bezeichnen sind.

Ein wichtiger Vorbehalt ist bei der Erhebung, Verwaltung und Auswertung der Metainformation anzubringen. Es liegt in der Natur wildtierbiologischer Felderhebungen, dass die Rohdaten höchst unterschiedliche Genauigkeiten aufweisen können. Dies liegt hauptsächlich daran, dass die Beobachtungsstandorte von Huftieren in der Regel auf Distanz per Fernrohr bestimmt werden muss. Somit hängt die Ansprache und die positionale Genauigkeit massgeblich von der Distanz zum Objekt und von den Sichtverhältnissen ab. Diese Metainformationen werden aber höchstens sporadisch aufgenommen und gehen im Verarbeitungsprozess meist verloren. **Ist eine Beobachtung einmal aufgenommen, verliert sie in der Regel jegliche Information über ihr Zustandekommen.** Hier ist unbedingt die konsequente Mitnahme von Metainformation durch den ganzen Verarbeitungsprozess gefordert. Ein erster Schritt ist die Bereitstellung von Funktionalitäten zur Erhebung, Verwaltung und Analyse der Metainformation auf allen Stufen des Datenflusses.

Die Integration der Daten der *Raumverteilung Huftieren* in die GIS-Umgebung erfolgt problemlos mit den Funktionalitäten kommerzieller GIS-Lösungen, da die Daten bereits in einem orthogonalprojizierten Koordinatensystem, demjenigen der Landeskarte, erhoben wurden.

Abschliessend betrachtet lässt sich die **1. Arbeitshypothese** bestätigen, wonach die qualitative Untersuchung der bestehenden Arbeitsabläufe grundsätzliche Einsichten zur Effektivitäts- und Genauigkeitssteigerung sowie konkrete Arbeitshilfen zur praktischen Arbeit an der Schnittstelle Wildtierbiologie und GIV ergeben würden.

Brandfläche II Fuorn

Die eigentliche Erhebungsmethode der Rohdaten an sich kann im Nachhinein als zukunftsweisend, ja sogar der Zeit voraus betrachtet werden. Der Ansatz, auf eine Ansichtsfotographie zu notieren, ist gerade auf der merkmalsarmen *Brandfläche II Fuorn* eine optimale Lösung und der Karte als Notationsbasis vorzuziehen. Danach darf allerdings nicht in diesem Referenzsystem weiter analysiert werden, die Rohdaten müssen zunächst in die gebräuchliche Orthogonalprojektion umgerechnet werden. Wird die traditionell in der Wildtierbiologie verwurzelte Erhebungsmethode derart mit neuen GIS-Techniken vereinigt, so ergibt sich ein äusserst praktisches Instrument

für moderne Feldbeobachtungen.

Die Integration der Rohdaten *Brandfläche Il Fuorn* gestaltet sich somit wesentlich aufwendiger als im Fallbeispiel *Raumverteilung Huftiere*. Das entwickelte Integrationsverfahren realisiert einen Ansatz aus der terrestrischen Photogrammetrie. Die Evaluation mit Passpunkten und die Verarbeitung von Beispieldatensätzen belegen, dass das vorgeschlagene Integrationsverfahren mit ausreichender Genauigkeit umgesetzt werden kann. Die entwickelte Prototypapplikation bietet eine einfache Lösung nicht nur für den behandelten Spezialfall, sondern auch für ähnlich gelagerte Monitoringprobleme im alpinen Raum.

Die erreichten Genauigkeiten im Meterbereich erscheinen aus geographischer Perspektive relativ schlecht. Es gilt allerdings zu beachten, dass die umgerechneten Lagekoordinaten allemal um Größenordnungen grösser sind als dies mit dem Quadratraster der Fall war. Zusätzlich muss auch das Wesen der beobachteten Objekte in eine objektive Beurteilung der erreichten Genauigkeiten einfließen, handelt es sich doch um im Gelände sich ständig bewegende Tiere. Zehn Minuten nach der Aufnahme kann sich ein Huftier bereits 50m von der vormals aufgenommenen Position entfernt haben. Die Diskussion, welche Genauigkeiten für die Angabe eines Huftieres im Gelände aus wildtierbiologischer Sicht überhaupt sinnvoll sind, muss erst noch geführt werden.

Es soll aber nicht verheimlicht werden, dass es sich bei der vorgestellten Applikation "TRAFO" erst um einen Prototypen handelt, welcher für einen operationellen Einsatz noch überarbeitet werden muss. Der modulare Aufbau mit befehlszeilenorientierten Einzelprogrammen unter Verwendung von einfachen Textdateien hat sich zwar für Entwicklung und Evaluation der Applikation grundsätzlich bewährt, liefert aber bei der Behandlung vieler Datensätze eine unübersichtliche Flut von ähnlichen Dateien. Eine Einbindung der Programm-Rohlinge in eine anwenderfreundliche Benutzeroberfläche mit einem hohen Grad an Selbstorganisation muss hier Abhilfe schaffen. Erst die Automatisierung und die Verlagerung der Parameter-Zulieferer in den Hintergrund ermöglicht einen effektiven operationellen Einsatz. Die hier geforderte Einbindung in eine anwenderfreundliche Benutzeroberfläche vereinfacht sich allerdings dadurch, dass die Applikation in C implementiert wurde.

Eine objektive Neubeurteilung der bisher auf dem Datensatz *Brandfläche Il Fuorn* vorgenommenen Analysen muss zu folgendem Schluss kommen: Nach heutigem Kenntnisstand über die Bildgeometrie der historischen Amateuraufnahme ergeben die mit dem vorgeschlagenen Raster durchgeführten Analysen ein komplett verzerrtes Bild der effektiven Verteilung der Huftiere auf der *Brandfläche Il Fuorn* wieder. Alle vorgestellten Resultate sind daher aus geographischer Sicht als nicht belegt zu bezeichnen. Die **2. Arbeitshypothese**, wonach die Verwendung eines Quadratrasters auf einer Ansichtsphotographie unzulässig sei, kann bestätigt werden.

Nur in die Kartenebene projizierte Rohdaten dürfen als Grundlage für die Berechnung von Dichtewerte und Verteilungsmuster herangezogen werden. In diesem Sinne ist die Umrechnung des gesamten Datensatzes *Brandfläche Il Fuorn* anzustreben. Der Beweis für die **3. Arbeitshypothese**, wonach die Geocodierung der Rohdaten *Brandfläche Il Fuorn* ihren Wert um ein Vielfaches erhöhen würde, muss allerdings auf die Phase nach der Integration der Rohdaten verschoben werden.

Synthese

Die Behandlung der beiden Fallbeispiele machte deutlich, dass die erhobenen Rohdaten grundsätzlich in gebräuchliche GIS-Umgebungen integrierbar sind, wenn auch der Aufwand der dazu betrieben werden muss, ganz beträchtlich variieren kann.

Eine weitere wesentliche Schlussfolgerung gilt für beide untersuchten Fallbeispiele. Sowohl die *Raumverteilung Huftiere* als auch die Daten der *Brandfläche Il Fuorn* zeigen: ein effektiver GIS-Einsatz steht und fällt mit der konsequenten Erhebung der Rohdaten mit möglichst hoher positionaler Genauigkeit und dem Einbezug der Metainformation über die Erhebungsumstände. Die höchste erreichbare positionale Genauigkeit muss daher das oberste Ziel jeder Erhebung von Felddaten sein. Diese Forderung geht an die Adresse der Wildtierbiologie.

Werden Aggregationen, Klassierungen und Generalisierungen erst anschliessend in einem ersten Verarbeitungsschritt auf den Rohdaten ausgeführt, so bleibt der Informationsverlust quantifizierbar, letztlich also kontrollierbar.

Die Erhöhung der positionalen Genauigkeit der Rohdaten alleine reicht allerdings noch nicht für einen effektiven GIS-Einsatz in der Wildtierbiologie. Denn die bestehenden Funktionalitäten kommerzieller GIS-Lösungen sind noch weit davon entfernt, auf wildtierbiologische Anwendungen abgestimmt zu sein - es fehlen die Funktionalitäten, die Metainformation über die Erhebungsumstände und (Un-)Genauigkeiten in die Analyse einfließen zu lassen. Die hoch genaue XY-Referenzierung eines Ortes mag für den eingemessenen Standort eines geophysikalischen Datenloggers geeignet sein, für einen Beobachtungspunkt eines sich im Raum bewegendes Tieres ist er ungeeignet. Die Genauigkeiten innerhalb einer Feldkampagne, meist sogar innerhalb eines einzigen Datensatzes, sind von unzähligen Grössen abhängig und daher sehr variabel. Hier ist ein Effort auf der Seite der GIS-Entwickler gefordert zur Schaffung neuer, auf die Rahmenbedingungen der Wildtierbiologie abgestimmter GIS-Funktionalitäten. Im angeführten Problem der Repräsentation von Beobachtungsdaten wäre beispielsweise die Verwendung von gerechneten Oberflächen der Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Huftieres einer herkömmlichen Punktdarstellung vorzuziehen.

Auf ihren wesentlichen Charakter reduziert, verfolgen die beiden Fallbeispiele eigentlich die gleiche Absicht: Möglichst effektive, GIS-taugliche Erhebung von Beobachtungsdaten im alpinen Gelände. Was für die *Brandfläche Il Fuorn* exemplarisch gelöst wurde, liesse sich problemlos auf die *Raumverteilung Huftiere* und andere ähnlich gelagerte Probleme adaptieren. Mehr dazu folgt nun im Ausblick.

8.4 Ausblick

Es steht ausser Frage, dass die Zusammenarbeit der Wildtierbiologie mit der Geographischen Informationsverarbeitung in Zukunft noch intensiver betrieben werden wird. Der abschliessende Ausblick betrachtet zunächst den engen Bereich des GIS-Einsatzes in der Huftierforschung des Nationalpark, nimmt anschliessend die Schnittstelle GIS-Wildtierbiologie im einem weiteren Sinn in Augenschein und lässt sich zum Schluss gar zu einer Vision hinreissen.

In gewissem Sinne gleicht dieser Ausblick auch einer mit sanfter Wehmut ausgeführten Auflistung von bereits vorgedachten Ideen, die im beschränkten Zeitrahmen einer Diplomarbeit nicht berücksichtigt werden konnten. Die Auflistung kann daher auch verstanden werden als möglicher Ansatzpunkt für zukünftige Arbeiten oder Projekte.

Das Projekt der *Raumverteilung Huftiere* im Nationalpark läuft nun regelmässig bereits seit Mai 1997. Der Entstehung einer langfristigen Datenbasis mit hoher Kontinuität scheint nichts im Wege zu stehen. Mittelfristig darf hier mit neuen Erkenntnissen über die raumzeitliche Dynamik der Huftierökologie im Nationalpark gerechnet werden.

Im Gegensatz dazu sind die Daten der *Brandfläche Il Fuorn* bereits erhoben, sie müssen nun ins GIS-SNP integriert werden. Dieser Schritt ist in naher Zukunft anzustreben. An dieser Stelle muss gerechterweise angefügt werden, dass die aus geographischer Sicht unglückliche Methodenwahl in der Analyse den grundsätzlichen Wert der Rohdaten in keiner Weise schmälert. Wenn es gelingt, diesen historischen Datensatz vollumfänglich für die Analyse den Funktionalitäten der geographischen Informationsverarbeitung zugänglich zu machen, so entsteht mit relativ geringem zusätzlichem Aufwand eine äusserst wertvolle Datenbasis für raumzeitliche Analysen in der Huftierökologie. Auf den orthogonalprojizierten Beobachtungsdaten liessen sich zunächst einmal aussagekräftige Choroplethenkarten (Dichtestufenkarten) erstellen, wodurch ein Eindruck der räumlichen Verteilungsmuster auf der *Brandfläche Il Fuorn* gewonnen werden könnte. Im Sinne kleinräumiger Habitats- bzw. Standortanalysen könnten die neu gewonnenen Huftierbeobachtungsdaten mit bestehenden forstlichen, botanischen oder aber geomorphologischen Daten kombiniert und gemeinsam ausgewertet werden. Es entstünde ein hoch auflösendes, kleinräumiges GIS der *Brandfläche Il Fuorn* etwa zur interdisziplinären Untersuchung der Vegetationsdynamik. Dies wäre ein Beitrag zur Ausleuchtung der Frage nach der Wiederbewaldung der Brandfläche Il Fuorn.

Der Verfasser hält darüber hinaus insbesondere die Beobachtungsdaten der beiden nach intensivem Modus im 20-Minuten-Rhythmus erhobenen Wochen im Herbst 1992 und Frühjahr 1994 für äusserst interessant. Auf diesen beiden Datensätzen könnten neuartige Visualisierungsansätze zur explorativen Datenauswertung zum Einsatz kommen, wie sie etwa IMFELD [in Vorb.] vorschlägt und in seiner Applikation TUPF implementiert hat. In dieser Applikation ist es beispielsweise möglich, interaktiv die Verlagerung des Medianzentrums im Laufe der Zeit sichtbar zu machen.

Ein Blick über die Grenzen des Nationalparks offenbart, dass wildtierbiologische Fragen mit raumzeitlichem Bezug auch andernorts von höchster Aktualität sind. Die Wiederbesiedlung des Alpenbogens durch grosse Beutegreifer steht in den nächsten Jahren bevor und wird heute schon kontrovers diskutiert [z.B. BLANKENHORN 1995]. Die Modellierung potentieller Lebensräume unter Verwendung der Habitatsansprüche eines Tieres ist eine Paradeanwendung für die Geographische Informationsverarbeitung und wurde schon mehrfach realisiert. BOITANI et al. [in Vorb.] erstellten eine multi- und eine univariate Analyse eines GIS-Modelles für die Verbreitung des Wolfes in Italien. Ein Arbeit mit ähnlichen Zielsetzungen für den Luchs in der Schweiz wird derzeit von HALLER [in Vorb.] erarbeitet.

Neben diesen klar GIS-orientierten Arbeiten findet die Geographische Informationsverarbeitung auch bereits vermehrt Eingang in klassischen wildtierbiologischen Arbeiten. Wie beispielsweise die Arbeit von MUHMENHALER [1999] belegt, sind erfreulicherweise Ansätze zu erkennen, dass wirklich räumliche Analysen durchgeführt werden, und GIS nicht mehr nur zur Resultatdarstellung in Form von Karten zum Einsatz kommt.

Es zeigt sich aber, dass angestrebte wildtierbiologische Analysen in den verfügbaren kommerziellen GIS-Lösungen vielfach an ihre Grenzen stossen. Aus wildtierbiologischer Sicht wünschbare Funktionalitäten stehen noch nicht zur Verfügung. So wird beispielsweise die Dimension Zeit in vielen GIS-Umgebungen stiefmütterlich behandelt. Im konkreten Beispiel der *Brandfläche Il Fuorn* in der GIS-Umgebung ArcView sprengt beispielsweise die Darstellung von lediglich 20 Zeitfenstern mit 20 Datenebenen bereits den Rahmen der Überblickbarkeit.

Es muss im fächerübergreifenden Dialog abgeklärt werden, welche Funktionalitäten gewünscht wären. Die Entwicklung derselben muss auf Seite der GIS-Methodiker angestrebt werden. Die Arbeit von IMFELD [in Vorb.] zeigt hier eine mögliche Richtung auf. Die vorliegende Arbeit hofft, im Sinne dieser Grundsatzdiskussion auch einen Beitrag zu leisten.

Im Sinne einer abschliessenden Vision ist es durchaus vorstellbar, dass in Zukunft der Beobachter vor der *Brandfläche Il Fuorn* direkt auf seinem Laptop Beobachtungspunkte auf einem Messkammerbild absetzt und unverzüglich mit Lagekoordinaten versorgt wird. Was für die *Brandfläche Il Fuorn* möglich ist, könnte auch in anderen Projekten eingesetzt werden, namentlich bei der *Raumverteilung Huftiere*. Mit Hilfe eines zu erstellenden Orthophotos des Gebietes des Schweizerischen Nationalparks und genauer Höhenmodelle könnten für beliebige Beobachtungsstandorte orientierte, realistische Ansichten des Geländes, im Sinne von virtuellen Messkammerbildern, gerechnet und als Notationsgrundlage im Laptop verwendet werden. Die Beobachtungen und Metadaten könnten direkt digital erfasst und der automatisierten Verarbeitung zugespielt werden. Die aufwendigen Digitalisierarbeiten der Rohdaten ab Formularen und Attributlisten würde wegfallen. Eine derart vereinfachte Erhebungsprozedur würde den Aufwand erheblich reduzieren und könnte daher bei gleichem personellem und finanziellem Aufwand häufiger durchgeführt werden.

Glossar

- Amateurbild:** Von i. allg. herkömmlicher Kleinbildkamera erstellte Photographie, ohne Orientierungsparameter und daher kein Messkammerbild.
- ansprechen / Ansprache:** Das genaue Erkennen und Beurteilen eines Wildtieres bezüglich Art, Geschlecht und Alter.
- Applikationsentwicklung:** Prozess, bei dem GIS-Praktiker für GIS-Benutzer spezifische Datenbanken, analytische Funktionalitäten und bestimmte graphische Benutzeroberflächen entwickeln, für einen einfachen Umgang mit spezifischen Aufgaben.
- ARC/INFO:** Kommerzielles Geographisches Informationssystem der Firma ESRI, Redlands (CA), USA. at: <http://www.esri.com>.
- ArcView:** Kommerzielles Geographisches Informationssystem der Firma ESRI, Redlands (CA), USA. Im Gegensatz zum zeilenorientierten ARC/INFO ist ArcView beispielsweise mit einer benutzerfreundlichen Oberfläche versehen. at: <http://www.esri.com>.
- Attributtabellen:** Sie dienen in räumlichen Informationssystemen der Verknüpfung von deskriptiven mit räumlichen Daten, indem in ihnen die Eigenschaften und Merkmale von geographischen Datensätzen in tabellarischer Form abgelegt und verwaltet werden.
- äussere Orientierung:** Die Objektkoordinaten des Aufnahmestandortes (X_o , Y_o , Z_o) und die drei Drehwinkel (ω , φ , χ) bilden die Parameter der äusseren Orientierung. Sie legen das Projektionszentrum und die Stellung des Bildes im Objektkoordinatensystem fest.
- Bestand:** (Huftier-) bezeichnet die Gesamtzahl der in einem Gebiet vorhandenen Wildtiere.
- Coverage:** Vektor-Datensatz in ARC/INFO. Eine Coverage beschreibt jeweils eine Art von Objekten, die mittels Punkten, Linien oder Polygonen repräsentiert sind und die in topologischer Beziehung zueinander stehen. Coverageattribute werden in Attributtabellen als Sets von xy-Koordinaten und deren topologischen Beziehungen gespeichert. Ein Satz von Beobachtungspunkten stellt eine Punktcoverage dar.
- Datenintegration:** Datenintegration ist der Prozess, durch den verschiedenartige Datensätze kompatibel gemacht werden, sodass sie der selben Datenebene dargestellt werden können und ihre Beziehung zueinander untersucht werden kann.
- DHM:** Ein digitales Höhenmodell enthält die beobachtete oder abgeleitete Höheninformation für ausgewählte Geländepunkte, typischerweise eines regelmässigen Rasters oder entlang von Höhenlinien.
- geocodieren:** Prozess, welcher räumliche Daten in ein GIS einbindet, indem jedem

Punkt, jeder Linie und jeder Einheitsfläche geographische Koordinaten zugewiesen werden

Grid: Ein Grid in einem Rasterdatensatz ist das zellbasierte Äquivalent zu einer Coverage in einem Vektordatensystem. Jede Zelle eines Grids ist quadratisch, ihr numerischer Wert steht für die ganze Zellfläche. Griddaten werden in Reihen und Kolonnen gespeichert.

Herbivoren: Tiere, die sich von pflanzlichen Organismen ernähren.

historische Daten: Im Kontext der vorliegenden Arbeit steht der Ausdruck "historisch" für Daten, die vor dem "GIS-Zeitalter" erhoben wurden und daher nicht von vornherein GIS-kompatibel sind.

innere Orientierung: Die Bildkoordinaten des Bildhauptpunktes $H(x_h, y_h)$ und die Kammerkonstante c (sie entspricht der Brennweite) bilden die Parameter der inneren Orientierung. Die drei Konstanten beschreiben die innere Geometrie der Kamera. Sie legen das Projektionszentrum in Bezug zur Bildebene fest. Sie beschreiben Fehler der Optik oder der Kameramechanik. Es sind kameraspezifische Größen, die der Hersteller im Labor bestimmt und im Kalibrierungsbericht der Kammer festhält.

Kalibrierung: Bezeichnet den im Labor ausgeführten Prozess der Eichung einer photogrammetrischen Messkammer.

Kalibrierungsbericht: Bezeichnet das Eichprotokoll einer photogrammetrischen Messkammer und enthält die Parameter der inneren Orientierung und die Verzeichnungswerte.

Krickel: Hörner der Gemen.

Messkammerbild: Von einer geeichten, bzw. kalibrierten Messkamera erstellte Photographie mit Orientierungsparametern, geeignet für photogrammetrische Messungen.

Metadaten: Daten über Daten. Meist in Form einer umfassenden Beschreibung des Inhaltes eines Datensatzes. Sie können u. a. Attributdefinitionen, Genauigkeitsangaben, Qualitätsaussagen und Angaben über die Erhebungsmethodik umfassen.

Monitoring: Periodisch stattfindende, fortgesetzte Überwachung zum Vergleichen eines Zustandes mit einer vorher definierten Norm oder eines zu erreichenden Zielwertes

Orthogonalprojektion: Senkrechte Parallelprojektion, bei der Geländepunkte zueinander parallele Strahlen senkrecht auf die horizontale Kartenebene projizieren. Die Orthogonalprojektion der Karte (z. B. Landeskarte) steht der Zentralprojektion der photogrammetrischen Aufnahme gegenüber.

Passpunkte: Dabei handelt es sich um Punkte, die sowohl in verschiedenen Bildern als auch auf der Karte gut identifizierbar sind und deren genaue Lage durch $xy(z)$ -Koordinaten bestimmt und bekannt ist.

relationale Datenbank: In einer relationalen Datenbank werden die Informationen über Objekte und Beziehungen zwischen Objekten durch in Tabellen struk-

turierte Daten repräsentiert. Die Tabellen sind endlich und jede Zeile einer Tabelle (sog. Tuples) repräsentiert Information über ein Objekt. Den Spalten der Tabellen sind Attribute zugeordnet. Beziehungen zwischen Objekten sind vorhanden, wenn ein Wert (z. B. eine Beobachtungsnummer) in mehreren Tabellen (sog. Relationen) vorkommt. Erst bei einer Anfrage an die Datenbank werden vorhandene Beziehungen „aufgeweckt“ (Beispiel: Welcher Beobachter erfasste am Tag XY welche Art unter welcher Beobachtungsnummer?).

Rotwild: Steht für die Art Rothirsch (*Cervus elaphus* L.)

Schalenwild: Der Begriff Schalenwild ist ein biologisch begründeter Ausdruck des Jägerlateins. Unter Schalen versteht man die hornigen Klauenteile, also die Hufe, der Paarhufer. Folgende Arten werden unter dem Begriff Schalenwild zusammengefasst: Wisente, Elch-, Rot-, Dam-, Sika-, Reh-, Gams-, Stein-, Muffel- und Schwarzwild (Wildschweine).

Sonderjagd: Je nach Erfolg der Hochjagd, entscheidet die Regierung des Kantons Graubünden, ob nach der regulären September-Hochjagd zusätzliche Sonderjagden auf Hirsch- und Rehwild angeordnet werden, damit die angestrebten Abschusspläne erfüllt werden.

Telemetrie: Peilverfahren zur Lokalisation besonderer Wildtiere. Im klassischen Sinne über erdgebunden Funkpeilung ausgeführt, kommen immer mehr auch GPS-gestützte Systeme zum Einsatz (GPS: Global Positioning System).

Winter- bzw. Sommereinstand: Der Einstand bezeichnet den Ort, wo sich die Wildtiere aufhalten. Somit bezeichnen Winter- bzw. Sommereinstand die Ort im Revier, wo sich das Wildtiere im Winter bzw. Sommer bevorzugt aufhalten.

Zentralprojektion: Dabei handelt es sich um eine Abbildung des Geländes, bei der alle Geländepunkte ihren entsprechenden Bildpunkten durch gerade Strahlen zugeordnet sind. Diese Strahlen schneiden sich in einem Projektionszentrum. Die Abbildung weist im Bild Reliefverzerrungen und variierende Abbildungsmaßstäbe auf.

Abkürzungsverzeichnis

JFI	Jagd- und Forstinspektorat Graubünden
UWIWA	Untersuchung von Wildschäden am Wald. 1992 lanciertes Projekt zur Entwicklung eines Aufnahmekonzeptes zu einer möglichst objektiven Erfassung der Wildschäden im Gebirgswald und in der Umgebung des SNP.
GIS	Geographisches Informationssystem, oder englisch für Geographic Information Science
GIS-SNP	Geographisches Informationssystem des Schweizerischen Nationalparks
GIV	Geographische Informationsverarbeitung
SNP	Schweizerischer Nationalpark
WNPk	Wissenschaftliche Nationalparkkommission
ENPK	Eidgenössische Nationalparkkommission
DHM	digitales Höhenmodell
WSL	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald-, Schnee- und Landschaft.

Literaturverzeichnis

- ALLWÖWER, B. (1995).** Geographisches Informationssystem - Spielzeug oder brauchbares Arbeitsinstrument? in: *Schweizer Umwelthandbuch 95*, ed. Erdin, C. & Obrist, W., WEKA Verlag, Zürich, p. 144-152.
- ALLGÖWER, B., L. BERNHARD, C. CATHOMAN, R. HALLER & H. KRENN (1997).** The geographical informationsystem of the swiss national park. at: <http://www.nationalpark.ch/gis/index.html>
- ALLGÖWER, B. & P. BITTER (1992).** Konzeptstudie zum Aufbau eines Geographischen Informationssystems für den Schweizerischen Nationalpark (GIS-SNP), Arbeitsbereiche zur Nationalparkforschung.
- ALLGÖWER, B. & R. HALLER (1996).** Projekt Schweizerisches Bartgeier-Monitoring: Grenzen und Resultate. in: Bericht zum Bartgeierprojekt 1996/97, ed. Robin, K. & Müller J. P., p. 15-18.
- ARONOFF, S. (1989).** *Geographic information systems: a management perspective*. WDL Publications, Ontario, Canada.
- AUGUST, P., C. BAKER, C. LaBASH & C. SMITH (1996).** The geographic information system for Storage and analysis of biodiversity data. in: *measuring and monitoring biological diversity - standard methods for mammals*, ed. Wilson, D. E., et al., Smithsonian Institution Press, Washington, p. 235-249.
- BACHMANN, A. (1998).** Vorgehen zum Erheben von GIS-kompatiblen Daten. @ <http://www.nationalpark.ch/gis/dienst/schule/dbaqui/>.
- BACHMANN, A., R. SCHÖNING & B. ALLGÖWER (1997).** Feuermanagement mit Geographischen Informationssystemen. in: *Geographica Helvetica*, vol. 52, no. 1/97, p. 27-34.
- BACHMANN, A., R. HALLER & B. ALLGÖWER (1998).** Der Nationalpark digital. in: *Cratschla*, vol. 6, No. 1, p 12-18.
- BARTELME, N. (1995).** *Geoinformatik - Modelle, Strukturen, Funktionen*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, p. 23-30.
- BASKERVILLE, G. (1991).** GIS and the decision making process. in: *GIS Application in Natural Resources*, ed. Heit, M. & Shortreid, A., GIS World, Inc., Fort Collins, Colorado, p. 3-5.
- BEBI, P. (1993).** Wo ist Primus, Telemetrie an Steinböcken. in: *Cratschla*, vol. 1, No. 2, p 58-59.
- BLANKENHORN, H.-J. (1995).** Kehren Bär und Wolf in die Schweiz zurück?, in: BUWAL-Bulletin, no. 3, p. 42-45.
- BOES, R. & B. REIMANN (1990).** *UNIX - Das Einsteigerseminar*, BHV-Verlag, Korschbroich, p. 11-20.
- BOITANI, L., E. DUPRE & F. CORSI (in Vorb.).** Multivariate and univariate analysis of a GIS model of the wolf in italy. submitted to *Conservation Biology*.
- BOLLMANN, K. (1989).** Erhebung von Bestand und tageszeitlichem Raummuster an Rothirsch, Gemse und Steinbock im Val Trupchun, Juli 1989. Arbeitsberichte zur Nationalparkforschung, WNPk, Zürich.
- BOSCHI, C. (1999).** La bella, La pigra, Il solitario,...: Individuelle Raumnutzung der Gemse (*Rupicapra rupicapra*) im Gebiet Il Fuorn des Schweizerischen Nationalparkes. Diplomarbeit, Zoologisches Institut, Universität Zürich.
- BUCHLI, Ch., W. ABDERHALDEN & G. C. FEUERSTEIN (1998).** Das Steinbockprojekt ALBRIS / Schweizerischer Nationalpark (SNP). in: *Bündnerwald*, Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, No. 2, p 57-65.

- BUCHLI, Ch. & W. ABDERHALDEN (1998a)**. Das Steinbockprojekt Albris / Schweizerischer Nationalpark (SNP). in: *Z. Jagdwiss.*, vol. 44, p. 102-107.
- BUCHLI, Ch. & W. ABDERHALDEN (1998a)**. Entstehung und Beschreibung des Projektes UWIWA. in: *Bünderwald*, No. 5, p. 6-9.
- BREITENMOSER-WÜRSTEN, C. & U. BREITENMOSER (1996)**. Monitoring: Definitionen, Ziele, Voraussetzungen. in: Bericht zum Bartgeierprojekt 1996/97, ed. Robin, K. & Müller J. P., p. 15-18.
- CAIRNS, J. (1979)**. Biological monitoring - concepts and scope. in: *Environmental Biomonitoring, Assessment, Prediction and Management - Certain Case Studies and Related Quantitative Issues*. ed. Cairns, J., Patil, G. P. & Waters, W. E., International Cooperative Publishing House, Maryland, p. 3-20.
- DANGERMOND, J. (1989)**. The organizational impact of GIS technology. in: *ARV News*, Environmental Systems Research Institute ESRI, vol. 11, No. 3, p. 25-26.
- DANUSER, N. (1996)**. Integration naturschutzrelevanter Daten ins Natur- und Landschaftsinventar Graubünden mit GIS. Diplomarbeit, Geographisches Institut, Universität Zürich, p. 11-18.
- DAVIS, F. W., D. M. STOMS, J. E. ESTES, J. SCEPAN & M. SCOTT (1990)**. An information systems approach to the preservation of biological diversity, in: *Int. J. Geographical Information Systems*, Taylor and Francis Ltd, vol. 4, No. 1, p. 55-78.
- DeMERS, M. N. (1997)**. *Fundamentals of geographic information systems*. John Wiley & Sons, Inc., New York, p. 1-18.
- ESTES, J. E. (1985)**. The need for improved informations systems. in: *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 11, p. 124.
- FILLI, F. & T. SCHEURER (1996)**. Langzeitbeobachtungen und Huftierdynamik, Ergebnisse der Klausurtagung vom 15. - 16. September 1995, Arbeitsberichte zur Nationalparkforschung.
- FILLI, F. (1990)**. Rothirsch und Gemse in einem Sommereinstandsgebiet im Schweizerischen Nationalpark. Diplomarbeit, Zoologisches Institut, Universität Zürich.
- FILLI, F. (1994)**. Populationsbiologie der Gemse (*Rubicapra rubicapra* L.) im Schweizerischen Nationalpark, Projektbeschreibung, SNP internes Paper vom 1. 12. 1994, Zerne, unpubliziert.
- FILLI, F. (1995)**. Projekt zur Untersuchung der Populationsbiologie der Gemse *Rupicapra rup. rupicapra* im Schweizerischen Nationalpark. in: *Der Ornithologische Beobachter*, vol. 92, p. 251-252.
- FILLI, F. (1997a)**. Populationsbiologie der Rothirsches (*Cervus e. elaphus*) im Schweizerischen Nationalpark, Projektbeschreibung, SNP internes Paper vom 27. 3. 1997, Zerne, unpubliziert.
- FILLI, F. (1997b)**. Huftiere Verteilung . Feldaufnahme, SNP internes Paper vom 02.04.1997, Zerne, unpubliziert.
- FILLI, F. (1997c)**. Huftierforschung im Schweizerischen Nationalpark, SNP internes Paper vom 29. 8. 1997, Zerne, unpubliziert.
- FILLI, F. (1997d)**. Huftiermonitoring - Forschungsprojekte SNP, SNP internes Paper vom 16. 10. 1997, Zerne, unpubliziert.
- FLOWERDEW, R. (1991)**. Spatial data integration. in: *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, ed. Maguire, D. M., Goodchild, M. F. and Rhind, D. W., New York, Vol. 1, 375-387.
- FRAUENFELDER, R. (1997)**. Permafrostuntersuchungen mit GIS, eine Studie im Fletschhorngebiet. Diplomarbeit, Geographisches Institut, Universität Zürich, p. 33.
- GEISER, P. (1992)**. Auch ohne Homo sapiens wäre Mitteleuropa von Natur aus eine halboffene Weidelandchaft. in: *Laufener Seminarbeiträge*, No.2, p. 22-34.
- GEISSLER, P. & J. HARTMANN (1997)**. Vegetationsdynamik in der Brandfläche Il Fuorn. in:

Cratschla, vol. 5, No. 2, p. 23.

- Geschäftsbericht des Schweizerischen Nationalparks (1997)**. ed. Eidg. Nationalparkkommission ENPK und Stiftung Nationalparkhaus Zernez, Zernez, p. 26-38.
- GOODCHILD, M. F. (1988)**. Towards an enumeration and classification of GIS functions. in: *International Geographic Information Systems (IGIS) Symposium*, Arlington, Virginia, ed. Angeenbrug, R. T. & Schiffmann, Y. M., NASA, Washington D.C., Vol. 2, p. 62-77.
- GÖPFERT, W. (1991)**. Raumbezogene Informationssysteme. Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe, p. 135-174.
- GRÜN, A. & H. SAUERMAN (1977)**. Photogrammetric determination of time-dependent variations of details of a glacier surface using a non-metric camera. in: symposium on dynamics of temperate glaciers and related problems, München, 6. - 9. Sept. 1977, p. 1-8.
- HÄFLIGER, S. (1995)**. GIS-gestützte Planung eines Amphibien-Laichplatzes in der Gemeinde Neuenkirch. Diplomarbeit, Geographisches Institut, Universität Zürich.
- HALLER, R. (1996)**. Homorange- und Habitatanalysen: Entwicklung von Methoden zur Nutzung von Geographischen Informationssysteme in der Wildforschung. Diplomarbeit, Geographisches Institut, Universität Zürich.
- HELLAWELL, J. M. (1991)**. Development of a rational for monitoring. in: *Monitoring for Conservation and Ecology*, ed. Goldsmith, B., Chapman and Hall, New York, p. 1-14.
- HINDENLANG, K. & B. NIEVERGELT (1995)**. Capra ibex L., Alpensteinbock. in: *Säugetiere der Schweiz - Verbreitung, Biologie, Ökologie*, ed. Hausser, J., Birkhäuser Verlag, Basel, p. 450-455.
- HINDENLANG, K. & D. WIRZ (1992)**. Jahresbericht "Dauerbeobachtungen der Huftiere auf der Brandfläche Il Fuorn", zhd. WNP-K-Arbeitsgruppe: Entwicklung alpiner Ökosysteme mit hohen Huftierbeständen, unpubl.
- IMFELD, S & R. HALLER (1997)**. Arbeitsgruppe GIS / Wildtiere - Bestandesaufnahme und Ziele, unpubliziert.
- IMFELD, S. (1996)**. Tages- und Jahreszeitliche Verteilungsmuster des Rehs. *C. capreolus* im Sihlwald. Diplomarbeit, Zoologisches Institut, Universität Zürich.
- JENNI, P. (1997)**. *Notizen zur Fototechnik*, vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, Zürich, p. 38.
- KERNIGHAM, B. W. & R. PIKE (1984)**. *The UNIX Programming Environment*, Prentice & Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, p. vii-x.
- KONECNY, G. & G. LEHMANN (1984)**. *Photogrammetrie*, Walter de Gruyter, Berlin, p. 11-14, 96-102, 336-356.
- KRAUS, K. (1994)**. *Photogrammetrie*, Band 1, Grundlagen und Standardverfahren, Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn, p. 13-16, 94.
- KRÜSI, B.O., M. SCHÜTZ, H. GRÄMIGER & G. ACHERMANN (1996)**. Was bedeuten Huftiere für den Lebensraum Nationalpark? in: *Cratschla*, vol. 4, No. 2, p 51-64.
- KRÜSI, B. O., M. SCHÜTZ, O. WILDI & H. GRÄMIGER (1995)**. Huftiere, Vegetationsdynamik und botanische Vielfalt im Nationalpark Ergebnisse von Langzeitbeobachtungen. in: *Cratschla*, vol. 3, No. 2, p. 14-25.
- KÜTTEL, M. (1994)**. Zur Mosaik-Zyklus-Theorie aus pollenanalytischer Sicht. in: Festschrift Gerhard Lang, ed. Lotter, A. F. & Amman, B., *Dissertationes Botanicae*, No. 234, p. 353-364.
- LEUZINGER, E. (in Vorb.)**. Kleinräumige Nutzung der subalpinen Weide Stabelchod im Schweizerischen Nationalpark (SNP) durch Rothirsche (*Cervus elaphus* L.). Diplomarbeit, Zoologisches Institut, Universität Zürich.
- MARTIN, C. (1998)**. Monitoring - a critical aspect of conservation, in: *The re-introduction of the lynx into the alps*, ed. Breitenmoser-Würsten, C., Rohner, C. & Breitenmoser, U., Environmental

- encounters, Council of Europe Publishing, vol. 38, p. 67-70.
- MUHMENHALER, M. (1999).** Die Kleinsäugerfauna des Simen Mountains National Park, Äthiopien, unter dem Einfluss des Menschen. Diplomarbeit, Zoologisches Institut, Universität Zürich.
- Nationalparkgesetz (1980).** Bundesgesetz über den Schweizerischen Nationalpark im Kanton Graubünden, vom 19. Dez. 1980.
- NIEVERGELT, B. (1965).** Der Alpensteinbock in seinem Lebensraum. Ein ökologischer Vergleich. Dissertation, Zoologisches Institut, Universität Zürich.
- NIEVERGELT, B., T. SCHEURER, B. ALLGÖWER, F. FILLI & K. ROBIN (1996).** Forschung im Nationalpark: Was wurde in den Jahren 1990 bis 1995 erreicht? in: *Cratschla*, vol. 4, No. 1, p. 30-40.
- NIEVERGELT, B. & T. SCHEURER (1986).** Dauerbeobachtungsflächen im Gebiet des Schweizerischen Nationalparks. in: Arbeitsberichte zur Nationalparkforschung, ed. Wissenschaftliche Nationalparkkommission WNPk.
- PEEK, J. E. (1986).** *A review of wildlife management*. Prentice & Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, p. 1-24.
- PELTON, M. R. & F. T. VAN MANEN (1996).** Benefits and pitfalls of long-term research: a case study of black bears in Great Smoky Mountains National Park. in: *Wildlife Society Bulletin*, Vol 24, No. 3, p. 443-450.
- RHIND, D. W., (1984).** The integration of geographical data. in: *Proceedings of the Austro Carto Perth Conference*, Perth, p. 273-293.
- ROBIN, K. & F. FILLI (1995).** Beobachtungen 1994 zur Pflanzen- und Tierwelt. in: *Cratschla*, vol. 3, No. 2, p. 9-11.
- RODCAY, G. (1991).** GIS a „natural“ for wildlife management. in: *International GIS Sourcebook 1991*, ed. Parker, H. D., GIS World, Inc., p. 365-369.
- SCHERZINGER, W. (1991).** Das Mosaik-Zyklus-Konzept aus der Sicht des zoologischen Artenschutzes. in: *Laufener Seminarbeiträge*, No. 5, p. 30-42.
- SCHLOETH, R. (1961).** Markierung und erste Beobachtungen von markiertem Rotwild im Schweizerischen Nationalpark und dessen Umgebung. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchung des Schweizerischen Nationalparks, Band VII, p. 45.
- SHEPHERD, I. D. H. (1991).** Information integration and GIS. in: *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, ed. Maguire, D. M., Goodchild, M. F. and Rhind, D. W., New York, Vol. 1, 337-360.
- SPELLENBERG, I. F. (1991).** *Monitoring ecological change*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 3-25, 181-196.
- STAUFFER, C. (1988).** Verteilung, Koexistenz und Äsungsdruck von Rothirsch, Alpensteinbock und Gemse im Val Trupchun. Schweizer Nationalpark. Diplomarbeit, Zoologisches Institut, Universität Zürich.
- STRAYER, D., J. S. GLITZENSTEIN, G. C. JONES, J. KOLASA, G. E. LIKENS, M. J. McDONELL, G. G. PARKER & S. T. A. PICKETT (1986).** Long-term ecological studies: an illustrated account of their design, operation, and importance to ecology. in: Occasional Publications of the Institute of Ecosystem Studies, The New York Botanical Garden, Millbrook, New York, No. 2, p. 1-38.
- STREILEIN, A. (1998).** Digitale Photogrammetrie und CAAD. Dissertation 12897, ETH Zürich.
- USHER, M. B. (1991).** Scientific requirements of a monitoring programme. in: *Monitoring for Conservation and Ecology*, ed. Goldsmith, B., Chapman and Hall, New York, p. 15-32.
- WALKER, A. N. (1986).** *Die Unix-Welt*. Carl Hanser Verlag, München, p. 109-122.

WATSON, D. F. (1992). *Contouring - A guide to the analysis and display of spatial data.* Pergamon - Elsevier Science Ltd, New York, p. 139-141.

ZIMMERMANN, B. (1990). Wechselwirkungen zwischen alpinen Rasen und freilebenden Huftieren im Schweizerischen Nationalpark: Produktion, Konsumation, Selektivität. Diplomarbeit am Inst. für systematische Botanik der Universität Zürich.

ZISWILER, V. (1993). *Wirbeltiere*, Band II: Amniota. Zentralstelle der Studentenschaft der Universität Zürich, Zürich, p. 606-615.

ZOLLER, H. & J. N. HAAS (1995). War Mitteleuropa ursprünglich eine halboffene Weidelandschaft oder von geschlossenen Wäldern bedeckt? in: *Schweiz. Z. Forstwiss.* vol 146, No. 5, p. 321-354.

Nicht zitierte Literatur:

BRANDT, M. (1993). Einfluss von Steinbock, Gemse und Rothirsch auf dem Vegetationsschluss und die Erosion im Bereich alpiner Rasen. in: *Cratschla*, vol. 1, No. 2, p. 27-37.

BROGGI, M. F. (1995). Huftiere, Walddynamik und Landschaftsentwicklung im Nationalpark. in: *Cratschla*, vol. 3, No. 2, p. 26-32.

HALLER, H. (1996). Prädation und Unfälle beim Steinbock *Capra ibex* im Engadin. in: *Z. Jagdwiss.*, vol. 42, p. 24-35.

Anhang II: Erhebungs-Formular

Formular zur Erhebung der Attributdaten für die vierteljährliche Erhebung der räumlichen Verteilung der Huftiere (*Raumverteilung Huftiere*)

Huftiere: Räumliche Verteilung		Karten-Nr.:		Datum:		 Markierte Tiere			
		Bearbeiter:							
Nr.	Zeit ♂ ♀	Rothirsch (best.) + K/K+unb = Total		Gämse (best.) + K/K+unb = Total		Steinbock (best.) + K/K+unb = Total		Total	
		H1j H1K H2+	H2j H2K H2+	Gj G2+	Gj G2+	S1-3 S4-6 S7-10 S11+	Sj S2+	Total	Total
1	♂ ♀								
2	♂ ♀								
3	♂ ♀								
4	♂ ♀								
5	♂ ♀								
...	♂ ♀								
Seitentotal:									
Kategorien:		H1j: 1 Jahr alt (Spiesser od. Schmalher)		Gj: 1 Jahr alt (Jährling/-sgelss)		S1-3: 1 bis 3 Jahre alt		keine Einteilung	
		H1K: einseitige Krone		G2+: über 2 Jahre		S4-6: 4 bis 6 Jahre alt			
		H2K: zweiseitige Krone		G alt: alter Bock, älter als 10		S7-10: 7 bis 10 Jahre alt			
		H2+: über 2 Jahre alt				S11+: über 11 Jahre alt			
						Sj: 1 Jahr alt (Jährlingsgelss)			
						S2+: über 2 Jahre alt			

PL.8.97

Anhang III: c-Code

Modul affintrafo.c

```

/*
 *
 *      prototype-application: affintrafo.c
 *      computes transformation parameter from 2 gcp_files
 *
 */
/*****
/* INFORMATION:
/* to compile: gcc -lm affintrafo.c -o affintrafo (-lm for math. fcts)
/* to start: trafo gcp_coos_sys1 gcp_coos_sys2 out_parafilename
/*
/* please remember: coos_sys1 und coos_sys_sample have to be identical!!
/* file-format: ascii-files, EOF is -1
/* - file gcp_coos_sys1: gcp_nr X_im Y_im
/* - file gcp-coos_sys2: gcp_nr X_im Y_im
/* - file out_parafilename : a0 b0 a1 b1 a2 b2
/*****
/* author: Patrick Laube
/* last update: 10.12.98
/*****

/* include */
#include <stdio.h>
#include <math.h>

static char rcsid[] = "$Id: trafo2_0.c,v 1.13 1999/02/02 08:09:03 plaube Exp $";

/* main */
main(argc, argv)
int argc;
char *argv[];
{
    FILE*fpin1, *fpin2, *fpout1; /* file pointer */
    char *filename; /* file name */
    int i; /* loop counter */
    int n; /* loop counter */
    int pc; /* point counter */
    int n_pts; /* number of transformation points */
    float Xs, Ys, xs, ys; /* centers of gravity */
    float t1, t2, t3, t4, t5, t6, t7, t8; /* terms for calculation */
    float a0, a1, a2, b0, b1, b2;
    double m0, mp; /* error handling variables */

    /* typedef */
    typedef struct {
        int s1_ptrn; /* pointnumber in system 1 */
        double s1_x, s1_y; /* coordinates in system 1 */
        int s2_ptrn; /* pointnumber in system 2 */
        double s2_x, s2_y; /* coordinates in system 2 */
    } Trafo_Point; /* type def. for transformation points */

    Trafo_Point *pts, *p_pts; /* pointers */

    /* search for arguments */
    i = n = 0;
    while (argc > ++i) {
        if (**(argv + i) == '-')
            continue;

        filename = argv[i];

        /* get filepointer of first input file */
        if (n == 0) {
            fpin1 = fopen (filename, "r");
            n++;
        }

        /* get filepointer of second input file */
        else if (n == 1) {
            fpin2 = fopen (filename, "r");
            n++;
        }
    }
}

```

```

    }

    /* get filepointer of first output file */
    else if ( n == 2 ) {
        fpout1 = fopen (filename, "w");
        n++;
    }

}

/* while loop end */

/* check correct number of arguments */
if ( n != 3 ) {
    fprintf(stdout, "\nInsufficient number of arguments!!!\n");
    exit(0);
}

/*****
/* read files in array pts (s1_ptnr|s1_x|s1_y|s2_ptnr|s2_x|s2_y / ...) */
/*****
/* allocate memory for points */
n_pts = 100; /* e.g. max. 100 points */
pts = (Trafo_Point*)malloc(n_pts * sizeof(Trafo_Point)); /* array: pts */

/* read first inputfile (in1) and write into array */
/* sample line of input file in1: 12 13.1 12.2 */

/* read data to array */
p_pts = pts; /* set pointer */
i = 0;
fscanf (fpin1, "%d\t", &p_pts->s1_ptnr);
while (p_pts->s1_ptnr != -1) { /* end of file = -1 */
    fscanf (fpin1, "%lf\t %lf", &p_pts->s1_x, &p_pts->s1_y);
    p_pts++, i++;
    fscanf (fpin1, "%d\t", &p_pts->s1_ptnr);
}
pc = i; /* loop counter */

/* check correct number of points */
if ( (p_pts-1)->s1_ptnr < 4 ) {
    fprintf(stdout, "\nInsufficient number of points!!!\n");
    exit(0);
}

/* read second inputfile (in2) and write into array */
/* read data to array */
p_pts = pts; /* set pointer */
fscanf (fpin2, "%d\t", &p_pts->s2_ptnr);
while (p_pts->s2_ptnr != -1) {
    fscanf (fpin2, "%lf\t %lf", &p_pts->s2_x, &p_pts->s2_y);
    p_pts++;
    fscanf (fpin2, "%d\t", &p_pts->s2_ptnr);
}

/* check input files on uncorresponding pointnumbers */
p_pts = pts; /* sets pointer to begin of array pts */

while (p_pts->s1_ptnr != -1 && p_pts->s2_ptnr != -1) {
    if (p_pts->s1_ptnr != p_pts->s2_ptnr) {
        printf("\npointnumbers in input files not corresponding!\n");
        exit(0);
    }
    else
        p_pts++;
}

/*****
/* calculation of transformation */
/*****

/* calculation step 1: summation of arrays s1_x[i], s2_y[i], usw.*/
p_pts = pts; /* sets p_pts to begin of array pts */
Xs = Ys = xs = ys = 0.0;

for (i = 0; i < pc; i++) {
    Xs += (p_pts->s2_x) / pc;
    Ys += (p_pts->s2_y) / pc;
    xs += (p_pts->s1_x) / pc;
    ys += (p_pts->s1_y) / pc;
    p_pts++;
}

```

```

/* calculation steps 2 & 3: */
p_pts = pts; /* sets p_pts to begin of array pts */
t1 = t2 = t3 = t4 = t5 = t6 = t7 = 0.0;

for (i = 0; i < pc; i++) {
    t1 += ((p_pts->s1_y - ys) * (p_pts->s1_y - ys)); /* t for term */
    t2 += ((p_pts->s1_x - xs) * (p_pts->s2_x - Xs));
    t3 += ((p_pts->s1_x - xs) * (p_pts->s1_y - ys));
    t4 += ((p_pts->s1_y - ys) * (p_pts->s2_x - Xs));
    t5 += ((p_pts->s1_x - xs) * (p_pts->s1_x - xs));
    t6 += ((p_pts->s1_x - xs) * (p_pts->s2_y - Ys));
    t7 += ((p_pts->s1_y - ys) * (p_pts->s2_y - Ys));
    p_pts++;
}

a1 = (t1*t2 - t3*t4) / (t5*t1 - t3*t3);
a2 = (t5*t4 - t3*t2) / (t5*t1 - t3*t3);
b1 = (t1*t6 - t3*t7) / (t5*t1 - t3*t3);
b2 = (t5*t7 - t3*t6) / (t5*t1 - t3*t3);

/* calculation step 4: offset a0, b0 */

a0 = Xs - a1*xs - a2*ys;
b0 = Ys - b1*xs - b2*ys;

/* calculation step 5: error measurement */

p_pts = pts; /* sets p_pts to begin of array pts */
t8 = 0.0;

for (i = 0; i < pc; i++) {
    t8 += (pow((p_pts->s2_x - (a0+a1*(p_pts->s1_x)+a2*(p_pts->s1_y))),2.0)
        + pow((p_pts->s2_y - (b0+b1*(p_pts->s1_x)+b2*(p_pts->s1_y))),2.0));
    p_pts++;
}

m0 = sqrt((t8/(2*pc-6)));
mp = m0 * sqrt(2.0);

/*****/
/* output */
/*****/

/* prints error-data to screen */
printf("Error-Measurement:\n");
printf("m0 = %lf\n", m0);
printf("mp = %lf\n", mp);

/* write results to output file, 3. arg. */
fprintf(fpout1, "%lf\t %lf\t %lf\t %lf\t %lf\t %lf\n",
        a0, b0, a1, b1, a2, b2);
printf("a0 = %lf\n", a0);
printf("b0 = %lf\n", b0);
printf("a1 = %lf\n", a1);
printf("b1 = %lf\n", b1);
printf("a2 = %lf\n", a2);
printf("b2 = %lf\n", b2);

/* clean up */
fclose (fpin1);
fclose (fpin2);
fclose (fpout1);
printf("finished regularly\n"); /* indicates regular end of prog */
printf("wrote trafo-parameterfile: %s\n", argv[2]);

exit(1);

} /* end of main */

```

Modul samplecorr.c

```

/*
 *
 *   prototype-application: samplecorr.c
 *   transforms a data-sample with parameter from trafo.c
 *
 */
/*****
/* INFORMATION:
/* to compile: gcc -lm -g samplecorr.c -o samplecorr
/* to start:  samplecorr in_sample parameter out_sample
/*
/* (!!!) coos_sys of in_sample und gcp_coos_sys1 have to be identical
/* file-format: ascii-files, tab delimited, EOF is -1
/* - file in_sample:  sample to correct, in in_coos_sys1
/* - file parameter:  parameter of affine transf., from trafo.c
/* - file out_sample: transformed koos of sample in im_koos_system2
*****/
/* author: Patrick Laube
/* last update: 10.12.98
*****/

/* include */
#include <stdio.h>

/* main */
main(argc, argv)
int argc;
char *argv[];
{
    FILE      *fpsa,*fppar, *fpout1;          /* file pointer: sample-, param.-, outfile */
    char      *filename;                      /* file name */
    int       i;                              /* loop counter */
    int       n;                              /* loop counter */
    int       n_pts;                          /* number of transformation points */
    float     a0, a1, a2, b0, b1, b2;        /* trafo-parameter */
    int       s2_sa_ptnr;                     /* results: pt nr. */
    float     s2_sa_x, s2_sa_y;              /* results: coords. */

    /* typedef */
    typedef struct {
        int s1_sa_ptnr;                       /* samplepointnumber in system 1 */
        double s1_sa_x, s1_sa_y;             /* sample coordinates in system 1 */
    } Trafo_Point;                          /* type definition for transformation points */

    Trafo_Point *pts, *p_pts;                /* pointers */

    /* search for arguments */
    i = n = 0;
    while (argc > ++i) {
        if (**(argv + i) == '-')
            continue;

        filename = argv[i];

        /* get filepointer of first input file, sample file */
        if (n == 0) {
            fpsa = fopen (filename, "r");
            n++;
        }

        /* get filepointer of second input file, parameter from affintrafo.c */
        else if (n == 1) {
            fppar = fopen (filename, "r");
            n++;
        }

        /* get filepointer of output file */
        else if (n == 2) {
            fpout1 = fopen (filename, "w");
            n++;
        }
    }

    /* while loop end */

    /* check correct number of arguments */
    if ( n != 3 ) {
        fprintf(stdout, "\nInsufficient number of arguments!!!\n");
    }
}

```

```

        exit(0);
    }

    /*****
    /* read files in array pts (s1_sa_ptnr|s1_sa_x|s1_sa_y / ...) */
    /*****

    /* allocate memory for points */
    n_pts = 100; /* e.g. max. 100 points */
    pts = (Trafo_Point*)malloc(n_pts * sizeof(Trafo_Point)); /* array: pts */

    /* read sample-file and write into array */
    /* sample line of sample-file:  12  13.1  12.2 */

    /* read data to array */
    p_pts = pts; /* set pointer */
    fscanf (fpsa, "%d\t", &p_pts->s1_sa_ptnr);
    while (p_pts->s1_sa_ptnr != -1) {
        fscanf (fpsa, "%lf\t %lf", &p_pts->s1_sa_x, &p_pts->s1_sa_y);
        p_pts++;
        fscanf (fpsa, "%d\t", &p_pts->s1_sa_ptnr);
    }

    /* read parameter-file */
    /* line of parameter-file:  a0 b0 a1 b1 a2 b2 */
    fscanf (fppar, "%f %f %f %f %f %f", &a0, &b0, &a1, &b1, &a2, &b2);

    /* Calculation and output of corrected coordinates */
    p_pts = pts;
    while (p_pts->s1_sa_ptnr != -1) {

        /*****
        /* Calculation */
        /*****
        s2_sa_ptnr = p_pts->s1_sa_ptnr;
        s2_sa_x   = a0+a1*(p_pts->s1_sa_x)+a2*(p_pts->s1_sa_y);
        s2_sa_y   = b0+b1*(p_pts->s1_sa_x)+b2*(p_pts->s1_sa_y);

        /*****
        /* Output */
        /*****
        fprintf(fpout1, "%d\t ", s2_sa_ptnr);
        fprintf(fpout1, "%lf\t ", s2_sa_x);
        fprintf(fpout1, "%lf\n", s2_sa_y);
        p_pts++;
    }
    fprintf(fpout1, "-1"); /* prints EOF = -1 to end of out_sample */

    /* clean up */
    fclose (fpsa);
    fclose (fppar);
    fclose (fpout1);
    printf("finished regularly\n"); /* indicates regular end of program */

    exit(1);
} /* end of main */

```

Modul: monoplot.c

```

/*
 *
 * prototype-application mono_plot.c
 * monoplotting-tool
 */

/*****
/* INFORMATION:
/* to compile : gcc -g -lm mono_bili.c -o mono (-lm for math. fct)
/* to start:   mono image_coor int_orient ext_orient DEM testout report*/
/* all numbers in m!!!
/* - file image_coor: ptrn1 im-coos_x1 im_coos_y1
/* - file int_orient: x_io y_io c(cam.-const.)
/* - file ext_orient: Xo Yo Zo (station) ome phi kap [in radians]
/* - file DEM: DEM with formatted header:
/*          ncols      11
/*          nrows      20
/*          xllcorner  800000
/*          yllcorner  200000
/*          cellsize   1
/*          NODATA_value -9999
/*          all variables are double
/* - file testout: corrected coordinates
/*          formatted: Arcview:>tables>add>add event theme
/* - file report: parameter, filenames, rot.mat, iteration steps
/*****
/* author: Patrick Laube
/* date: 6.1.1999
/*****

/* includes */
#include <stdio.h>
#include <math.h>

/* defines */

/* functions */
int f_angles(double, double, double, double [][]); /* rot.matrix */

/* main */
main(argc, argv)
int argc;
char *argv[];
{
    FILE *fpin1_imc, *fpin2_io, *fpin3_eo, *fpin4_dem, *fpout1, *fpout2_rep;
    /* fileptrs */
    /* ->imag.coord int.orient ext.orient dem          out-file report-file */

    char      *filename;          /* input file name */
    int       i;                  /* loop counter (setting filepts) */
    int       n;                  /* loop counter (setting filepts) */
    int       rv_f_angles;        /* function return value */
    int       n_pts;              /* number of points for allocation */

    /* typedef */
    typedef struct {
        int pt_nr_im;             /* in1: point number */
        float x_im, y_im;         /* in1: image coordinates */
    } Image_Point;              /* type definition for sample points */

    Image_Point *pts, *p_pts;    /* pointers */

    float      x_io, y_io, c_io;  /* in2: int. orient */
    double     x_sta, y_sta, z_sta; /* in3: ext. orient, station */
    double     ome, phi, kap;     /* in3: rotation angles */
    double     dm[3][3];          /* var dm for f_angles */

    /* read DEM */
    int        nrows, ncols;      /* DEM-cols and rows */
    double     ymax, xmax, ymin, xmin; /* DEM-window */
    int        cell;              /* DEM-cellsize */
    int        nodata;            /* DEM-NODATA-value */
    char       text[80];          /* error message */
    register intc, r;             /* indexes: c-cols, r-rows */
    double     *vz, **z;         /* pointer for DEM-matrix */

    /* step I */

```

```

float      x_co_dem, y_co_dem;          /* centre of DEM */
double    sum;                          /* sum of all z-values */
int       n_data;                        /* count of z-values */
double    x_ray, y_ray, z_ray;          /* iteration position on ray */
double    dv_x, dv_y, dv_z;            /* direction vector */
int       r_np_l, c_np_l;
int       r_np_r, c_np_r;              /* row & col of left an right pix */
double    z_interpol;                   /* interpolated z */
double    d_l, d_r;                    /* distances to nearest pixels*/
double    dz, dz_prev;                 /* delta z, previous dz */
int       step;                         /* iteration step */
int       loop_count;                  /* iteration loop counter */

/* step II */
int       c1, c2, c3, c4;              /* cols of pixel square */
int       r1, r2, r3, r4;              /* rows of pixel square */
double    A, B, C, D;                  /* parameter of bilinear interpol */
double    x_bi, y_bi;                  /* relative x, y, for bili.int */
int       i_ls;                         /* loopcounter search (smallest dz) */
double    littlestep;                  /* stepsize of search */
double    x_corr, y_corr, z_corr;      /* coord. of intersection point */

/* error handling */
int       ctrl_var;                    /* point-in-DEM-check */

/* set nills */
dz = 0;

/*****
/* search for arguments */
/*****
i = n = 0;
while (argc > ++i) {

    if (**(argv + i) == '-')
        continue;

    filename = argv[i];

    /* get filepointer of in1: image coordinates */
    if (n == 0) {
        fpin1_imc = fopen (filename, "r");
        n++;
    }

    /* get filepointer of in2: int. orient. */
    else if (n == 1) {
        fpin2_io = fopen (filename, "r");
        n++;
    }

    /* get filepointer of in3: ext. orient. */
    else if (n == 2) {
        fpin3_eo = fopen (filename, "r");
        n++;
    }

    /* get filepointer of in4: DEM*/
    else if (n == 3) {
        fpin4_dem = fopen (filename, "r");
        n++;
    }

    /* get filepointer of first output file */
    else if (n == 4) {
        fpout1 = fopen (filename, "w");
        n++;
    }

    /* get filepointer of second output, report file */
    else if (n == 5) {
        fpout2_rep = fopen (filename, "w");
        n++;
    }

} /* while loop end */

/* check correct number of arguments */
if ( n != 6 ) {
    fprintf(stdout, "\nInsufficient number of arguments!!!\n");

```

```

        exit(0);
    }

    /*****
    /* read input files: parameters */
    /*****

    x_io = y_io = c_io = 0;
    x_sta = y_sta = z_sta = ome = phi = kap = 0;

    /* read in1 */
    /* allocate memory for points */
    n_pts = 100; /* e.g. max. 100 points */
    pts = (Image_Point*)malloc(n_pts * sizeof(Image_Point));

    p_pts = pts; /* set pointer */
    fscanf (fpin1_imc, "%d", &p_pts->pt_nr_im);
    while (p_pts->pt_nr_im != -1) {
        fscanf (fpin1_imc, "%f %f", &p_pts->x_im, &p_pts->y_im);
        p_pts++;
        fscanf (fpin1_imc, "%d", &p_pts->pt_nr_im);
    }

    /* read in2 and in3 */
    fscanf (fpin2_io, "%f %f %f", &x_io, &y_io, &c_io);
    fscanf (fpin3_eo, "%lf %lf %lf %lf %lf %lf",
           &x_sta, &y_sta, &z_sta, &ome, &phi, &kap);

    /*****
    /* read input files: DEM */
    /*****
    /* read header of DEM */
    if (fscanf(fpin4_dem,"%s %d ", text, &ncols)< 0 ) {
        fprintf(stdout, "could not read ncols from file %s!\n");
    }
    if (fscanf(fpin4_dem,"%s %d ", text, &nrows)< 0 ) {
        fprintf(stdout, "could not read nrows from file %s!\n");
    }
    if (fscanf(fpin4_dem,"%s %lf ", text, &xmin)< 0 ) {
        fprintf(stdout, "could not read xmin from file %s!\n");
    }
    if (fscanf(fpin4_dem,"%s %lf ", text, &ymin)< 0 ) {
        fprintf(stdout, "could not read ymins from file %s!\n");
    }
    if (fscanf(fpin4_dem,"%s %d ", text, &cell)< 0 ) {
        fprintf(stdout, "could not read cellsize from file %s!\n");
    }
    if (fscanf(fpin4_dem,"%s %d ", text, &nodata)< 0 ) {
        fprintf(stdout, "could not read NODATA-value from file %s!\n");
    }
}

/* calculating number of rows and cols */
xmax = xmin + ncols * cell;
ymax = ymin + nrows * cell;

/* dynamic allocation of memorey, only temporary*/
z = (double **)calloc(nrows, sizeof(double));
vz = (double *)calloc(ncols*nrows,sizeof(double));
for (c=0;c<nrows;c++) z[c]=&vz[c*ncols];
if (z==NULL) fprintf(stdout, "Allocating error z");

/* read DEM, filling matrix */
for (r=0; r < nrows; r++) {
    for (c=0; c < ncols; c++) {
        fscanf(fpin4_dem, "%lf", &z[r][c]);
    }
}
/* (!!!) z[r][c], origin is up-left [0][0] */

/* centre of DEM (co_dem) */
x_co_dem = (xmin + (ncols/2)*cell);
y_co_dem = (ymin + (nrows/2)*cell);
sum = n_data = 0;

for (r=0; r < nrows; r++) {
    for (c=0; c < ncols; c++) {
        if (z[r][c] != nodata) {
            sum += z[r][c];
            n_data++;
        }
    }
}

```



```

/*****
 * functions
 *****/

/*****
/* f_angles: function to determine rotationmatrix from ome, phi, kap */
/*****

int f_angles(double ome, double phi, double kap, double dm[3][3])
    /* *dm[] gives the pointer to the address of the array to the function */

{
    double come, some; /* cosinus and sinus */
    double cphi, sphi; /* cosinus and sinus */
    double ckap, skap; /* cosinus and sinus */

    /* dm = Domega * Dphi * Dkappa */

    /* calculate cosinus and sinus of rotation angles */
    come = cos (ome);
    some = sin (ome);
    cphi = cos (phi);
    sphi = sin (phi);
    ckap = cos (kap);
    skap = sin (kap);

    /* get values of rotation matrix */
    dm[0][0] = (cphi * ckap);
    dm[0][1] = - (cphi * skap);
    dm[0][2] = sphi;
    dm[1][0] = (come * skap) + (some * sphi * ckap);
    dm[1][1] = (come * ckap) - (some * sphi * skap);
    dm[1][2] = - (some * cphi);
    dm[2][0] = (some * skap) - (come * sphi * ckap);
    dm[2][1] = (some * ckap) + (come * sphi * skap);
    dm[2][2] = (come * cphi);

    return (1); /* return-value is 1, successful */
}

```


Anhang IV: Passpunkte

Geodätisch eingemessene Koordinaten und Messkammerbild-Koordinaten der verwendeten Passpunkte

Nr.	X	Y	Z	x-Bild	y-Bild
1	812287.967	172301.722	1998.582	-0.021534	0.012457
2	812289.006	171919.715	1815.991	-0.023225	-0.025182
3	812310.025	172000.366	1856.847	-0.009980	-0.002416
4	812356.885	172578.266	2190.225	-0.012031	0.020847
5	812379.643	172336.555	2034.448	-0.004477	0.013850
6	812363.906	172232.649	1968.692	-0.004005	0.009397
7	812341.621	172042.805	1872.418	0.001276	-0.001336
8	812337.648	171972.887	1834.661	0.009442	-0.014387
9	812339.060	171917.547	1818.931	0.029577	-0.024313
10	812409.044	172162.864	1918.454	0.010942	0.001303
11	812446.595	172272.771	1981.436	0.010578	0.006855
12	812477.583	172403.818	2063.600	0.008311	0.012069
13	812442.538	172464.414	2107.615	0.001083	0.015465
14	812500.882	172088.121	1921.472	0.045912	0.004784
15	812439.673	172040.859	1871.533	0.039146	-0.005574
16	812437.735	172142.782	1903.406	0.020468	-0.002357
17	812467.551	172137.573	1911.594	0.028729	-0.000559
18	812508.882	172313.815	2011.954	0.018587	0.008455
19	812369.764	171908.115	1823.495	0.063094	-0.021324
20	812411.658	171964.865	1842.274	0.053600	-0.012714

Anhang V: Ablaufschema

Ablaufschema der Datenintegration des Datensatzes *Brandfläche II Fuorn*.

