

Ulrike Schuckert

**Monitoring der Hoch- und
Zwischenmoorvegetation
mit Methoden der Fernerkundung
am Beispiel des Wurzacher Riedes**

Verlag Dr. Kovač

[c] Verlag Dr. Kovač GmbH

Schriftenreihe

Agrarwissenschaftliche Forschungsergebnisse

Band 8

In der Schriftenreihe ***Agrarwissenschaftliche Forschungsergebnisse*** werden neue wissenschaftliche Arbeiten aus dem Bereich der Agrarwissenschaft veröffentlicht.

Verlag Dr. Kovač

Ulrike Schuckert

**Monitoring der Hoch- und
Zwischenmoorvegetation
mit Methoden der Fernerkundung
am Beispiel des Wurzacher Riedes**

Verlag Dr. Kovač

VERLAG DR. KOVAČ

Arnoldstraße 49 · 22763 Hamburg · Tel. 040-39 88 80-0 · Fax. 040 - 39 88 80-55

D 100

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Schuckert, Ulrike:

Monitoring der Hoch- und Zwischenmoorvegetation mit
Methoden der Fernerkundung am Beispiel des Wurzacher Riedes /

Ulrike Schuckert - Hamburg : Kovač, 1998

(Schriftenreihe agrarwissenschaftliche Forschungsergebnisse ; Bd. 8)

Zugl.: Hohenheim , Univ., Diss., 1997

ISBN 3-86064-703-2

(C) VERLAG DR. KOVAČ in Hamburg 1998

Printed in Germany

Ohne schriftliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf
jedwedem Wege zu vervielfältigen, zu veröffentlichen oder zu speichern.

Für Manfred und Alexander

Vorwort

Diese Arbeit wurde im Rahmen meiner Forschungstätigkeit am Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie der Universität Hohenheim verfaßt. Grundlage bildeten verschiedene Projekte zur Erfolgskontrolle in Mooren.

Herr Prof. Dr. Böcker hat mich als wissenschaftlicher Betreuer meiner Arbeit sehr engagiert und persönlich unterstützt. Sein Einsatz bei der Koordination sowie den alljährlich stattfindenden, mühsamen Vertragsverhandlungen zur Fortsetzung des „Monitoring Wurzacher Ried“ haben mir ebenfalls sehr geholfen. Dafür danke ich sehr herzlich.

Herr Prof. Dr. Wieneke, Institut für Geographie der LMU München, hat wertvolle Hilfestellung bezüglich Fernerkundungsverfahren geleistet. Mein besonderer Dank gilt darüberhinaus seiner Bereitschaft, den Mitbericht für diese Dissertation zu verfassen.

Eine Vielzahl von Personen hat im Laufe der Jahre meine Arbeit nachhaltig beeinflusst:

- Herrn Prof. Dr. Poschod, Fachbereich Biologie der Philipps-Universität Marburg, habe ich zunächst als Studentin und später als seine Mitarbeiterin in Forschung und Lehre einen großen Anteil meiner moorkundlichen Kenntnisse zu verdanken.
- Herr Prof. Dr. Pfadenhauer, Lehrstuhl für Vegetationsökologie, TU München/Weihenstephan hat durch die Vergabe einer moorkundlichen Diplomarbeit 1986 mein Interesse und meine Faszination für Moore geweckt.
- Herr Weiser und Herr Renner vom Naturschutzzentrum Bad Wurzach waren mir vor Ort in vielerlei Weise behilflich, nicht zuletzt durch ihre stete Gesprächsbereitschaft.
- Pater Agnellus Schneider, Bad Wurzach, führte mir in mehreren Gesprächen, veranschaulicht anhand zahlreicher Fotos, erst das Ausmaß der Veränderungen im Wurzacher Ried in den letzten Jahrzehnten vor Augen. Dies hat sich erheblich auf meine Einschätzung der heutigen Situation des Moores ausgewirkt. Seinen Bemühungen seit der Nachkriegszeit ist es mit zu verdanken, daß das Wurzacher Ried wider alle Nutzungsbestrebungen als einer der größten naturnahen Moor-komplexe Mitteleuropas erhalten geblieben ist.
- Die eingehenden Diskussionen der am Monitoringprojekt Wurzacher Ried beteiligten Wissenschaftler, insbesondere aus der Limnochemie und Zoologie, zur Frage des Leitbildes im Wurzacher Ried haben mein Blickfeld bei der Behandlung dieser Thematik sehr erweitert.
- Mit Herrn A. Grünig, Moorkoordinationsstelle der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, und Herrn H. Gautschi, Flugdienst der Eidgenössischen Vermessungs-direktion sowie deren Kollegen und Mitarbeitern fand ein intensiver Informationsaustausch zum Thema Erfolgskontrolle in Mooren statt.

- Meine Kolleginnen und Kollegen der Planungsgruppe LandschaftsArchitektur + Ökologie, Prof. Schmelzer und Friedemann, Stuttgart, haben mir während der Abschlußphase der Arbeit den Rücken freigehalten. Die Kenntnisse, welche ich mir während meiner langjährigen Tätigkeit im Planungsbüro aneignen konnte, haben mir darüberhinaus vor allem, was eine pragmatische Methodenbewertung und die Ausgestaltung der Arbeit anbelangt, sehr geholfen.
- Im Laufe der Jahre waren mehrere Studenten mit großem Eifer und detektivischem Spürsinn damit befaßt, alle verfügbare Literatur zu den Themenbereichen meiner Arbeit zu beschaffen.

Ihnen allen sei, stellvertretend für die vielen ungenannten Helfer, herzlich gedankt.

Auch in Zeiten rechtlicher Gleichstellung von Mann und Frau ist in Westdeutschland die Verbindung von Kind und Beruf alles andere als einfach. Meinen festen Willen dazu in die Tat umzusetzen, bedurfte es der rückhaltlosen Unterstützung durch meine Familie, insbesondere durch meinen Mann, und nicht zuletzt durch Prof. Dr. Böcker, der mein Ansinnen mit größter Selbstverständlichkeit behandelte und mir alle Freiheiten bei der Erfüllung meiner Aufgaben einräumte. Dafür bedanke ich mich in besonderem Maße.

Meine Eltern haben meinen wissenschaftlichen Werdegang in vielfältiger Weise gefördert. Neben der Finanzierung der Ausbildung gehörten dazu schon seit der Schulzeit regelmäßige vielseitige und anregende Gespräche sowie die Korrektur und kritische Durchsicht des Manuskriptes durch meine Mutter. Dafür bedanke ich mich auf das herzlichste und denke dabei in großer Dankbarkeit an meinen Vater, der 1987 verstarb.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung.....	1
1.2 Gebietsbeschreibung	4
2 Charakteristische Bestandteile von Hoch- und Zwischenmooren	8
2.1 Allgemeine Situation.....	8
2.1.1 Einleitung	8
2.1.2 Vegetation	9
2.1.2.1 Die Bedeutung der Torfmoose	9
2.1.2.2 Gefäßpflanzen	14
2.1.3 Räumliches Verteilungsmuster der Vegetation und seine Veränderung in der Zeit	16
2.2 Entwicklung und Zusammensetzung der Vegetation im Wurzacher Ried.....	28
2.2.1 Einleitung	28
2.2.2 Nutzungsgeschichte.....	28
2.2.3 Hochmoorvegetation	29
2.2.4 Zwischenmoorvegetation	34
2.2.5 Zusammenfassende Charakterisierung des Wurzacher Riedes	36
2.3 Auswahl von Indikatoren	40
3 Methodentest	43
3.1 Einleitung	43
3.2 Traditionelle Methoden	45
3.2.1 Kleintransekt im Haidgauer Hochmoorschild.....	45
3.2.2 Großtransekte im Haidgauer Torfstichgebiet.....	48

3.3 Fernerkundung.....	55
3.3.1 Einleitung	55
3.3.2 Auswahl der getesteten Aufnahmeverfahren.....	56
3.3.2.1 Trägersysteme für das Aufnahmegerät	57
3.3.2.2 Aufnahmetechnik	58
3.3.2.3 Maßstab	59
3.3.2.4 Befliegungszeitpunkt.....	59
3.3.3 Visuelle Auswertung.....	60
3.3.3.1 Einleitung	60
3.3.3.2 Vorgehensweise.....	61
3.3.3.3 Ergebnisse	63
3.3.3.4 Methodenbewertung.....	69
3.3.4 Kartierung.....	71
3.3.4.1 Einleitung	71
3.3.4.2 Entzerrung und Georeferenzierung	72
3.3.4.3 Manuelle Verfahren.....	75
3.3.4.3.1 Kartierschlüssel	75
3.3.4.3.2 Flächenabgrenzung.....	82
3.3.4.3.3 Umsetzung und Methodenbewertung.....	84
3.3.4.4 Kartierung mit einem Bildbearbeitungsprogramm.....	88
3.3.4.5 Automatische Klassifikationsverfahren und deren Weiterverarbeitung.....	89
3.3.4.5.1 Einleitung und Vorgehensweise.....	89
3.3.4.5.2 Umsetzung und Bewertung der unüberwachten Klassifikation.....	91
3.3.4.5.3 Umsetzung und Bewertung der überwachten Klassifikation von Luftbildern	91
3.3.4.5.4 Umsetzung und Bewertung der überwachten Klassifikation von Flugzeugscannerdaten.....	96
4 Abschließende Diskussion	103
5 Ausblick	109
6 Literatur	111

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Das frühere Umweltministerium Baden-Württemberg erteilte 1992 dem Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie der Universität Hohenheim und noch drei weiteren Universitätsinstituten den Auftrag, ein Monitoring für das Wurzacher Ried einzurichten. Dabei wurde der Verfasserin die Aufgabe übertragen, die Arbeitsgruppen zu koordinieren und die Teile zu bearbeiten, welche sich mit Hoch- und Zwischenmoorvegetation befassen.

Aufgrund der Qualität und Größe des Gebietes sowie des restriktiven Betretungsverbot war vorhersehbar, daß die traditionellen Methoden der vegetationskundlichen Dauerbeobachtung für dieses Gebiet wenig geeignet sind. Daher beinhaltete das Projekt in erster Linie umfangreiche Methodentests, die vor allem die Möglichkeiten der Beobachtung aus der Luft, also der sogenannten Fernerkundung, prüfen sollten. Neben zwei zoologisch orientierten Instituten wurde mit dem heutigen Lehrstuhl für Vegetationsökologie der TU München/Weihenstephan ein weiteres Institut mit vegetationskundlichem Schwerpunkt beauftragt. Die Auswahl und Durchführung der zu testenden Fernerkundungsverfahren erfolgte in enger Zusammenarbeit. Der Lehrstuhl für Vegetationsökologie der TU München/Weihenstephan übernahm dann die Bearbeitung der Niedermoorgebiete, einschließlich der Wiesen (vgl. KUHN 1998).

Neben der Anforderung, die Betretungsintensität für Untersuchungen soweit wie möglich zu reduzieren, enthält der Anforderungskatalog auch die Aufgabenstellung, kostenminimierte Methoden zu entwickeln, deren Umsetzung auch landschaftsökologisch ausgerichteten, freien Büros möglich ist. Dieser anwendungsorientierte Ansatz deckt sich mit Wünschen aus der Planungspraxis. Die Umsetzung von Luftbildinterpretationen in Karten durch manuelles Übertragen von Auswertungsergebnissen auf Flurkarten und nachfolgendes Reinzeichnen sind derart zeit- und kostenintensiv, daß im digitalen Zeitalter die Notwendigkeit einer Methodenveränderung dringend angezeigt erscheint.

Unter "Monitoring" oder, in dieser Arbeit synonym gebraucht, "Dauerbeobachtung" versteht man Meß- und Beobachtungsvorhaben, die

- mit eindeutigen, reproduzierbaren Methoden,
- ohne absehbare Zeitbegrenzung,
- immer wieder

Daten ermitteln. Dies steht im Gegensatz zum angelsächsischen Sprachgebrauch, wo der Begriff "Monitoring" auch für zeitlich begrenzte Untersuchungsprogramme verwendet wird (PLACHTER 1991).

In Tab. 1 sind die verschiedenen Bereiche der Dauerbeobachtung und Beispiele wichtiger Fragestellungen aufgelistet.

Im Naturschutz hat es sich in den letzten Jahren eingebürgert, bei allgemeinen (wertfreien) Überwachungsprogrammen von **Monitoring** zu sprechen. Dem gegenübergestellt werden **Erfolgskontrollen** mit bereits vorgegebenem Untersuchungsrahmen. Sie sollen bewerten, ob die für ein Gebiet definierten Ziele oder Leitbilder mit den durchgeführten Maßnahmen erreicht werden. Im Falle ei-

ner negativen Einschätzung, d.h. eines „Mißerfolges“ kann es erforderlich sein, die Ursachen dafür und mögliche Gegenmaßnahmen zu benennen.

Tab. 1: Bereiche der biologischen Dauerbeobachtung und Beispiele wichtiger Fragestellungen (nach PLACHTER 1991)

Zielrichtung	Bereich	Beispiele wichtiger Fragestellungen
Ermittlung wissenschaftlicher Erkenntnisse		Ablauf ökosystemarer Sukzession, Dynamik (Auswirkung natürlicher Störungen), Wirkung von hohen Schad- und Nährstoffmengen (vgl. dazu auch SPELLERBERG 1991, LIKENS 1987, WOLFF-STRAUB et al. 1996)
Umwelt-Überwachungsprogramme	allgemeines Umweltmonitoring	Erkennen auffälliger Veränderungen in Ökosystemen, ohne die Ursache der Veränderungen sofort benennen zu können
	spezifische Überwachungsprogramme	gezielte Überwachung einzelner Schad- und Nährstoffe (vgl. ARNDT et al. 1987)
		Veränderungen durch Nutzungseinflüsse
		Artendynamik
		Erfolgskontrolle von Naturschutzmaßnahmen (vgl. HÄNGGI 1989, MICHELS et al. 1996)

Aussagekräftige, naturwissenschaftlich beleg- und reproduzierbare Daten lassen sich nur dann erhalten, wenn das Untersuchungsobjekt und der Zweck der Untersuchung möglichst genau definiert sind (vgl. KORTE 1987). Die Analytik, d.h. Methodik der Untersuchungen ist dann in Abhängigkeit davon (PLACHTER 1991, USHER 1991) individuell auszuwählen. Ihr muß besonderes Augenmerk geschenkt werden, denn der Schaden, der entsteht, wenn die gewählte Methode nicht oder nur wenig aussagekräftige Ergebnisse liefert, ist im Falle eines Monitorings, im Vergleich zu zeitlich eng befristeten Untersuchungen, irreparabel. Schließlich können die bis dahin durchgeführten Aufnahmen in der Regel im nachhinein nicht mit veränderten Verfahren wiederholt werden.

Berücksichtigt man die vergleichsweise langen Zeitabstände zwischen Wiederholungsuntersuchungen und den dadurch begründeten Bearbeiterwechsel (vgl. auch PFADENHAUER et al. 1986) so muß auf folgende Anforderungen besonderer Wert gelegt werden:

- Aussagegenauigkeit (zweifelsfreie Definition der Aufnahmeobjekte, Kalibrierung von Schätzverfahren)
- Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit der Aufnahme- und Auswertungsmethodik sowie der Flächenabgrenzungen
- Lagegenauigkeit
- langfristige Datenarchivierung und -verwertbarkeit

Daraus lassen sich Fragen ableiten, die es während der Erarbeitung einer Methodik zu beantworten gilt (nach USHER 1991):

1. **Datenaufnahme:** Welche Methoden sind geeignet, um das Ziel bzw. die Ziele zu erreichen? Was wird untersucht, welche räumliche (Flächengrößen, Dichte) und zeitliche Dimension (Dauer, Intensität der Einzeluntersuchung, Häufigkeit der Wiederholung) bringt man in Ansatz?
2. **Analyse:** Welches Datenmaterial erhält man in welchen Zeiträumen? Wie wird es ausgewertet?
3. **Interpretation:** Was sagen die Daten aus? Welche Ergebnisse bringen wesentliche Aussagen im Hinblick auf das Ziel des Monitorings?
4. **Zeitlicher Horizont:** Gibt es zeitliche Grenzen für das Monitoring? Wie lange sollten markierte Untersuchungsflächen wiederauffindbar sein?

Ziele, Methoden und Anwendungsbeispiele vegetationskundlicher Dauerbeobachtung wurden von PFADENHAUER et al. (1986), SUKOPP et al. (1986), MUHLE & POSCHLOD (1989), BÖCKER et al. (1991), KÖSTLER et al. (1991), HUTCHINGS (1991) umfassend zusammengestellt und diskutiert. Die Arbeiten dokumentieren den Stand der Technik, der sich seit LÜDI (1930) nicht grundsätzlich verändert hat: Die Vegetation wird auf markierten Dauerflächen aufgenommen. Die Größe und Anordnung der Dauerbeobachtungsflächen sowie die verwendete Aufnahmetechnik und Datenauswertung werden in der Fachwelt z.T. sehr kontrovers diskutiert (siehe Kap. 3.2), da sie das Ergebnis der Untersuchung stark beeinflussen. Die Auswahl sollte dem Anwendungsfall angepaßt werden. Sie hängt letztendlich aber auch in hohem Maße von den persönlichen Präferenzen des jeweiligen Bearbeiters ab.

In einem großen, in sich heterogenem und schützenswertem Gebiet wie dem Wurzacher Ried, einem einzigartigen, für mitteleuropäische Verhältnisse ausgedehnten Hochmoorkomplex (nähere Beschreibung vgl. Kap. 1.2) verursacht die Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen schon vom Grundsatz her einen schwer lösbaren Zielkonflikt. Die vom Bundesamt für Naturschutz geforderte Einrichtung einer Erfolgskontrolle der mit hohem finanziellem Mitteleinsatz eingeleiteten Wiedervernässung und Extensivierung wäre auf der einen Seite nur mit einer hohen Anzahl statistisch auswertbarer Dauerbeobachtungsflächen zu gewährleisten. Dem steht jedoch auf der anderen Seite die gebietsspezifische Zielsetzung nach einer sich selbst regulierenden, vom Menschen ungestörten Entwicklung entgegen, die insbesondere im Bereich der Dauerbeobachtungsflächen durch die erforderliche Betretung gestört werden würde (vgl. auch PFADENHAUER et al. 1986, Tab. 1, LINDSAY & ROSS 1994).

Daher entschloß man sich, neue Wege zu gehen, d.h. es sollte versucht werden, mit Hilfe der Fernerkundung eine flächendeckende, betretungs- und kostenminimierte vegetationskundliche Dauerbeobachtung zu installieren. Die Methoden sollten aber nicht zu kompliziert sein, um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten und sie sollten, wenn möglich, für andere ähnliche Gebiete oder sogar generell für naturschutzfachliche Dauerbeobachtungen verwendbar sein.

Mit dieser Arbeit soll am Beispiel der Hoch- und Zwischenmoore des Wurzacher Riedes aufgezeigt werden, wie und mit welchen Grenzen die Fernerkundung für eine vegetationskundliche Dauerbeobachtung im Vergleich zu traditionellen, geländegestützten Methoden derzeit eingesetzt werden kann. Das Verfahren muß darauf ausgerichtet sein, die Bestandteile in der Vegetation lagerichtig

und reproduzierbar zu beobachten, welche den Zustand und die Entwicklung des Gebietes in ausreichender Weise charakterisieren.

Diese Anforderung schlägt sich in der Gliederung dieser Arbeit nieder: Im Kap. 2 werden der Zustand und die Entwicklungsmöglichkeiten des Wurzacher Riedes unter der Berücksichtigung vorausgegangener anthropogener Störungen und im Vergleich zu anderen Mooren diskutiert. Daraus werden die in Hoch- und Zwischenmooren bzw. im Wurzacher Ried beobachtungsbedürftigen Vegetationsbestandteile (Indikatoren) abgeleitet. Wichtige Aussagen dieses Kapitels werden von Grundlagenuntersuchungen im Wurzacher Ried abgeleitet, die bisher nicht veröffentlicht worden sind. Um die von ihnen übernommenen Informationen kennzeichnen zu können, werden sie entgegen den Gepflogenheiten wissenschaftlicher Veröffentlichungen zitiert und im Literaturverzeichnis genannt.

In Kap. 3 wird der Einsatz von traditionellen Methoden und von Fernerkundungsverfahren, die, mit einer Ausnahme (Kap. 3.2.1), von der Verfasserin im Wurzacher Ried umgesetzt wurden, dargestellt und im Hinblick auf die Anforderungen bewertet.

Die abschließende Diskussion (Kap. 4) stellt die wesentlichen Vor- und Nachteile der Methoden einander gegenüber und leitet daraus Anwendungsmöglichkeiten im Hinblick auf die Anforderungen im Wurzacher Ried bzw. auf vegetationskundliche Dauerbeobachtungen im allgemeinen ab.

1.2 Gebietsbeschreibung

Das **Wurzacher Ried**, ca. 50 km nordöstlich des Bodensees gelegen (Abb. 1), gilt mit seiner Ausdehnung von 1715 ha als der größte zusammenhängende Hochmoorkomplex Mitteleuropas (KAULE 1974).

Nur ein Drittel der Fläche ist allerdings wenig gestört (Abb. 2, S. 7): Wie überall in Mitteleuropa wurde auch im Wurzacher Ried großflächig Torf gewonnen. 5 der ehemals 7 großen Hochmoorschilde des Wurzacher Riedes wurden im Verlauf der letzten hundertfünfzig Jahre entwässert und weitgehend abgetorft, vier davon im bäuerlichen Handtorfstichverfahren, ein Drittel des größten Hochmoorschildes von 1920 bis 1996 mit industriellen Verfahren (Haidgauer Torfstichgebiet). Dadurch wurde vor allem die Hochmoorvegetation großflächig und dauerhaft zerstört. Nur noch auf kleinen Teilflächen der betroffenen Schilde findet man Hochmoortorfmoose. In der Regel dominieren dort heute torfmoosarme Heiden oder Niedermoorstadien unterschiedlicher Trophie.

Die Einzigartigkeit des Feuchtgebietes resultiert neben seiner Flächenausdehnung auch aus der von Natur aus großen Spannweite der Standortbedingungen, die von kalkoligotroph (Kalkquellen mit Kalkausfällungen) bis ombrotroph reichen.

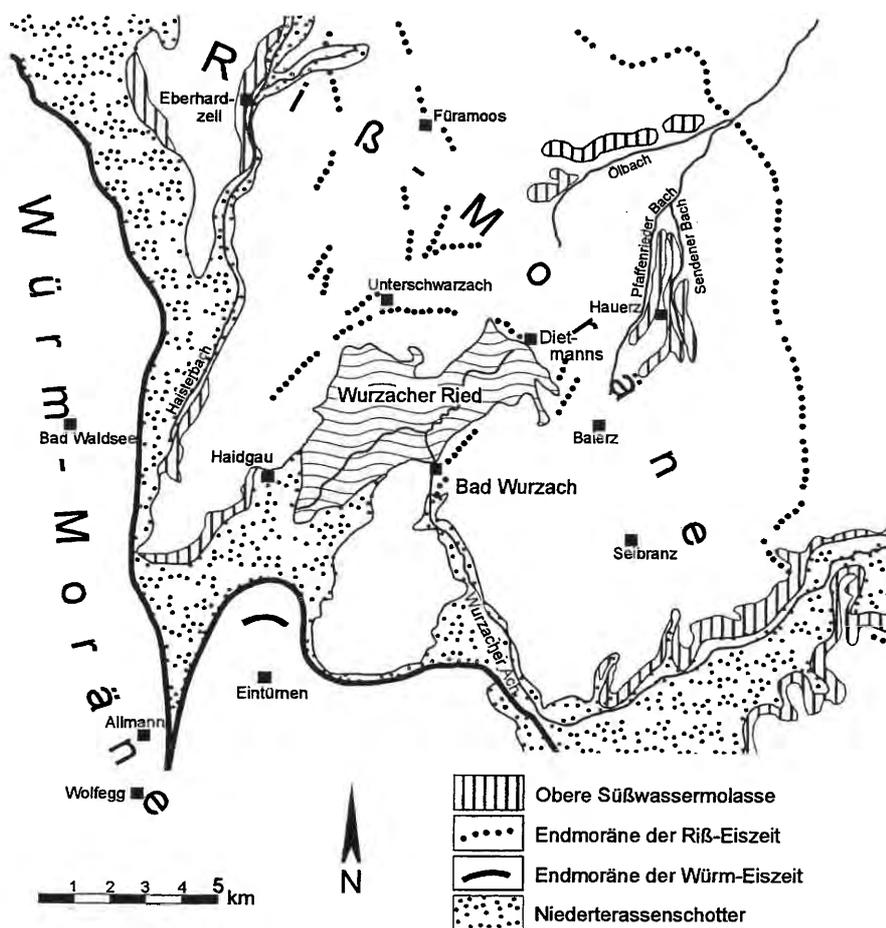


Abb. 1:
Lage und geologisches
Umfeld des Wurzacher
Riedes (ULRICH 1996)

Die Vegetation im Wurzacher Ried setzte sich 1990 folgendermaßen zusammen (Flächenermittlung auf der Grundlage der Vegetationskarte von PFADENHAUER et al. 1990, siehe dazu auch Abb. 2):

- ca. 450 ha nahezu ungestörte Hochmoorgesellschaften¹: Latschen- und Spirkenhochmoor, bunte Torfmoosrasen und Schlenkengesellschaften, verteilt auf 2 Schilde (Haidgauer Ried, Großes Alberser Ried),
- ca. 70 ha Zwischen- und Übergangsmoore: Torfmoos- und Braunmoosseggenriede (Alberser und Williser Zwischenmoor),
- entlang von Quellen und Bachläufen einerseits kalkoligotrophe Niedermoores: Kopf- und Schneidbinsenriede, andererseits meso- bis eutrophe Röhrichte und Seggenriede,
- in bäuerlichen Handtorfstichen und im industriellen Torfabbauggebiet verschiedene Heide-, Gehölz- und Brachestadien unterschiedlicher Trophie
- in den Randbereichen Wiesen, Wiesenbrachen, Hochstaudenfluren, Gehölze und Fichtenforste

Das Wurzacher Ried wurde 1989 wegen seiner internationalen Bedeutung vom Europarat mit dem „Europadiplom“ der Kategorie A ausgezeichnet.

¹ Dies entspricht annähernd dem gesamten Bestand der Schweiz an naturnahen Hochmooren (506 ha)

Um das Ried so weit wie möglich zu schützen und es, wenn möglich, wieder in seiner Gesamtheit in einen naturnahen Zustand zurückzuführen, wurde es 1987 zusammen mit 26 weiteren bundesdeutschen Gebieten in das Programm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit "Errichtung und Sicherung schutzwürdiger Teile von Natur und Landschaft mit gesamtstaatlich repräsentativer Bedeutung" aufgenommen (SCHERFOSE et al. 1994). Mit einem Mittelvolumen von insgesamt ca. 25 Mio. DM über einen Zeitraum von 10 Jahren wurden vorrangig der Ankauf von Flächen und biotopenkende Maßnahmen, vorwiegend zur Wiedervernässung, gefördert. Dies hatte zum Ziel, in den zentralen Teilen, nach weitgehender Wiederherstellung der ursprünglichen Standortbedingungen, eine selbstregulative Entwicklung zu unterstützen bzw. zu initiieren und die bisherige intensive Nutzung in der Umgebung zu extensivieren. Der Bewilligungsbescheid für die Förderung als Naturschutzgroßprojekt des Bundes (1987) postuliert für die Hoch- und Zwischenmoore folgende Zielsetzungen:

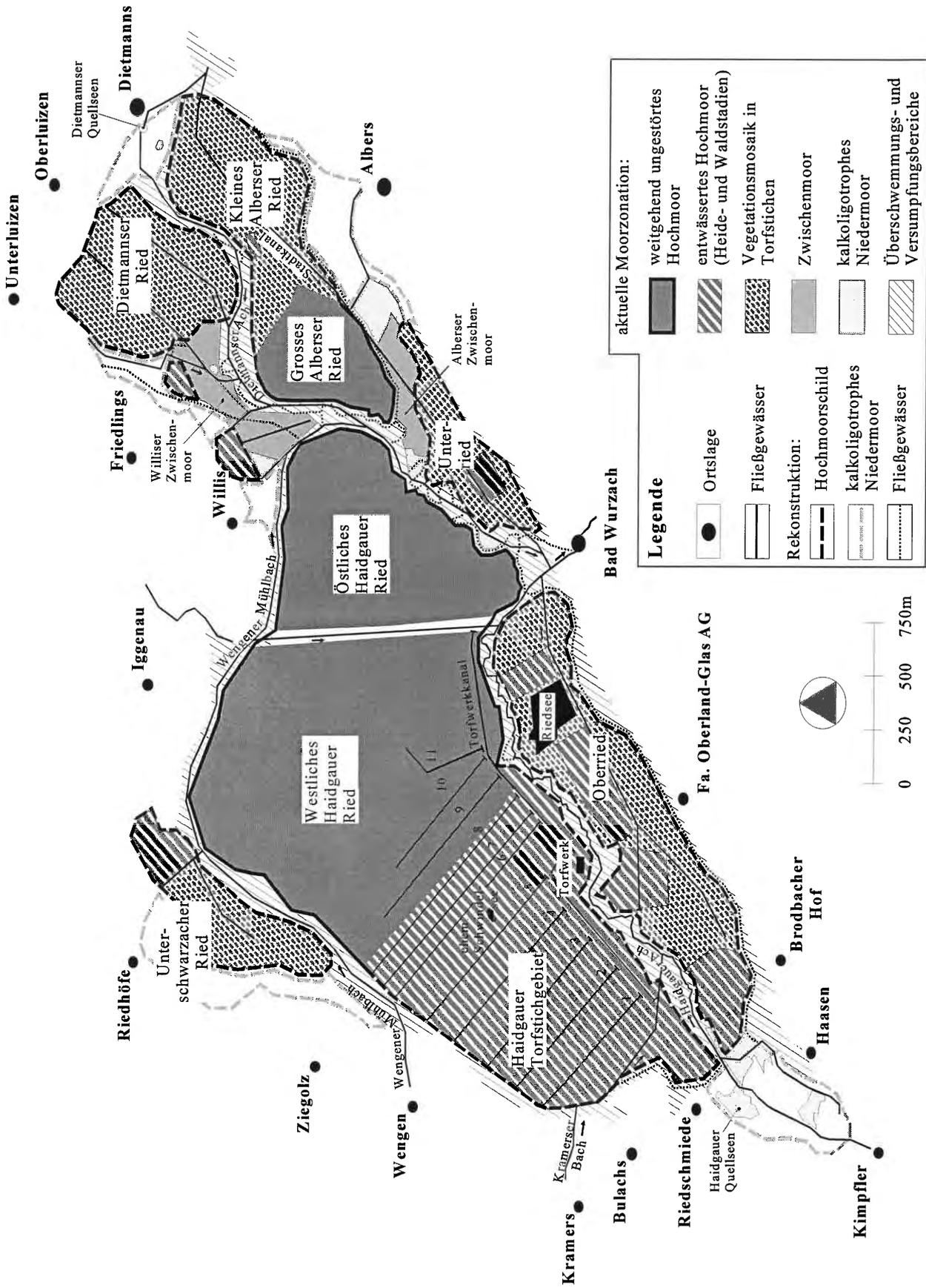
- „Erhaltung des Hochmoores in verschiedenen Ausprägungsformen mit den natürlichen Pflanzengesellschaften sowie Regeneration des Hochmoores in den abgetorften Bereichen;
- Erhaltung des durch die besonderen Standortverhältnisse entstandenen Vegetationsmosaik unterschiedlicher Nässestufen der Zwischenmoore...“

Wasserbauliche Maßnahmen fanden in großem Umfang im Haidgauer Torfstichgebiet und an der Haidgauer Ach sowie entlang des Stadtkanals statt. Weitere Maßnahmen wurden 1997 entlang des Wengener Mühlbaches und im Williser Zwischenmoor durchgeführt.

Nach Beendigung der Wiedervernässungsmaßnahmen gilt ein striktes Betretungsverbot. Vorbedingung für die Förderung durch die Bundesregierung war die Zusage des Landes Baden-Württemberg, eine Erfolgskontrolle durchzuführen, welche, wie anfangs erwähnt, in den Jahren 1992 bis 1996 durch vier Universitätsinstitute unter Federführung des Institutes für Landschafts- und Pflanzenökologie der Universität Hohenheim eingerichtet wurde. Sie soll in den Hoch- und Zwischenmooren dazu dienen, die Renaturierungs- bzw. Regenerationsprozesse bzw. die Vitalität intakter Bereiche auch im Hinblick auf die Einflüsse aus dem Wassereinzugsgebiet zu beobachten und in Abhängigkeit von der Zielprognose zu bewerten. In weitgehend intakten Gebieten ist die natürliche Sukzession ohne detailliertes Leitbild (außer der Maßgabe, daß es Hoch- bzw. Zwischenmoor bleibt) und ohne direkten Maßnahmenbezug Objekt der Dauerbeobachtung, sie ist daher als „Monitoring“ aufzufassen. Für gestörte Bereiche wurden demgegenüber maßnahmenabhängig, konkrete Zielprognosen, beispielsweise die durch Wiedervernässung ausgelöste Ausbreitung von Hochmoortorfmoosen, formuliert, weshalb es sich dann entsprechend der eingangs (S. 1) genannten Definition um eine Erfolgskontrolle handelt.

Diese Arbeit befaßt sich mit dem Monitoring für die naturnahen Hoch- und Zwischenmoore, deren gestörte Stadien und ihre Regenerationsstadien in ombro- und oligotroph-sauren Torfstichen.

Abb. 2 (nachfolgende Seite): Übersichtskarte Wurzacher Ried



2 Charakteristische Bestandteile von Hoch- und Zwischenmooren

2.1 Allgemeine Situation

2.1.1 Einleitung

Moore sind dadurch gekennzeichnet, daß sie einen über 30 cm, häufig aber auch mehrere Meter mächtigen Torfhorizont mit (deutlich) mehr als 30 % Anteil an organischer Substanz aufweisen. Sie entstehen dann, wenn durch hohe Wasserstände Luftmangel im Boden herrscht und daher die Überreste der vorhandenen Vegetation nicht völlig abgebaut, sondern zu Torf umgewandelt und als solcher akkumuliert werden (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1989).

Anhand der Herkunft des Wassers lassen sich die Moore prinzipiell in drei Gruppen gliedern²:

1. Nieder- oder Flachmoor: ausschließlich von mineralisch beeinflusstem Grund- und Oberflächenwasser gespeist: vgl. KUHN (1998)
2. Hochmoor: Seine Merkmale wurden bereits von DAU (1823) erkannt: „Vom Regen nur und Thau des Himmels ist es ausgewachsen. Die Erde nährt es nicht [...] Diese schon reife Torfmasse sowohl, als besonders das obere lockere Pflanzengewebe halten, vermöge der Adhäsionskraft ihrer porösen Masse, das vom Himmel herabfallende Regen- und Schneewasser fest, welches ihnen zur alleinigen Nahrung dient.“ Die Fähigkeit, sich ausschließlich über Regenwasser zu versorgen, verdanken die Hochmoore der Nordhalbkugel spezifischen Torfmoosarten (*Sphagnum spec.*³). Sie beeinflussen artspezifisch die Standortbedingungen und nehmen damit direkten Einfluß auf die Lebensbedingungen anderer Pflanzenarten. In Hochmooren der südlichen Hemisphäre findet man analoge Mechanismen beispielsweise bei *Epodisma minus* (AGNEW et al. 1993).
3. Zwischenmoor: Es stellt räumlich und / oder zeitlich eine Mittelstellung zwischen den beiden erstgenannten Typen (näheres dazu vgl. S. 13) dar. Der häufig (so auch von GROSSE-BRAUCKMANN 1962) synonym gebrauchte Begriff „Übergangsmoor“ soll im Rahmen dieser Arbeit dem letzteren Typus, also dem genetischen Übergangsstadium einer initialen Hochmoorentwicklung, vorbehalten sein.

² Je nach Gliederungsprinzip oder Region sind unterschiedliche Namen für die verschiedenen Moortypen in Verwendung (FRÜH & SCHRÖTER 1904, GROSSE-BRAUCKMANN 1962). In dieser Arbeit wird das von Moorkundlern seit 200 bzw. 100 Jahren verwendete, ursprünglich morphologische Begriffspaar Hoch- und Niedermoor im Sinne GROSSE-BRAUCKMANN (1962: 21) verwendet, das auch außerhalb von Fachkreisen als die geläufigste Moorgliederung bekannt ist.

³ Die Charakteristika der einzelnen Arten sind Thema des Kap. 2.1.2.1.

2.1.2 Vegetation

2.1.2.1 Die Bedeutung der Torfmoose

Die Wasserbilanz eines Moores läßt sich nach INGRAM (1981) mit folgender Formel beschreiben:

$$N + Z - A - E - \Delta W - \eta = 0$$

N: Niederschlag, Z: Zufluß, A: Abfluß, E: Evapotranspiration, ΔW : Veränderung der gespeicherten Menge, η : Fehler

Die Ansiedlung von Torfmoosen hängt in erster Linie von einer guten Wasserversorgung, d.h. positiven Wasserbilanz (Überschuß von Niederschlag und Wasserzufluß gegenüber Abfluß und Verdunstung) weitgehend während des ganzen Jahres ab. Im Hochmoor sind sie darauf angewiesen, daß bei geringen Abflüssen die Evaporation nur selten den Niederschlag überschreitet (CLYMO & HAYWARD 1982). Torfmoose entscheiden über die abiotischen Verhältnisse, da sie in umfangreichem Maße auf die Standortbedingungen einwirken:

- Sie besitzen eine erstaunliche Fähigkeit zur Wasserrückhaltung, was zu einer Wassersättigung, also sehr nassen Verhältnissen bis fast an die Köpfchenoberfläche führt. Aufgrund der anaeroben Bedingungen im Untergrund erfolgt nur eine Humifizierung der abgestorbenen Pflanzenteile und daher eine Akkumulation von organischer Substanz in Form von Torf. Dies bewirkt mit zunehmendem Emporwachsen des Moores die Loslösung der Oberfläche von den Einflüssen des Landschaftswasserhaushaltes.
- Sie versauern das Wasser ihrer Umgebung durch den Austausch von Ionen wie Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} gegen H^+ . Die ausschließliche Abhängigkeit von Regenwasser bewirkt eine geringe Nährstoffnachlieferung, insbesondere auch von Stickstoffverbindungen und Phosphat. Dadurch entstehen extrem nährstoffarme und saure Standorte.
- Eine schlechtere Wärmenachlieferung des Torfes im Vergleich zu Mineralböden kann sogar im Sommer zu Frost in der Nacht führen (VAN EIMERN & HÄCKEL 1979), während eine starke Erwärmung am Tag aufgrund der über abgetrockneten Moosköpfchen verringerten Verdunstung („Mulchphase“, vgl. S. 10) möglich ist.

Das jeweilige Niveau der Standortbedingungen ist eine artspezifische Größe, was nachfolgend detaillierter dargestellt werden soll.

2.1.2.1.1 Wasserhaushalt

Die Höhe des niedrigsten, sich in Torfmoosdecken einstellenden Wasserspiegels markiert die Grenze zwischen dem zeitweise aeroben, lebendem Akrotelm und dem wassergesättigten, abgestorbenen Katotelm (INGRAM 1992). Grundsätzlich bestehen Unterschiede in der Saugfähigkeit bzw. im Wassergehalt (PAUL 1908 und OVERBECK & HAPPACH 1957, NÖRR 1974 und VITT et al. 1975, CLYMO & HAYWARD 1982), die anatomisch-morphologisch durch einen differierenden

Bau oder eine unterschiedliche Anordnung der für Torfmoose typischen wasserspeichernden Hyalinzellen bedingt ist. So enthielt beispielsweise *S. magellanicum* das 24,5-fache, *S. capillifolium* und *S. recurvum* dagegen nur das 18,7-fache bzw. 17,5-fache der Trockensubstanz an Wasser. Wesentlich bedeutsamer ist aber die Dichte der Rasen, die ebenfalls von Art zu Art differiert. Bezieht man nämlich die Wassermenge auf das Volumen im natürlich gewachsenen Torfmoosrasen, so beinhalten die dichten Rasen von *S. capillifolium* in 100 cm³ 46g Wasser, während das locker wachsende *S. recurvum* nur 10 g enthält. Je dichter die Torfmoosrasen sind, desto höher ist das Wasserhaltevermögen, da mit der Verringerung der Porengröße der Kapillardruck steigt (OVERBECK & HAP-PACH. 1957, ANDRUS 1986, vgl. auch GREEN 1968 für *S. imbricatum*).

Torfmoose können wie alle Moose ihren Wasserverlust an die Atmosphäre nicht aktiv regulieren, er unterliegt ausschließlich den physikalischen Gesetzen der Verdunstung. Während sommerlicher Trockenperioden wird dies besonders deutlich, denn die sonst kräftig gefärbten Torfmoosköpfchen werden im abgetrockneten Zustand weißlich-gelb, das Wachstum ist verringert. Die Wasserverluste der Torfmoosrasen werden dann aber automatisch geringer, da sie die durchfeuchteten darunterliegende Schicht von den atmosphärischen Einflüssen isolieren („Mulcheffekt“ nach SCHOU-VENAARS 1992). Die Verdunstung von optimal mit Wasser versorgten Torfmoosen kann aufgrund der im Verhältnis zu Wasser erhöhten Oberfläche zwar mehr als das Doppelte der Verdunstung einer offenen Wasserfläche ausmachen (OVERBECK 1975), deren Größenordnung ist aber ebenfalls abhängig von der Dichte der Rasen: Lockerste Rasen (*S. recurvum*) verdunsten deutlich mehr als dichtere (*S. magellanicum*, *S. fuscum*) (OVERBECK & HAP-PACH 1957 in OVERBECK 1975). OVERBECK (1975) hat aus Versuchen folgende nach abnehmender Verdunstungsrate bei gleichen Außenbedingungen geordnete Reihe aufgestellt: *Sphagnum cuspidatum*, *S. recurvum*, *S. papillosum*, *S. magellanicum*, *S. capillifolium*, *S. fuscum*, *Polytrichum strictum* (Zuordnung letztgenannter Art nach LORIS & GREMER 1991). Während niederschlagsarmer, heißer Sommertage kommt daher das Wachstum lockerer Rasen wegen der hohen Wasserverluste an die Atmosphäre im Vergleich zu dichten Rasen frühzeitig zum Stillstand.

Im Zwischenmoor werden die Wasserverluste an die Atmosphäre während Trockenperioden durch den Zufluß aus dem mineralischen Grundwasser abgepuffert, so daß hohe Wasserstände vergleichsweise kontinuierlich aufrechterhalten werden können. Damit läßt sich begründen, warum sich in kontinentalen Klimaten Torfmoosarten, die in ozeanischem Klima wesentlich an der Hochmoorentwicklung beteiligt sind, im Zwischenmoor ansiedeln (Prinzip der relativen Standortkonstanz nach WALTER 1986).

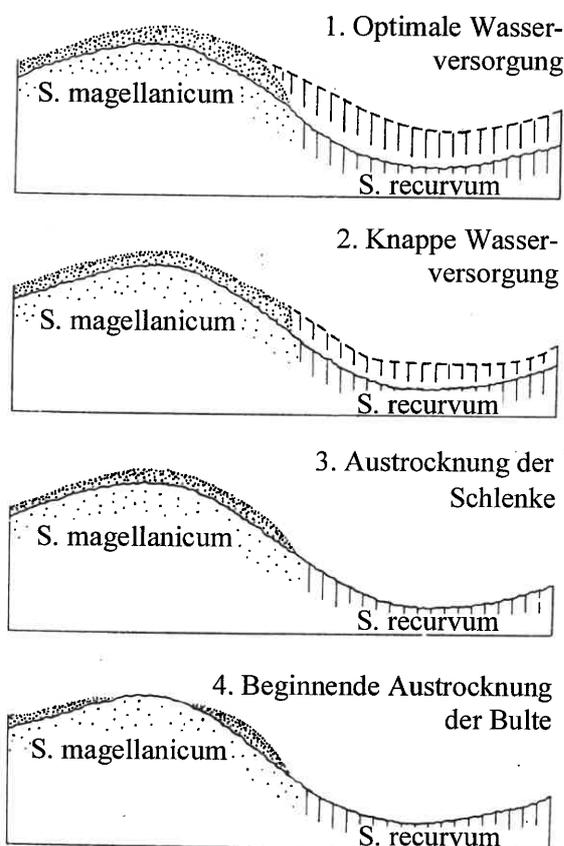
Es läßt sich also festhalten, daß das Emporwachsen aus dem Einflußbereich des mineralisch geprägten Grundwassers, abgesehen von der wasserspeichernden Funktion der für Torfmoose charakteristischen Hyalinzellen, nur dichten Torfmoosrasen durch den kapillaren Aufstieg von Wasser und durch eine reduzierte Verdunstung ermöglicht wird. Die ausschlaggebende Bedeutung des Akrotelms, also der lebenden Torfmoosdecke für die Hydrologie der Hochmoore bestätigte SCHOU-VENAARS (1988, 1992) mit Hilfe von Computersimulationen. Demnach ist die Aufrechterhaltung oberflächennaher Wasserstände in gestörten Hochmooren ohne lebende Torfmoosdecke nahezu unmöglich. Zur Renaturierung, d.h. Wiederansiedlung von Sphagnen auf derartigen Standorten

schlägt er die Schaffung überfluteter Flächen vor, in denen sich flutende Sphagnenrasen als Initiatoren einer lebenden Torfmoosdecke etablieren können.

Die aus dem Höhenwachstum resultierenden Oberflächenstrukturen werden als Bulte⁴, die schwachen Geländemulden mit locker wachsenden Torfmoosen als Schlenken⁵ bezeichnet. Danach werden auch die sie charakterisierenden Torfmoose in Bult- und Schlenkentorfmoose gegliedert.

Vergleicht man die Höhe des Wasserspiegels in den Bulten mit dem der benachbarten Schlenken, so lassen sich folgende Beziehungen feststellen:

Er liegt absolut betrachtet höher, relativ bezogen auf die jeweilige Moosoberfläche niedriger als in den Schlenken (Abb. 4). Bulttorfmoosrasen stellen daher für Gefäßpflanzen im Vergleich zu den Schlenkentorfmoosrasen trockenere Standorte dar. Sie sind um so trockener, je größer der Höhenunterschied im Vergleich zu den angrenzenden Schlenken ist. (OVERBECK 1975, auch WAGNER & TITUS 1984 zitiert in ANDRUS 1986).



Beobachtet man den Einfluß der Wasserversorgung auf das Wachstum, so ist festzustellen, daß Schlenkentorfmoose bei optimalen Bedingungen wuchskräftiger sind als Bulttorfmoose und diese sogar in den Rasen verdrängen. Ihre Polster können sich dann sehr schnell horizontal ausbreiten, bei *Sphagnum recurvum* wurden beispielsweise bis 33 cm/Jahr festgestellt (OVERBECK & HAPPACH 1957). In Trockenphasen kommt dagegen die bessere Wasser-rückhaltung der Bulttorfmoose zum Tragen. Sie trocknen erheblich später aus als Schlenkentorfmoose, können daher länger wachsen und dadurch ihrerseits die Schlenkentorfmoose verdrängen. (Abb. 3).

Abb. 3: Schematische Darstellung des Wachstumsverhaltens von Bult- (*Sphagnum magellanicum*) und Schlenkentorfmoosen (*S. recurvum*) bei sich verschlechternder Wasserversorgung (OVERBECK & HAPPACH 1957)

⁴ Nach FRÜH & SCHRÖTER (1904) stammt der Name aus dem Plattdeutschen („zusammenhängende Menge von Pflanzen“) bzw. dem Holländischen („Beule“).

⁵ Gemäß FRÜH & SCHRÖTER (1904) hat Weber in seinen zahlreichen Moorbeschreibungen erstmals diesen Begriff verwandt.

2.1.2.1.2 Nährstoffhaushalt

Die ausschließliche Wasserversorgung der Hochmoore durch den Niederschlag prägt auch die Nährstoffversorgung. Es kommen zwar Nährstoffeinträge über Staubabträge (OVERBECK 1975) von landwirtschaftlichen Flächen oder von spärlich bewachsenen Steilhängen im Gebirge hinzu. Dennoch sind diese im allgemeinen gering. Im Hochmoor herrschen sehr nährstoffarme Verhältnisse. Parallel zur Nährstoffarmut sind sehr saure Verhältnisse bis zu einem pH von 2,0 feststellbar (SUCCOW 1988).

Neben der Sulfatproduktion und der Entstehung schwacher organischer Säuren im anaeroben Katoctelm konnte als Hauptursache für die niedrigen pH-Werte die außergewöhnlich ausgeprägte Fähigkeit der Sphagnen zum Kationenaustausch identifiziert werden (erste Vermutungen durch BAUMANN & GULLY 1909 - 1913, von ANSCHÜTZ & GESSNER 1954 für Torfmoose, von PUUSTJÄRVI 1955 für Sphagnum dominierte Torfe nachgewiesen, Untersuchungen zum Mechanismus durch CLYMO 1963, BREHM 1970, BREHM 1971). Untersuchungen v.a. aus Fennoskandinavien, Großbritannien und Nordamerika zum Nährstoffhaushalt (zitiert in ANDRUS 1986) zeigten, daß sich die verschiedenen *Sphagnum*-Arten jeweils scheinbar an wasserchemisch unterschiedlichen Standorten einnischen. ANDRUS (1986) argumentiert jedoch aufgrund eigener Untersuchungen und Literaturvergleiche, daß die Torfmoosarten selbst die in ihrer Amplitude unterschiedlich hohen pH-Werte und Nährstoffgehalte einstellen: Die Cellulosematrix ihrer Zellen ist ausgestattet mit organischen Säuren, die artspezifisch zwischen 10 % und 30 % des Trockengewichtes ausmachen und an deren Säuregruppen die H⁺-Ionen durch verschiedene Kationen ausgetauscht werden. Die in Lösung gehenden Wasserstoffionen sind die Ursache für die Versauerung, gleichzeitig wird der Nährstoffmangel im Umgebungswasser weiter erhöht. Bulttorfmoose weisen eine höhere Austauschkapazität auf als Schlenkentorfmoose und bewirken dadurch, daß in Bulten niedrigere pH-Werte und geringere Nährstoffgehalte zu finden sind als in Schlenken (Abb. 4, vgl. auch MOORE & BELLAMY 1974).

Bestätigt wird dies auch durch die Fähigkeit der Sphagnen, innerhalb eines gewissen Schwankungsbereiches Veränderungen der pH-Werte und Nährstoffgehalte des Umgebungswassers, wie sie beispielsweise bei Austrocknung (Nährstoffkonzentration) oder Niederschlag (Verdünnung der Nährstoffkonzentration in Verbindung mit steigendem pH-Wert) auftreten, abzapuffern und auf den ihnen am besten zuträglichen Wert, der aber artspezifisch unterschiedlich ist, einzustellen. Nach Trockenperioden, wenn eine neue Wachstumsphase beginnt, werden Kationen von älteren absterbenden Pflanzenteilen freigesetzt, durch den kapillaren Aufstieg nach oben transportiert und dort an neuentstandenen Austauschstellen absorbiert (vgl. auch RYDIN & CLYMO 1989). Davon abgesehen sind auch jahreszeitliche Schwankungen des pH-Wertes in Abhängigkeit vom Wasserstand erkennbar (Abb. 4).

Ebenfalls artspezifisch ist, wann der Austauschmechanismus überlastet wird und etwa durch hohe Ca²⁺-Konzentrationen in Kombination mit hohen pH-Werten zu Streß, verbunden mit Wachstumshemmung bis hin zum Absterben führt. Hier sind Bulttorfmoose empfindlicher als Schlenkentorfmoose (CLYMO & HAYWARD 1982).

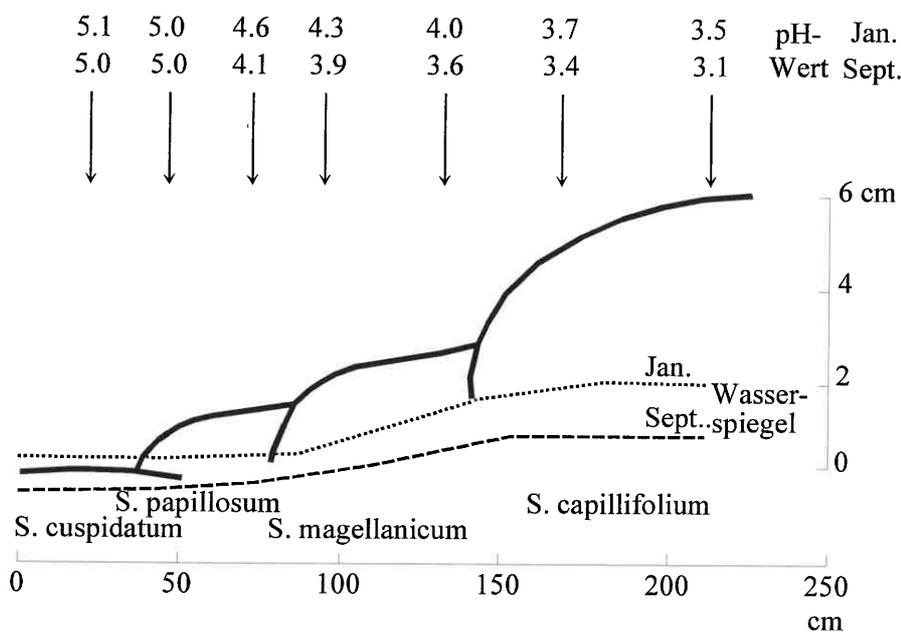


Abb. 4: pH-Werte und Wasserstände in Schlenken und auf Bulten und ihre jahreszeitlichen Schwankungen (MOORE & BELLAMY 1974)

Die Entwicklung eines Hochmoores bei vergleichsweise hohen Kalkgehalten, wie sie im Alpenvorland vorherrschen, läßt sich erst dadurch erklären, daß verschiedene Torfmoosarten, insbesondere Schlen-

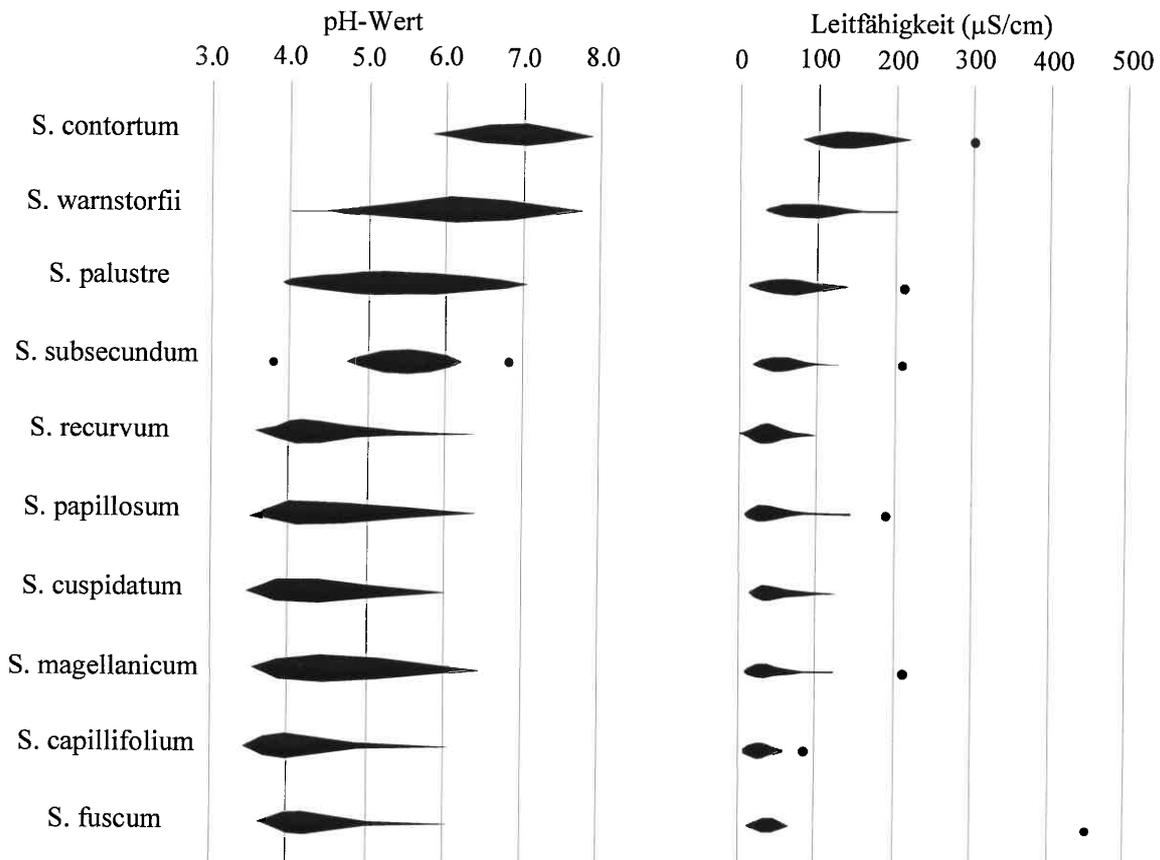
kentorfmoose in gewissem Rahmen auch höhere pH-Werte und Nährstoffgehalte tolerieren. Sie können sich daher auch an mineralisch beeinflussten Standorten ansiedeln und stellen dort den pH-Wert und die Nährstoffgehalte auf ein artspezifisch niedrigeres Niveau ein. Ein Übergangsmoor ist dann entstanden. Unter diesen Bedingungen können dann auch andere, weniger tolerante Torfmoosarten, zum Schluß auch kalkfliehende Bulttorfmoose, wie beispielsweise *S. magellanicum* oder *S. fuscum*, einwandern, die sich nach und nach vom Grundwasserspiegel abkoppeln, den pH-Wert ihrer Umgebung durch Abgabe von H^+ -Ionen weiter verringern und damit die Initialstandorte eines Hochmoores entstehen lassen.

Zwischenmoore nehmen auch bezüglich des Nährstoffhaushaltes eine Mittelstellung zwischen Hoch- und Niedermoor ein. Die im Vergleich zum Hochmoor höheren Basen- bzw. Nährstoffgehalte sowie pH-Werte sind verursacht durch den Zustrom mineralischen Grund- oder Oberflächenwassers. Ihre im Verhältnis zum eutrophen Niedermoor (Reichmoor) niedrigere Trophiestufe kann primär durch geringere Nährstoffgehalte des Grundwassers bzw. den Zufluß von Hochmoorwasser verursacht sein. Sekundär führt aber auch die Ansiedlung von Torfmoosen zu einer Reduktion der Nährstoffgehalte und des pH-Wertes. BELLAMY & RIELEY (1967) demonstrierten diesen Prozeß in einem Reichmoor. Das Aufwachsen von *Sphagnum fuscum* und die Akkumulation einer Schicht aus *Sphagnum fuscum*-Torf wandelten die eutrophen, von mineralischen Wasser beeinflussten Bedingungen auf nur einem Quadratmeter vollständig in die eines ombrotrophen Hochmoores um. Ihre Berechnungen erbrachten, daß diese Entwicklung weniger als sieben Jahre gedauert hat.

Auch die Art und Höhe der Torfzersetzungsprozesse sind offensichtlich artspezifische Größen, die direkt von der chemischen Zusammensetzung der Torfmoospflanze, indirekt aber auch durch den sich einstellenden Wasserstand und den pH-Wert beeinflusst wird (JOHNSON et al. 1990, JOHNSON & DAMMAN 1991). Die Bulttorfmoose, insbesondere *S. fuscum*, welche die höchsten Bulte bildet, weisen dabei geringere Abbauraten auf als Schlenkentorfmoose.

In Tab. 2 sind die Torfmoose abschließend nach den sich einstellenden bzw. von ihnen tolerierten Standortbedingungen gegliedert.

Tab. 2: Gliederung der Torfmoose nach den sich einstellenden bzw. von ihnen tolerierten Standortbedingungen (links pH-Wert, rechts Leitfähigkeit in $\mu\text{S}/\text{cm}$, nach ANDRUS 1986).



2.1.2.2 Gefäßpflanzen

Im Hochmoor können nur solche Pflanzenarten existieren, die spezifische Anpassungen an die extremen, durch Torfmoose verursachten Standortbedingungen aufweisen.

2.1.2.2.1 Sauerstoffmangel

Reduzierende Bedingungen im Wurzelbereich, ausgelöst durch die geringe Belüftung der Wurzeln, führen bei vielen Arten zu Wachstumsdepressionen bis hin zum Absterben. Ob dies durch die Einwirkung toxischer Substanzen, die unter den reduzierenden Bedingungen entstehen, oder durch fehlerhaften Ablauf der Glykolyse ausgelöst wird, ist nicht abschließend geklärt. Versuche haben

jedoch ergeben, daß sich die Arten, die auf wassergesättigten Standorten gedeihen können, oxidierende Bedingungen in Wurzelumgebung mit Hilfe von Interzellularen, d.h. luftgefüllten Zellsystemen, schaffen können. Bei *Menyanthes trifoliata* und *Eriophorum angustifolium* wurden beispielsweise von ARMSTRONG in MOORE & BELLAMY (1974) in Wurzelumgebung ein um eine Zehnerpotenz höheres Sauerstoffpotential festgestellt als bei *Molinia caerulea*. Durchlüftungsgewebe sind darüberhinaus typisch für viele *Carex*-Arten, *Eriophorum vaginatum* und *Phragmites australis* (METSAVAINO 1931), wie auch Untersuchungen von DEUSCHLE (1992) im Wurzacher Ried zeigten.

Nur wenige unserer heimischen Gehölzarten besitzen Anpassungen an dauernd wassergesättigte Böden. Ausnahmen sind *Alnus glutinosa* und einige *Salix* - Arten. Auch Zwergsträucher wie *Calluna vulgaris* sind daher auf die Standorte im Moor angewiesen, in denen wenigstens die oberen Zentimeter nicht wassergesättigt sind. (CLYMO & HAYWARD 1982)

2.1.2.2 Nährstoffarmut

Anpassungen an Nährstoffarmut sind v.a. die Nährstoffakkumulation und -rückhaltung sowie die Stickstoff-Fixierung. Eine perfekte Form der Nährstoffakkumulation besitzen die Sphagnen mit ihrem Kationenaustausch, die dadurch die Nährstoffversorgung für andere Pflanzen weiter verschlechtern.

Einige höhere Pflanzen im Hochmoor wie *Eriophorum vaginatum* betreiben einen Kreislaufmechanismus, um den Nährstoffverlust so gering wie möglich zu halten. Sie verlagern im Herbst vornehmlich Phosphor und Kalium aus absterbenden Pflanzenteilen in die überdauernden Rhizome und akkumulieren dort diese Elemente in Konzentrationen, die um das fünfzigfache über denen der Umgebung liegen (MOORE & BELLAMY 1974). Die tatsächliche Situation der Nährstoffversorgung von Pflanzen wird dadurch verschleiert, denn bei geringen Konzentrationen in Torf und Porenwasser kann die Pflanze trotzdem ausreichend mit Nährstoffen versorgt sein.

Bei Ericaceen, zu denen *Calluna vulgaris* und *Vaccinium spec.* gehören, wurde festgestellt, daß die schlechte Stickstoffversorgung im Hochmoor durch Mykorrhiza verbessert wird. Der Stickstoff stammt dabei, wie BURGEFF (1961) nachweisen konnte, nicht aus der Luft, sondern von Aminosäuren (STRIBLEY & READ 1980 zitiert in BAJWA & READ 1985).

Die populärste Anpassung an die nährstoffarmen Bedingungen ist die Carnivorie von *Drosera spec.* sowie *Utricularia spec.* und anderen, jedoch nicht heimischen Hochmoorarten.

Im Zwischenmoor treten einige Arten auf, welche die nährstoffarmen Verhältnisse an der Oberfläche, wie sie durch die zunehmende Ansiedlung von Torfmoosen auftreten, durch Wurzeln in tieferliegenden, nährstoffreicheren Schichten umgehen. Voraussetzung ist, daß sie an die sauerstoffarmen Bedingungen im wassergesättigten Untergrund angepaßt sind. Wie oben beschrieben, sind dies Arten mit luftgefüllten Zellen wie *Eriophorum angustifolium*, *Carex*-Arten, *Menyanthes trifoliata* u.a. (vgl. auch POSCHLOD 1990). Häufig bleiben sie als Relikte der ehemaligen Torfmoos- und Braunmoosseggenriede übrig, wenn andere Arten der Nieder- und Zwischenmoore schon längst

durch die Ausbreitung und das Emporwachsen der Torfmoosrasen verdrängt worden sind. Sie werden zu den sogenannten Mineralbodenwasserzeiger gerechnet und sind charakteristisch im sogenannten Pseudohochmoor (DU RIETZ 1954), das im Gegensatz zum eigentlichen Hochmoor noch nicht vollständig ombrotrophe Bedingungen aufweist.

Möglich ist aber auch eine horizontale Versorgung aus einem nährstoffreicheren benachbarten Standort bei ausläufertreibenden Arten wie *Eriophorum angustifolium* oder *Carex rostrata*.

2.1.2.2.3 Aufwachsen der Oberfläche

Auch das vergleichsweise rasche Emporwachsen der Torfmoose bereitet vielen Pflanzen Probleme. Für Arten, die auf ein zeitweise durchlüftetes Akrotelm angewiesen sind, ist es von überlebenswichtiger Bedeutung, daß sie ihr Wurzelsystem laufend den veränderten Bedingungen anpassen können. Die Kiefer ist beispielsweise in der Lage, Adventivwurzeln auszubilden (BERTSCH & BERTSCH 1938). Andere Arten wie *Drosera rotundifolia* zeigen einen stockwerkartigen Aufbau. Da entweder über die Jahresringe oder über die meist in jährlichen Abständen angepaßten Stockwerke zeitliche Korrelationen bestehen, kann dies für die Bestimmung der Zuwachsraten des Akrotelms in den vorangegangenen Jahren genutzt werden.

Ist das Wachstum der Torfmoosrasen sehr stark, so kann *Calluna vulgaris* häufig nicht mehr Schritt halten. Sie ragt dann nur noch mit kleinen beblätterten Ästchen aus den Torfmoosrasen.

2.1.3 Räumliches Verteilungsmuster der Vegetation und seine Veränderung in der Zeit

Im Kapitel 2.1.2.1 wurde dargestellt, wie die Torfmoose über die Standortbedingungen im Hoch- und Zwischenmoor bestimmen. Die Konsequenzen für die Argumentation des Vegetations- und Standortkundlers sind grundlegend: Üblicherweise diskutiert er das Vorkommen von Pflanzenarten und deren „physiologisches“ bzw. „ökologisches Optimum“ (ELLENBERG 1982), die daraus resultierende Zusammensetzung der Vegetation und ihr räumliches Verteilungsmuster in Abhängigkeit von den Standortbedingungen. Bei den Torfmoosen führen dagegen vegetationskundlich geläufige Aussagen wie, „*Sphagnum magellanicum* bevorzugt die im Vergleich zu den Schlenken trockneren Bulte mit niedrigen pH-Werten und Nährstoffgehalten“, zu unbrauchbaren Zirkelschlüssen, denn die Art verursacht weitgehend selbst diese Bedingungen.

Der sonst sehr ausgeprägte edaphische und orographische Einfluß der umgebenden Landschaft (WALTER 1986) wird durch die Eigenschaften der Torfmoose überlagert bzw. ausgeschlossen. Beziehungen zwischen abiotischer und biotischer Umwelt sind durch interspezifische Abhängigkeiten (STEUBING & SCHWANTES 1981), wie am Beispiel der Gefäßpflanzen (Kap. 2.1.2.2) gezeigt, ersetzt.

Der einzige Input, den Hochmoore erhalten, stammt aus der Atmosphäre. Die klimatischen Bedingungen sind daher in unberührten Hochmooren der entscheidende Standortfaktor, welcher über die

Zusammensetzung der Torfmoose und damit der gesamten Vegetation entscheidet. Bei übereinstimmenden klimatischen Verhältnissen entwickeln sich, selbst bei weltweiter Betrachtung, vergleichbare Hochmoortypen (MOORE & BELLAMY 1974). Dem Wurzacher Ried ähnliche Moore sind daher in Gebieten zu erwarten, die ebenso dem gemäßigten Übergangsbereich zwischen kontinentalem und maritimem Klima angehören, mit vergleichsweise hohen Gesamtjahresniederschlägen, Sommerniederschlägen und Sommertemperaturen. In Abb. 5 sind Klimadiagramme aus verschiedenen Verbreitungsgebieten der „echten Hochmoore“ (nach OSVALD 1925, nähere Erläuterungen dazu S. 26) dargestellt.

In Mitteleuropa läßt sich heute jedoch kaum ein Hochmoor finden, daß sich noch in einem vergleichsweise unberührten Zustand befindet. Dies ist dadurch begründet, daß die Hochmoore bereits seit der Bronzezeit, in verstärktem Maße durch den Torfabbau seit mehreren hundert Jahren anthropogenen Störungen ausgesetzt waren und meist heute noch sind.

Die Auswertungen der Dauerbeobachtung eines „unberührten“ Hochmoores im bayerischen Alpenvorland (südliche Chiemseemoore) hat gezeigt, wie schwierig es selbst bei detaillierten Geländeuntersuchungen ist, den tatsächlichen Einflußbereich vorhandener Gräben räumlich einzugrenzen (FRANKL 1996). Mangels genauerer Kenntnis wurden bisher die für die Moorkultivierung empfohlenen Dränabstände von maximal 20 m (EGGELSMANN 1981, KUNTZE et al. 1994 zitiert in FRANKL 1996) gleichgesetzt mit deren entwässerndem Einfluß (vgl. auch PAUL & RUOFF 1927). Auch die Ergebnisse von SCHNEEBELI (1988 zitiert in FRANKL 1996) schienen dies zu bestätigen. Den Eindruck eines jeden geländeerfahrenen Moorkundlers verbalisierte demgegenüber KAULE (1974), in dem er äußerte, daß sich Torfstiche hunderte von Metern weit in der Vegetation auswirken, was sich nun aufgrund der Ergebnisse von FRANKL (1996) zu bestätigen scheint.

Die Diskrepanz zwischen den Erfahrungen der Melioration und den Ergebnissen der Landschaftsökologie besteht aber nur scheinbar. Unbeachtet blieb, daß eine ausreichende Entwässerung, wie sie die Melioration anstrebt, gleichbedeutend ist mit einer völligen Zerstörung der Torfmoosdecke. Dieses Ziel erreicht man innerhalb des vergleichsweise geringen Dränabstandes von weniger als 20 m. Die dadurch hervorgerufenen hohen Abflüsse können Torfmoose nicht mehr kompensieren und sterben folglich. Außerhalb dieser Zone können demgegenüber insbesondere die Kapillaren bildenden, dichtrasigen Bulttorfmoose überleben (vgl. S. 52). Das Hochmoor bleibt dann zwar erhalten. Sinkende Wasserstände in den Vorflutern bewirken im Hochsommer aber eine Verstärkung der Entwässerung, was durch die Torfmoose nicht völlig ausgeglichen werden kann. Langanhaltende Mulchphasen (S. 10) und dadurch eingeschränktes Wachstum sind die Folge. Die Vegetationszusammensetzung verändert sich nachhaltig: Permanent wasserführende Schlenken nehmen ab und sind selbst in niederschlagsreichen Klimaten dann erst in einer minimalen Entfernung von ca. 200 m zu Gräben oder Torfstichen aufzufinden (NATURE CONSERVANCY COUNCIL 1988). Auf ein durchlüftetes Akrotelm angewiesene Gefäßpflanzen, wie *Calluna vulgaris* und *Pinus spec.* breiten sich aus. Das Hochmoor wird zum Stillstandskomplex (DU RIETZ 1954).

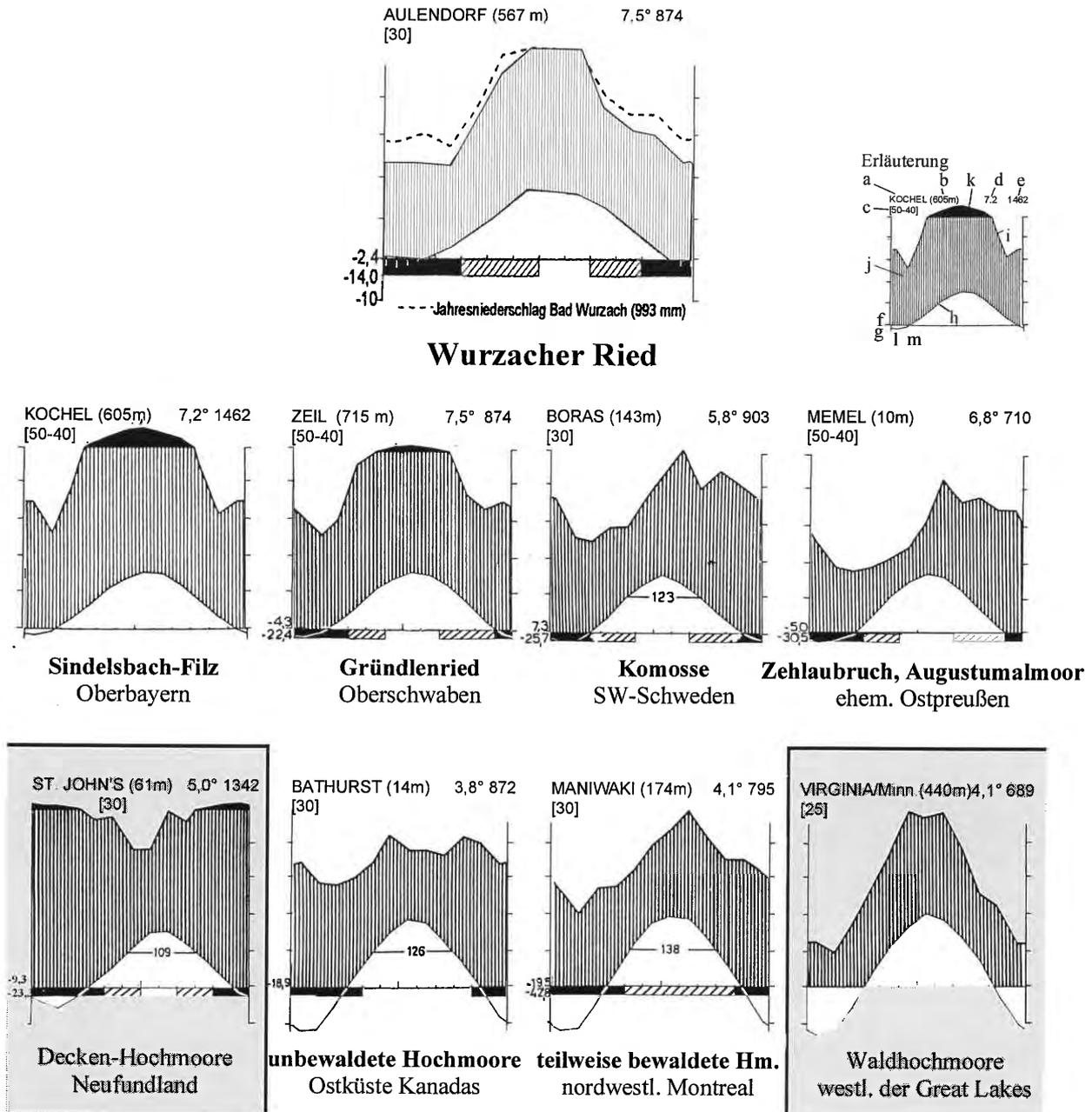


Abb. 5: Klimadiagramme der im Text beschriebenen Moore (benachbarte Orte) im Vergleich zu dem des Wurzacher Riedes (WALTER & LIETH 1964 - 1967, Aulendorf KELLERMANN 1991).

Wirkt tatsächlich die entwässernde Wirkung von Gräben erheblich weiter als bisher angenommen, so muß man davon ausgehen, daß in keinem Hochmoor Mitteleuropas direkte, anhaltende anthropogene Störungen ausgeschlossen werden können. Gleichgerichtete Vegetationsveränderungen in Richtung Stillstandskomplex, die für zahlreiche mitteleuropäische Hochmoore beschrieben werden (GROSS 1913, BACKEUS 1972, KRISAI 1973, ZOLLER & SELLDORF 1989, JENSEN 1976), scheinen dies zu belegen, zumal alte Entwässerungseinrichtungen auch oft in Vergessenheit geraten, wie das Beispiel des Sindelsbach-Filzes in den Loisach-Kochelsee-Mooren zeigt. Dieses Moor wurde sowohl von PAUL & RUOFF (1932) als auch von KAULE (1974) als (weitgehend) unberührt beschrieben. LUTZ (1951) weist demgegenüber in seiner Luftbilddauswertung auf ein flächendekendes gitterförmiges Grabensystem hin, das auf umfassende wasserbauliche Maßnahmen 1818 zurückzuführen ist. Wie schnell sich umgekehrt die Verbesserung der Wasserbilanz auf die Torfmoosdecke auswirkt, konnte im Wurzacher Ried bei den Wiedervernässungsmaßnahmen festgestellt werden (S. 51).

Ein Ansteigen des Abflusses könnte aber auch durch autogene Sukzession, wie MOORE & BELLAMY (1974) vermuten, bedingt sein, wenn das Hochmoor eine bestimmte Grenze für das Höhenwachstum erreicht hat, welche sich aus der Funktion Flächenausdehnung zu klimatischer Wasserbilanz (S. 9) ergibt: Wölbt es sich immer stärker über die Umgebung, so fließt Wasser über den geneigten Rand, das sogenannte Randgehänge ab. Je größer der Höhenunterschied ist, desto stärker ist auch die Höhe des Abflusses und damit sein Anteil an der Wasserbilanz. Da die Veränderungen in zahlreichen, morphologisch unterschiedlich aufgebauten Hochmoore auftreten, erscheint aber dies als Grund eher unwahrscheinlich zu sein.

Neben erhöhten Abflüssen kommt noch ein verändertes Klima als Ursache für die gleichsinnigen Entwicklungen in Frage. Von der Vielzahl der Theorien zur Entwicklung von Bult-Schlenken-Komplexen (BARBER 1981, ZOBEL 1988) zeichnet sich derzeit die direkte Abhängigkeit von der Wasserbilanz als die wahrscheinlichste ab. Insbesondere kleinteilige stratigraphische Untersuchungen zeigen, daß Schlenken zeitweise von Bulttorfmoosen überwachsen wurden, während sich zu einer anderen Zeit wieder Schlenkentorfmoose ausbreiten konnten (RATCLIFFE & WALKER 1958, MOORE 1977, BOATMAN et al., 1981). Die These der zyklischen Regeneration (OSVALD 1923 zitiert in BARBER 1981, KULCZYNSKI 1949), d.h. eines autogenen Wechsels von Schlenken und Bulten, gilt als widerlegt (CASPARIE 1969, BARBER 1981). Es ist naheliegend, daß die Torfmoosdecke nicht nur auf anthropogene Einflüsse, sondern auch auf Veränderungen in der klimatischen Wasserbilanz sehr empfindlich und kleinräumig mit Artenverschiebung und damit Veränderung der Oberflächenform reagiert (vgl. S. 11, WALKER & WALKER 1961, BARBER 1981). Daher könnte auch die Abnahme der Sommer- zugunsten der Winterniederschläge (SCHÖNWIESE, et al. 1993 in SCHÖNWIESE 1995, FRANKL 1996) sowie die generelle Zunahme der Starkregenereignisse (Deutsches Wetteramt Stuttgart, mündl.) eine Ursache für den Rückgang von Schlenken sein.

Das Gründlenried bei Kißlegg (Klimadiagramm Abb. 5), ca. 15 km südöstlich des Wurzacher Riedes gelegen, ist das einzige Hochmoor im südwestlichen Baden-Württemberg, welches wegen seiner Größe und Naturnähe für einen Vergleich mit dem Wurzacher Ried aktuell herangezogen werden kann. Es wird neben dem Wurzacher Ried auch im gesamten mitteleuropäischen Raum zu den

letzten weitgehend intakten Hochmooren gerechnet und wurde im Rahmen einer Diplomarbeit insbesondere hinsichtlich seiner Stratigraphie und seines natürlichen Entwässerungssystems untersucht (BLOCH 1996): Es besitzt eine exzentrische Großform. Die Scheitelpunkte des Hochmoores sind baumfrei und weisen bunte Torfmoosrasen mit *Sphagnum capillifolium*, *S. magellanicum*, *Eriophorum vaginatum*, z.T. *S. papillosum* sowie unterschiedlich nasse bis wasserführende Schlenken mit *Sphagnum cuspidatum*, *Rhynchospora alba*, *Scheuchzeria palustris*, *Carex limosa* auf. Die größten Flächen nehmen *Pinus mugo* - Bestände ein, in denen *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium uliginosum* und *Molinia caerulea* dominieren, in der Mooschicht tritt *Sphagnum recurvum* auf. Eine Ansammlung von Wasser im moosfreien Stammbereich und starkes Torfmooswachstum können zum Absterben der Kiefer führen. Das Randlag⁶ ist gekennzeichnet von Fichtenbruchwäldern oder ist in landwirtschaftliche Fläche umgewandelt worden. Das Gründlenried weist ein unterirdisches Entwässerungssystem auf, das Überschußwasser aus den zentralen Freiflächen zum Moorrand hin abführt. BLOCH (1996) konnte durch Luftbildvergleich feststellen, daß das Moor insbesondere in den Randbereichen durch historische Entwässerungsgräben und Torfstich gestört ist, die z.T. bis in die zentralen Hochmoorbereiche hineinreichen. Im Zusammenhang damit steht möglicherweise das im Vergleich zum Zustand 1954 feststellbare Vorrücken der Waldränder und die Verdichtung vorhandener Baum- und Buschbestände.

Versucht man als Vergleichsgrundlage den intakten Zustand mitteleuropäischer Hochmoore über historische Gebietsbeschreibungen zu rekonstruieren, so muß man leider feststellen, daß selbst früheste vegetationskundlich verwertbare Arbeiten nur selten vor die gravierenden Eingriffe zurückreichen. Für das baden-württembergische Alpenvorland beschreibt BERTSCH (1918) die Situation folgendermaßen: „Diese Pflanzen [gemeint sind die von ihm beschriebenen typischen Moorarten] sind nicht regellos über das Hochmoor zerstreut, sondern sie bilden regelrechte Zonen. Man erkennt diesselben aber nicht mehr in allen Hochmooren, da die meisten auf weiten Teilen nach Torf und Streu ausgenutzt werden, so daß die ursprünglichen Verhältnisse gestört sind.“

Für seine nachfolgende Beschreibung der Vegetationsabfolge wählt er das Reichermoos bei Waldburg (ca. 25 km südwestlich des Wurzacher Riedes, Klimadiagramm Abb. 5) als seines Erachtens damals natürlichstes Hochmoor der Region, obwohl es offensichtlich ebenfalls massiven anthropogenen Störungen durch Torfabbau unterlag: „Im südlichen Teil, wo das Moor von beiden Seiten her stark angestochen ist, so daß der natürliche Bestand auf ein Drittel seiner ehemaligen Breite zusammengeschrumpft ist und wo der schmale Rest durch einen breiten Entwässerungsgraben durchschnitten wird, ...“. Er stellt für die unberührten Hochmoorteile folgende Zonenbildung (von außen nach innen) heraus (Abb. 6):

⁶ Das Lagg (schwed.) oder Randsumpf, ist gemäß v. Post (1910 zitiert in HUECK 1925) „der schmale, von Sumpfformationen eingenommene Gürtel zwischen dem Rand eines transgredierenden oder eines durch Transgression entstandenen Hochmoores und einem zu diesem abfallenden Gehänge des festen Bodens.“ Es ist sowohl vom ombrotrophen Abflußwasser des Hochmoores als auch vom Grund- und Oberflächenwasser der umgebenden Landschaft geprägt.

- Spirkenbestand mit *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *V. uliginosum*, dagegen *V. oxycoccus*, *Eriophorum vaginatum*, *Andromeda polifolia* nur spärlich
- Kuschelbestand bzw. lückiger Berg-Kiefernwald *Vaccinium spec.* ausgenommen *Vaccinium oxycoccus* fehlen, *Eriophorum vaginatum* blüht und fruchtet reichlich, unter den Torfmoosen dominieren rote Arten [Bulttorfmoose]
- Wollgras (*Eriophorum vaginatum*)-Bestand mit niedrigen Berg-Kiefern, *Carex pauciflora*, *Andromeda polifolia*, *Vaccinium oxycoccus*
- nasser Rasenbinsen (*Trichophorum caespitosum*)-Bestand mit grünen (Schlenken-)Torfmoosen, *Rhynchospora alba*, etwas *Scheuchzeria palustris* „Wasserlöchern“, *Calluna vulgaris* ist weitgehend verschwunden
- Blumenbinsenbestand (*Scheuchzeria palustris*)-Bestand im nassesten Zentralbereich

Die Abfolge ist eng mit einer auffallenden Wuchsformveränderung der Bergkiefer von 6 bis 10 m hohen Baumformen (Spirke) am Rand über Buschform (Kuschel) bis zu kleinen, 20 cm hohen Zweigspitzen, die aber Zapfen von 2 Jahrgängen tragen, verknüpft. Die drei letztgenannten Zonen traten im Reichermoos auch als Abfolge zum Randlagg (S. 20) auf, das z.T. fast seeartigen Charakter hatte und an anderer Stelle von *Carex lasiocarpa*, *Menyanthes trifoliata*, *Potentilla palustris* und *Utricularia*-Arten gekennzeichnet war.

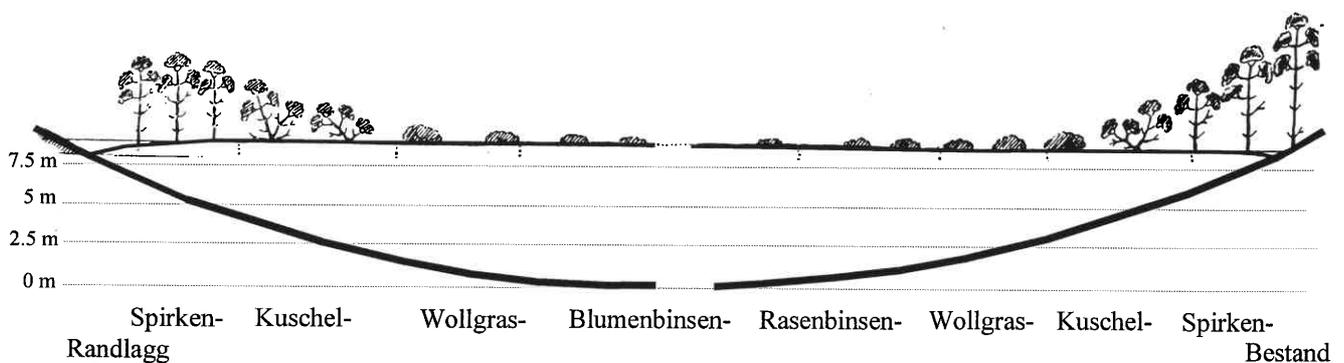


Abb. 6: Idealisierter Querschnitt durch das Reichermoos im natürlichen Zustand (BERTSCH 1918)

Zu Beginn dieses Jahrhunderts wurden eine Vielzahl von Beschreibungen über die Moore Mitteleuropas vom westlichen Bodenseegebiet bis zur Memelmündung veröffentlicht. Die Auseinandersetzung mit diesen Werken muß im Rahmen dieser Arbeit auf die Moore beschränkt bleiben, die klimatisch mit dem Wurzacher Ried vergleichbar sind. Neben den von kurzer Vegetationsperiode und langer Frostdauer gekennzeichneten Gebirgsmooren scheidet daher auch die maritimen Moore insbesondere an der Nordsee sowie die kontinentalen Moore Osteuropas aus.

Da das Wurzacher Ried zu einer den Alpen vorgelagerten Zone von Hochmooren mit gleichartiger Entstehungsgeschichte gehört, bietet es sich an, die sich auf bayerischer Seite anschließenden Moore für einen Vergleich mit heranzuziehen. Zu berücksichtigen ist allerdings, daß eine deutliche Zunahme der Niederschläge mit kürzer werdender Entfernung zu den Alpen verbunden ist, welche bereits auf der kurzen Distanz zwischen Wurzacher Ried und Gründlenried erkennbar ist (Abb. 5).

PAUL & RUOFF (1927 a, b) haben den Zustand zahlreicher Moore in Süddeutschland im Rahmen ihrer pollenstatistischen und stratigraphischen Mooruntersuchungen grob erfaßt. Ihre Angaben basieren zum Teil auf älteren Vegetationsbeschreibungen. In beiden Arbeiten wird kein gänzlich ungestörtes Moor erwähnt, vielmehr liegt das Schwergewicht auf folgenden Äußerungen: „durch Ablatschen und Entwässerung stark verändert“, „durch tiefes Streumähen beschädigte Stellen der Sphagnumdecke“, „Kampfzone zwischen der Übergangs- und Niedermoorvegetation, in die der Mensch durch Entwässern, Streumähen usw. verändernd eingegriffen hat“ usw.

Für vergleichsweise naturnahe Bereiche (Attenloher Filze, Ellbacher Moor, Kirchseefilze, Sindelsbach-Filz der Loisach-Kochelsee-Moore, Bernrieder Filz, Haspelmoor, südliche Chiemseemoore, Kirchseeoner Moor) werden Spirken und Latschen in unterschiedlicher Dichte angegeben, die aber häufig anthropogen verringert wurden. Die baumfreien Bereiche können auch nur Durchmesser von 50 bis 150 m aufweisen (Königsdorfer Filze). In den Spirkenwäldern werden insbesondere *Vaccinium uliginosum*, *V. myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *Calluna vulgaris*, wenig *Eriophorum vaginatum* und *Molinia caerulea*, in der Mooschicht vor allem *Sphagnum recurvum*, *S. magellanicum* und Braunmoose genannt. *Sphagnum magellanicum*, *S. capillifolium*, *Eriophorum vaginatum* dominierten zusammen mit *Calluna vulgaris*, *Vaccinium oxycoccus*, *Andromeda polifolia* auf den größten Teilen der Hochmoore. Auch *Sphagnum fuscum*, nach Westen zu mit abnehmender Tendenz, war anzutreffen.

Für viele Moore wird das Vorkommen von Schlenken mit *Sphagnum cuspidatum*, *Rhynchospora alba*, *Carex limosa*, *Trichophorum caespitosum* und *S. papillosum* angegeben, die auch zur sommerlichen Austrocknung neigen können (Sindelsbach-Filz der Loisach-Kochelsee-Moore, vgl. S. 19). Besonders hervorgehoben werden Schlamm-Schlenken (Attenloher Filz, Ellbacher Moor „flarkähnlich“, Kirchseefilze „flarkähnlich“, Großes Filz am Bannwaldsee, Kirchseeoner Moor), die häufig mit einem einzigartigen Arteninventar ausgestattet waren (*Lycopodium inundatum*, Glazialrelikte wie *Meesia triquetra*, *Carex heleonastes*, *C. chordorrhiza*, *C. dioica*, *Malaxis paludosa*, *Liparis loeselii*) und z.T. auch durch Ausreißen von Wurzelstöcken entstanden waren. Im Übergangsbereich vom Hoch- zum Niedermoor sind *Menyanthes trifoliata*, *Carex lasiocarpa*, *C. rostrata*, *Trichophorum caespitosum*, *Rhynchospora fusca* und Braunmoose häufig genannt.

Als wichtigstes Oberflächenmerkmal geben sie die starke Aufwölbung an, die ein sehr deutliches, bewaldetes Randgehänge (S. 19) und, aus dem abfließenden Sickerwasser resultierend, ein Randlagg (S. 20) aufweisen. Die Neigung des mineralischen Untergrundes geben sie als Grund für das Vorherrschen exzentrischer Formen an. Je ausgedehnter der Zentralbereich und je geringer das Gefälle, desto stärker sind ihres Erachtens Schlenken ausgebildet, die in ausgedehnten, baumfreien Torfmoosrasen mit wenig *Calluna vulgaris* eingebettet sind, wobei mit den Höhenlinien parallel laufende Schlenkenreihen (Flarke) oder größere offene Wasserflächen (Blänken) fehlen. Aufgrund dieser morphologischen Charakteristika ordnen sie den vorherrschenden Typ den „wirklichen“ (=„echten“) Hochmooren nach OSVALD (1925, vgl. S. 26) zu.

Das ehemalige Ostpreußen weist im Vergleich zum Wurzacher Ried deutlich geringere Niederschläge bei vergleichbaren Temperaturen auf (Abb. 5). Auch hier entwickelten sich z.T. großflächige echte, d.h. aufgewölbte Hochmoore. Zwar existieren ausführliche Monographien über die beson-

ders eindrucksvollen Beispiele wie den Zehlaubruch bei Königsberg durch GAMS & RUOFF (1929) oder für das Augustumalmoor an der Memelmündung durch WEBER (1894 zitiert in GROSS 1913). Doch schon GROSS (1913) mußte resigniert feststellen, daß es in Ostpreußen kein völlig intaktes (wenigstens größeres) Hochmoor gibt. Übereinstimmend beschreiben sie jedoch, wie auch HUECK (1925) für die im Westen anschließenden brandenburgischen Moore, die verschiedenen Formen offener Wasserflächen von Torfschlammshlenken bis hinzu ausgedehnten Kolken, die mit der Nähe zum Meer, also mit steigender Humidität zunehmen.

Eine letzte Möglichkeit für die Rekonstruktion eines intakten Zustandes ist der Vergleich mit anderen, weniger stark anthropogen überprägten, aber klimatisch ähnlichen Gebieten der Erde. Sie sind in Skandinavien und Ostkanada zu finden.

Südwestschweden ist klimatisch dem Wurzacher Ried vergleichbar. Die geringeren Niederschläge werden in der Wasserbilanz durch die Verdunstung, die wegen niedrigerer Temperaturen reduziert ist, ausgeglichen. In diesem Gebiet befindet sich der Hochmoorkomplex Komosse, welcher durch die Monographie OSVALDs (1923) in der Moorkunde besonders bekannt ist. Neben einer detaillierten pflanzensoziologischen Untersuchung der Vegetation charakterisiert OSVALD (1923, 1950) auch die einzelnen, mehr oder wenigen voneinander unabhängigen Moorteile. Mehrfach erwähnt er in aufgewölbten Hochmooren ausgedehnte Flächen mit Torfschlamm oder offenem Wasser, die bis zu 120 m lang und 20 m breit sein können.

Zum Schluß soll Kanada in den Vergleich einbezogen werden, da hier, im Gegensatz zu Europa, wo die Höhenklimate der Mittelgebirge und Alpen das Großklima mitbeeinflussen, ein ausgeprägter Gradient vom maritim geprägten Osten und Norden zum kontinentalen Klima nahe der Rocky Mountains besteht (Abb. 5, GLASER & JANSSENS 1986). Außerdem reichen anthropogene Einflüsse nur etwa 300 Jahre zurück. Weitläufige Gebiete können auch heute noch als vom Menschen unberührt eingestuft werden.

Das maritime Klima zeichnet sich aus durch kühle Sommer und milde Winter bei vergleichsweise niedrigen Niederschlägen und gleichbleibend hoher Luftfeuchte. Das kontinentale Klima weist demgegenüber große Tages- und noch größere Jahresschwankungen der Temperatur auf. Die Niederschläge konzentrieren sich zwar auf den Sommer, gleichzeitig ist aber durch die hohen Tagestemperaturen die Verdunstung erhöht (VAN EIMERN & HÄCKEL 1979). Die Überschüsse der klimatischen Wasserbilanz (Niederschlag abzüglich Verdunstung) sinken folglich mit zunehmender Kontinentalität, v.a. steigen auch die Trockenperioden während des Sommers. Von GLASER & JANSSENS (1986) wird eindrucksvoll aufgezeigt, wie sich parallel mit dem Klimagradienten auch die Oberflächenstruktur in der „Großform“ und „Kleinform“, wie sie von AARIO (1932) für finnische, vom NATURE CONSERVANCY COUNCIL (1988) für britische Moore aufgezeigt und beschrieben wurden, ändert (Abb. 7, Abb. 8):

- maritime Hochmoore: Bei extremen Wasserüberschuß Deckenhochmoore, ansonsten Hochmoore mit ausgedehnten Wasserflächen, die mit Zunahme des Frosteinflusses nach Norden wie mineralische Böden in Mustern angeordnet sind (vgl. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1989)
- Übergangsbereich: Hochmoore mit vereinzelt Wasserflächen
- kontinentale Hochmoore: ohne Wasserflächen

Auch die Bewaldung nimmt mit der Kontinentalität zu. Die von GLASSER & JANSSENS (1986) betonte hohe Wachstumsaktivität, insbesondere der bewaldeten Teile der kontinentalen Hochmoore Kanadas läßt die immer wieder aufkommende Diskussion zur entwässernden Wirkung von Bäumen, wie sie auch FRANKL (1996) äußert, in neuem Licht erscheinen. Für die hochmoorbildenden Sphagnen scheint die Transpiration der Bäume weniger Bedeutung zu besitzen als das veränderte Bestandsklima, in dem die Verdunstungsverluste durch die Beschattung stark herabgesetzt werden. Dies wird auch durch rezente sphagnenbedingte Versumpfungsprozesse von Moorbirkenwäldern auf nordwestdeutschen entwässerten Mooren bestätigt, welche WAGNER (1994) beschreibt.

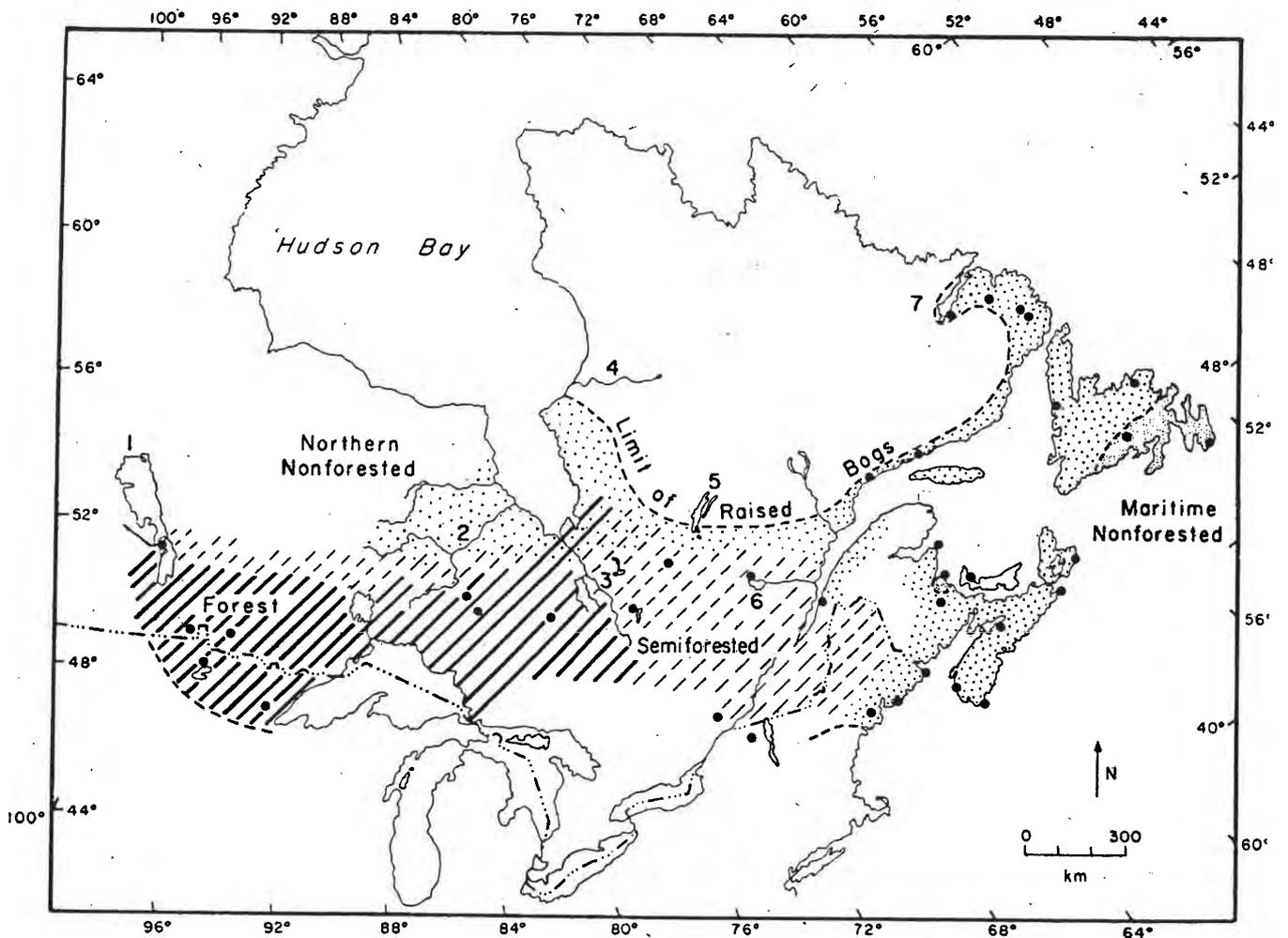


Abb. 7: Die Verteilung von Hochmoortypen im östlichen Kanada (GLASER & JANSSENS 1986). (schraffiert: bewaldet, gestrichelt: teilweise bewaldet, weit gepunktet: unbewaldete Hochmoore mit ausgedehnten Wasserflächen, eng gepunktet: Deckenhochmoore, schwarzer Punkt: untersuchte Moore)

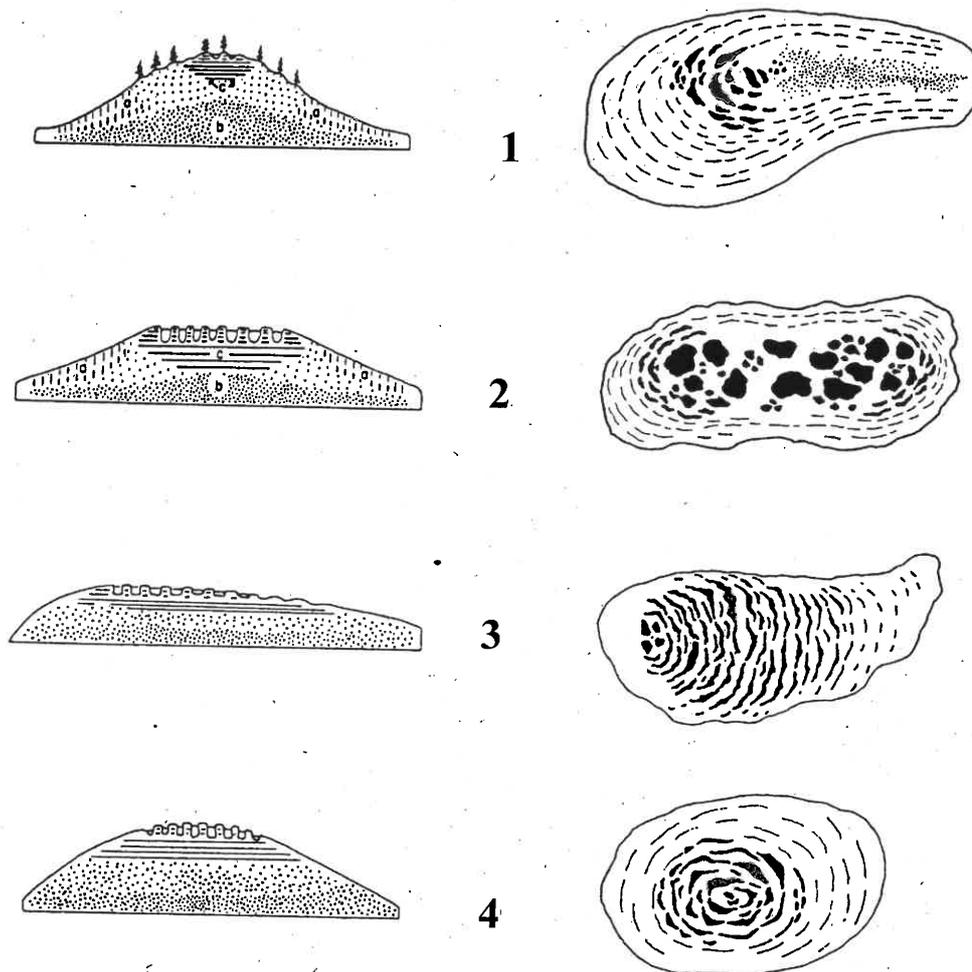


Abb. 8: Oberflächenmuster in Hochmooren des östlichen Kanadas (Querschnitt und Aufsicht, GLASER & JANSSENS 1986)

1: teilweise bewaldetes kontinentales Hochmoor, 2: maritimes konzentrisches Plateau-Hochmoor, 3: maritimes exzentrisches Plateau-Hochmoor, 4: maritimes konzentrisch gewölbtes Hochmoor; a: durchlässiger, wenig zersetzter Torf, b: stark zersetzter Torf, c: zwischengelagerte Schichten von unzersetztem *Sphagnum*-Torf und höher zersetztem Torf

Aus den bisherigen Ausführungen läßt sich ableiten, daß im Alpenvorland (PAUL & RUOFF 1927 a und b, BLOCH 1996, BERTSCH 1918) der Typus des „echten Hochmoores“ nach OSVALD (1925) vorherrscht. Er zeichnet sich aus durch eine starke Aufwölbung, ein steiles, gut entwässertes und daher bewaldetes Randgehänge (S. 19) sowie durch ein Randlagg (S. 20), das vom Sickerwasser des Hochmoores gespeist wird und sehr naß sein kann. Aufgrund vorhandener Gebietsinformationen ist nicht zu klären, wie stark die Bewaldung ohne anthropogenen Einfluß wäre und in welchem Ausmaß Schlenken auftreten. Ausgedehnte Hochmoore in anderen Regionen der Erde, die ebenfalls im Übergangsbereich zwischen kontinentalem und maritimen Klima liegen, weisen aber in ihren Zentren ganzjährig eine positive Wasserbilanz auf, weshalb Schlenkentorfmoose Bulttorfmoose verdrängen und Schlamm-, Wasserschlenken sowie Kolke auftreten. Dies trifft selbst noch für Gebiete wie Ostpreußen zu, wo die Niederschläge bei ähnlichen Temperaturen deutlich niedriger liegen als im Alpenvorland. Die Moore des Alpenvorlandes dürften damit ursprünglich den in Abb.

8 dargestellten Hochmoortypen entsprochen haben, wobei eine Zunahme offener Wasserflächen mit der Nähe zu den Alpen und damit ansteigender Humidität wahrscheinlich ist.

Die Vegetationszusammensetzung der einzelnen Teilbereiche stimmt in allen Beschreibungen (BERTSCH 1918, PAUL & RUOFF 1927 a und b, BLOCH 1996, OSVALD 1923, GAMS & RUOFF 1929 u.a.) weitgehend überein, so daß der Querschnitt aus dem Reichermoos (Abb. 6) als Idealtypus der Hochmoore im Alpenvorland herangezogen werden kann:

- Im ebenen Bereich des zentralen Schildes sind optimale Bedingungen für wüchsige Schlenkendorfmoose wie *Sphagnum cuspidatum*, *S. recurvum*, *S. papillosum* gegeben. In den Schlenken sind darüberhinaus Sauergräser wie *Carex lasiocarpa*, *Rhynchospora alba*, *Scheuchzeria palustris* oder *Trichophorum caespitosum* typisch, welche durch Aerenchyme an die anaeroben Bedingungen im Katotelm angepaßt sind. Mit beginnendem Wasserzug werden Bulttorfmoose (*Sphagnum magellanicum*, *S. capillifolium*, *S. fuscum*), die das uhrglasförmige Aufwachsen des Hochmoores erst ermöglicht haben, konkurrenzfähig.
- Das Randlagg (S. 20) war wohl in vielen Hochmooren sehr ausgeprägt und z.T. von ausgedehnten Wasser- und Schlammflächen charakterisiert. Je nach Mischung des abfließenden Hochmoorwassers mit minerotrophem Wasser konnte dort eine Vielfalt an Standortbedingungen entstehen, im Idealfall eine Abfolge von kalkoligotroph bis ombrotroph.
- Sobald selbst Bulttorfmoose nicht mehr in der Lage sind, den Wasserstand ganzjährig auf hohe Werte einzustellen, können sich Gefäßpflanzen, wie *Calluna vulgaris*, *Pinus mugo*, die aerobe Bedingungen im Wurzelraum benötigen, verstärkt ansiedeln: Diese Bedingungen treten in den meisten Hochmooren mit zunehmender Nähe zum Randgehänge (S. 19) auf, wo sich ein niedrigerer Wasserstand durch erhöhte Abflußraten einstellt.

Sehr starker, i.d.Regel anthropogen bedingter Entwässerung können Torfmoose nicht standhalten. Zunächst sterben alle lockere Rasen bildende Arten (S. 10 bis einschließlich *S. magellanicum*), erst später das in dichten Polstern wachsende *S. capillifolium* (vgl. auch Ergebnisse im Haidgauer Torfstichgebiet, S. 52). Fehlt eine lebende Torfmoosdecke, so sinken die Wasserstände bis weit ins Katotelm ab. Dann treten *Molinia caerulea* und Zwergsträucher wie *Vaccinium uliginosum* auf, welche Anpassungen an die nach wie vor geringen Nährstoffgehalte aufweisen (Zwergstrauch- und Pfeifengrasdegenerationsstadien). Letztgenannte Arten stellen sich auch im stärker belüfteten Randgehänge (S. 19) ein. Bei Zunahme der Nährstoffgehalte durch die Mineralisation der belüfteten Torfe können sich Birken (*Betula pubescens*) und Faulbaum (*Frangula alnus*) ansiedeln.

Die Vegetationsentwicklung in Torfstichen kann sehr vielgestaltig ablaufen, näheres dazu S. 48.

Neben den direkten anthropogenen Einflüssen durch Entwässerung spielen für Hochmoore die anthropogen verursachten atmosphärischen Einträge eine nicht zu unterschätzende Rolle:

Durch die Industrialisierung, insbesondere die enorme Zunahme von Verbrennungsemissionen hat sich die Zusammensetzung des Niederschlages und damit die Einträge in oligotrophe Lebensgemeinschaften stark verändert. Betrugen die Nitrat-Einträge 1938 in den Niederlanden noch 7 kg/ha und a, so sind sie heute in Mitteleuropa auf Werte zwischen 20 kg/ha und a in Ostpolen und über

100 kg/ha und a in den Niederlanden angestiegen (LEEFLANG 1938 und HIGLER 1993 in BÖCKER 1997). Die dadurch ausgelösten Veränderungen in Mooren sind aus Torfen noch nicht ablesbar. Zahlreiche Untersuchungen befassen sich zwar in jüngster Zeit mit dieser Thematik, aufgrund der komplexen physiologischen Abläufe am Kationenaustauschmechanismus und der schwierigen Beweisführung kann man sich derzeit aber noch keine abschließende Meinung bilden:

So hat TWENHÖVEN (1992) festgestellt, daß sich Sphagnen im Gegensatz zur bisherigen Lehrmeinung nicht nur von Ammonium-, sondern auch von Nitrat-Ionen ernähren können. Er zeigte, daß der Eintrag von atmosphärischen Stickstoffverbindungen das Wachstum von *Sphagnum fallax* (*S. recurvum* s.l.) eindeutig fördert, während er bei *Sphagnum magellanicum* keinen Unterschied feststellen konnte. Er vermutet darüberhinaus, daß der Abbau der organischen Substanz durch Zugabe von Stickstoff gefördert wird, wodurch auch die Unterschiede in der Reliefentwicklung zwischen belasteten und unbelasteten Versuchsflächen zu begründen wären. Eingehende Untersuchungen von RUDOLPH & VOIGT (1986) ergaben demgegenüber, daß *Sphagnum magellanicum* auf erhöhte Konzentrationen von Ammonium-Ionen sogar mit Wachstumshemmung reagiert. Versuche von PRESS (1986) erbrachten ebenfalls eine Wachstumshemmung von *Sphagnum cuspidatum* durch atmosphärischen Eintrag von Stickstoff.

Tendenziell ist daraus abzulesen, daß bestimmte Torfmoosarten gefördert, andere vermutlich gehemmt werden. Ähnliches gilt möglicherweise auch für höhere Pflanzen. Die zunehmende Bewaldungstendenz von Hochmooren in Süddeutschland sowie die Zunahme von *Calluna vulgaris* wird von vielen Autoren (KRISAI 1973, FRANKL 1996) neben hydrologischen Ursachen auch mit dem hohen anthropogen bedingten Nährstoffeintrag aus der Luft in Verbindung gebracht. Durch die Schadstoffbelastung der Luft sind folglich Veränderungen im Konkurrenzverhältnis, in der Artenzusammensetzung der Vegetation und damit der Moorentwicklung insgesamt wahrscheinlich.

2.2 Entwicklung und Zusammensetzung der Vegetation im Wurzacher Ried

2.2.1 Einleitung

Die in den Torfen erhaltenen Pflanzenreste ermöglichen in Mooren eine Vegetationskartierung auch in der Zeitachse. Kombiniert mit der Analyse von historischen Quellen und Luftbildern kann so die aktuelle Zusammensetzung und Verbreitung der Biozönosen in Abhängigkeit von den Veränderungen in der Zeit untersucht werden. Vermeintlich stabile Vegetationsgesellschaften werden als Stadien in einem noch nicht beendeten Prozeß entlarvt. Auf dieser Grundlage können realistische Szenarien für die Weiterentwicklung eines Gebietes aufgestellt werden, was wiederum nachhaltigen Einfluß auf ein Monitoring, insbesondere auf die Auswahl von repräsentativen Flächen und Indikatorarten hat.

Die Nutzungsgeschichte des Wurzacher Riedes wurde von SCHWINEKÖPER & SCHÜLE (1990, unveröff., s.a. SCHWINEKÖPER et al. 1991, SCHWINEKÖPER 1997) anhand von Archivrecherchen rekonstruiert. Basierend auf dieser Untersuchung und ergänzt durch die Analyse historischer (Luft)bilder der Forstdirektion Tübingen (ab 1954), Aufnahmen des Kampfmittelbeseitigungsdienstes Böblingen (1945) und von Pater Agnellus Schneider, Bad Wurzach (ab 1954), sowie Auswertung von Vegetationsbeschreibungen und Angaben von Zeitzeugen wurde versucht, die anthropogen bedingten Veränderungen im Wurzacher Ried nachzuvollziehen und die historische, nicht mehr durch Torfe belegte Moorzonation zu rekonstruieren (Abb. 2, S. 7). In den Kapiteln 2.2.3 bis 2.2.5 werden die Ergebnisse dieser Analyse und der zahlreichen aktuellen vegetations- und standortkundlichen Untersuchungen im Wurzacher Ried (LÜTH 1989 a, b, PFADENHAUER et al. 1990, KELLERMANN 1991, GREMER 1991, DEUSCHLE 1992, KOHLER et al. 1994, ULRICH 1996) mit dem Ziel zusammengestellt und diskutiert, die wesentlichen Charakteristika der Vegetationsentwicklung und des heutigen Zustandes der Hoch- und Zwischenmoorvegetation herauszuarbeiten.

2.2.2 Nutzungsgeschichte

Die Nutzungsgeschichte des Wurzacher Riedes in den für den heutigen Zustand ausschlaggebenden letzten hundertfünfzig Jahren läßt sich in drei Abschnitte untergliedern⁷:

1. Bis etwa 1960 unterlagen große Teile des Riedes einer Nutzung, die sich ab Mitte des letzten Jahrhunderts fortschreitend steigerte: Ende des letzten und Anfang dieses Jahrhunderts fanden großflächige Entwässerungen in den Randbereichen des Riedes und auf einigen Hochmoorschilden als Vorbereitung für den Torfstich, die Inkulturnahme oder den Straßenbau statt. Die vorhandenen Oberflächengewässer wurden begradigt, z.T. verlegt und eingetieft. 5 der ehemals 7 großen Hochmoorschilde des Wurzacher Riedes wurden entwässert und weitgehend abgetorft (Abb. 2). Die Bewirtschaftung als Streuwiese erfolgte auf allen von Süß- und Sauergräsern dominierten Flächen zunächst in den Fließgewässerrauen, später auch in abgetorften und nachfolgend eingeebneten Flächen. Geradlinige Grenzen zwischen bewaldeten und unbewaldeten Berei-

⁷ Die weiter zurückliegenden Veränderungen im Bereich der kalkoligotrophen Haidgauer und Dietmannser Quellseen (Weihereinstau) bleiben in dieser Arbeit unberücksichtigt (vgl. dazu BÖCKER 1997, KUHN 1998).

chen im östlichen Haidgauer Schild könnten auf das bewußte Ausreißen von Latschen im Zusammenhang mit einer Streunutzung des Hochmoores hindeuten, wie es von PAUL & RUOFF (1927) für das bayerische Alpenvorland beschrieben wurde. Eine weitere Nutzung hydrologisch noch weitgehend intakter Hochmoorteile ist darüberhinaus eher unwahrscheinlich. In der nördlichen Randzone des Großen Alberser Ried und dem westlich angrenzenden Zwischenmoor wurde gemäß ILSCHNER (1959) zumindest sporadisch die Vegetationsdecke mit einem Teil des Wurzelhorizontes („Plaggen“) oder Torfmoosrasen („Moosrechen“) als Einstreu entnommen. Die randlichen Kalkflachmoore, die sich z.T. als Kalksümpfe auf Mineralböden der unteren Moränenhänge fortsetzten, wurden teilentwässert und ebenfalls in Streuwiesen umgewandelt. Auf einem Drittel des größten Schildes wurde ein industrieller Torfstich betrieben. Der Haidgauer Schild westlich der Bundesstraße, insbesondere, das Torfstichgebiet, diente Bombern während des zweiten Weltkriegs als Übungsgelände⁸.

2. Ab 1960 wurde die Nutzung im ehemaligen Randlagg (S. 20), den quelligen Moränenunterhängen sowie im gesamte Wassereinzugsgebiet intensiviert, während sie im Ried selbst stark zurückging.
3. Seit 1989 wird der Pflege- und Entwicklungsplan (PEPL) der Bezirksstelle für Naturschutz in Tübingen (BNL 1989) umgesetzt. Er zielt darauf ab, die anthropogenen Eingriffe in den Wasser- und Nährstoffhaushalt des Wurzacher Riedes aufzuheben und beinhaltet folgende, wesentliche Maßnahmen:
 - Extensivierung des Randlaggs
 - Beendigung des Torfabbaues im Haidgauer Torfstichgebiet
 - Wiedervernässung des Haidgauer Torfstichgebietes
 - Erhöhen der Niedrigwasserstände im Stadtkanal
 - Erhöhen der Niedrigwasserstände bzw. Einstau des Wengener Mühlbaches, Öffnen der bisher in Drainagerohren gefaßten kalkoligotrophen Quellen im Williser Zwischenmoor.

Bisher ist es nicht gelungen, die hohe Nährstoff-Fracht der Fließgewässer (BÖCKER 1997) aus der intensiven Nutzung des Wassereinzugsgebietes deutlich zu senken. Daher ist es derzeit nicht sinnvoll, die frühere Fließgewässerdynamik, die zu ausgedehnten und häufigen Überschwemmungen führte, wiederherzustellen bzw. ehemals kalkoligotrophe Hangquellbereiche wieder zu vernässen.

2.2.3 Hochmoorvegetation

Die wenigen Quellen aus der Zeit vor den einschneidenden Meliorationsmaßnahmen im zweiten Drittel des letzten Jahrhunderts widersprechen sich in ihren Aussagen zur Bewaldung:

Während die geometrische Mappa der Herrschaft Wolfeck von 1669 auf den Hochmoorschilden nur zwei Gehölzinseln (nördlich der Riedmühle und südwestlich Iggenau) verzeichnet, sind in der Spe-

⁸ Der Beobachtungsbunker östlich der Riedschmiede ist erhalten. Nach Erhebungen eines Militaria-Sammlers sind bei Übungen 11 Flugzeuge (9 Schulungsflugzeuge, 2 ME 210) im Torfstichgebiet abgestürzt, deren Wracks jedoch umgehend wieder entfernt wurden. Beim Torfabbau wurden regelmäßig die zur Übung eingesetzten und mit Rauchflüssigkeit ausgestatteten Zementbomben aufgefunden (Torfabbauer Kesenheimer mdl.).

zial Mappa alle mit der Signatur "Herrschaftliche Föhrenrieder" belegt und in einem Tabellenwerk zusätzlich aufgeschlüsselt (SCHWINEKÖPER & SCHÜLE 1990).

Bei BERTSCH & BERTSCH (1938) sind alle nicht entwässerten oder abgetorften Hochmoorschilde als **Bergkiefern-Hochmoor** kartiert. Ein Schnitt durch den Haidgauer Schild zeigt den klassischen Aufbau eines Hochmoorschildes, den sie auch textlich schildern, mit 10 m hohen und 20 cm im Durchmesser messenden Kiefern im (trockeneren) Randgehänge (S. 19) und niedrigen, kaum fußhohen Krüppelkiefern (Kuscheln) und deckender Torfmooschicht mit nur wenigen höheren Pflanzen im zentralen Bereich (Abb. 9).

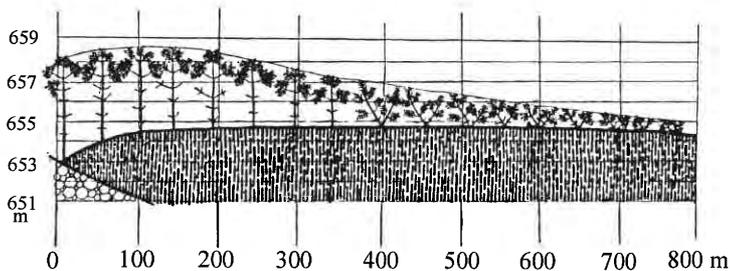


Abb. 9: Schnitt nach BERTSCH & BERTSCH (1938) durch den Haidgauer Hochmoorschild

Eine Analyse historischer Luftbilder hat gezeigt (ULRICH 1996, Abb. 10), daß die Bewaldung und Verbuschung des Haidgauer Schildes in den letzten 50 Jahren vor allem im Randgehänge und in der Nähe von Gräben, d.h. in der Nachbarschaft zum Haidgauer Torfstichgebiet oder entlang der Bundesstraße, stark zugenommen hat. Im scheinbar ungestörten Hochmoor liegt der Schwerpunkt der Veränderung mehr in einer Verdichtung, die Ausdehnung der Gehölzbestände ist geringfügig. Die Bewaldung des östlichen Haidgauer Schildes und des großen Alberser Riedes ist mittlerweile sehr dicht, die Kiefern können offensichtlich auf der Gesamtfläche baumförmig aufwachsen (Abb. 11).

Neben dem Auftreten der Kiefer ist die Vegetation insbesondere des östlichen Haidgauer und des großen Alberser Riedes heute charakterisiert durch eine vergleichsweise hohe Dichte großer *Eriophorum vaginatum* - Horste und Altbeständen von *Calluna vulgaris*, welche die roten Bultorfmoose *Sphagnum magellanicum* und *S. capillifolium* überdecken und z.T. durch einzelne höhere Bulte von *S. fuscum* und des Braunmooses *Polytrichum strictum*. Noch vor 25 Jahren bestand demgegenüber zwischen den Kuscheln ein vielfältiges Vegetationsmosaik mit deutlich erkennbaren Torfmoosbulten (Abb. 11).

Die heutige Vegetation ist gemäß der Kartierung von LÜTH (1989a) dem Pino mugo - Sphagnetum Kästner et Flößner 33 em. Neuhäusl 69 corr. Dierß. (vgl. auch LUTZ 1956).

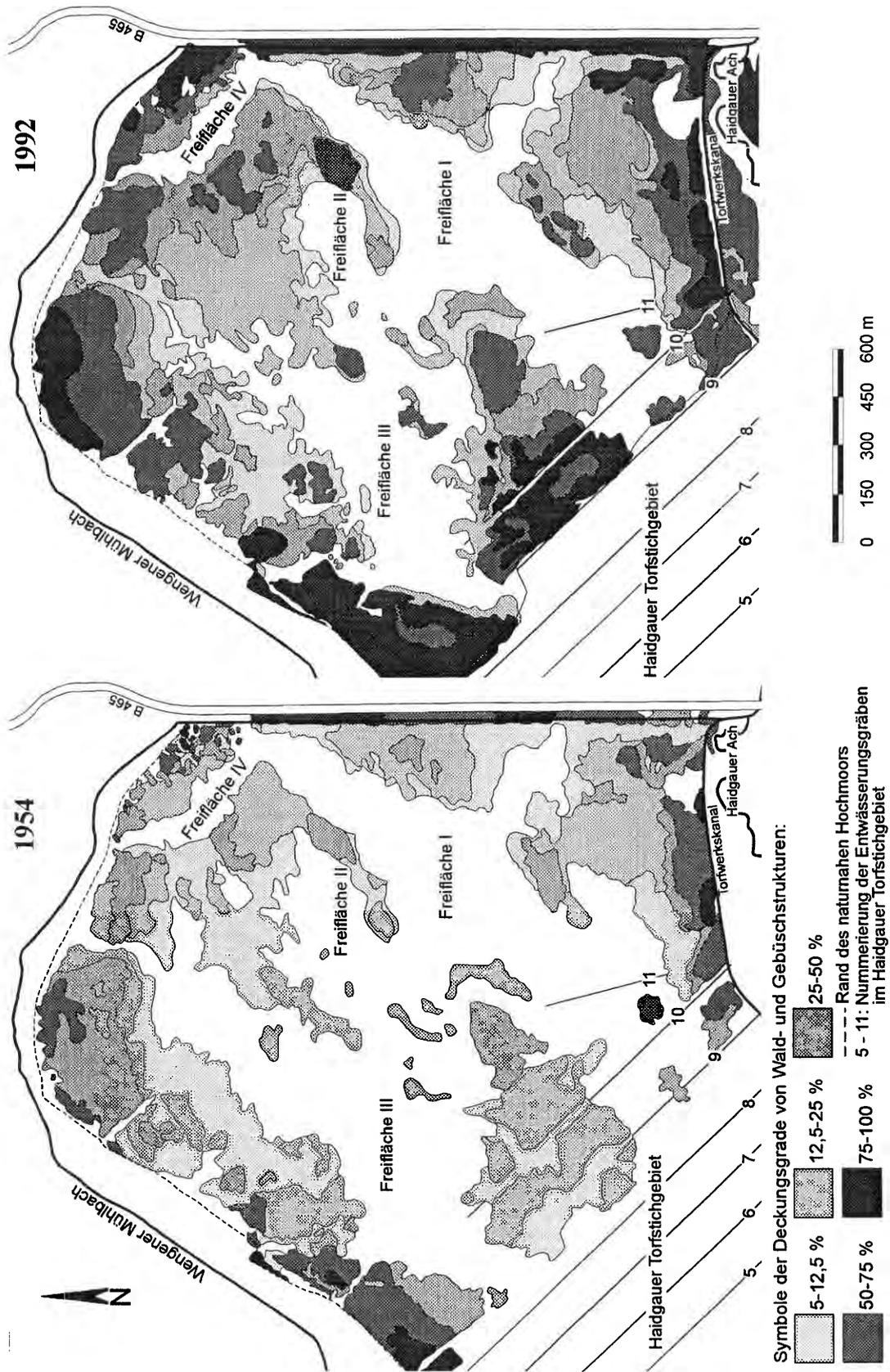


Abb. 10: Gehölzverteilung im Luftbildvergleich 1954 (links) zu 1992 (rechts, nach ULRICH 1996, verändert)

1970

1996



Abb. 11: Großer Alberser Schild in einem Vergleich von Schrägbildaufnahmen, links 1970 (Foto von Pater A. Schneider, Bad Wurzach), rechts 1996

Das westliche Haidgauer Ried weist demgegenüber gehölzfreie Hochmoorweiten auf, die von roten Bulttorfmoosen oder bunten Torfmoosrasen (einer Mischung roter Bulttorfmoose mit *S. papillosum*, *S. recurvum* und anderen grünen Torfmoosen) mit gering ausgeprägtem Mikrorelief dominiert werden.

Eine Ausnahme stellen allerdings die Hochmoorschlenken dar, die den zentralen Schildbereich unterhalb Iggenau queren (Abb. 10: Freifläche I). Sie wurden erstmals von ILSCHNER (1959), 1989 bzw. 1990 auch von LÜTH (1989a) und PFADENHAUER et al. (1990) beschrieben und von DEUSCHLE (1992) und ULRICH (1996) genauer untersucht. Aufgrund der bis in eine Tiefe von 50 Zentimetern unzersetzten Torfmoose werden sie, wie der Schwindelsee (näheres dazu weiter unten), von ILSCHNER (1959) als "grundlos" beschrieben. Typisch für die Vegetation sind *Sphagnum cuspidatum*, *S. recurvum*, *Carex limosa*, *Rhynchospora alba* und mit geringerer Stetigkeit und Dominanz *Scheuchzeria palustris*. Die Schlenkenregion endet am Nordrand nahe der B 465 in einem vegetationslosen Trichter. Sowohl DEUSCHLE (1992) und ULRICH (1996) als auch eigene Geländebegehungen zeigen, daß die Schlenken heute bereits im Frühsommer keine offenen Wasserflächen mehr aufweisen. Bereits ab Mai sind vergleichsweise lang andauernde "Mulchphasen", also Abtrocknung und Ausbleichen der angrenzenden Torfmoosrasen zu beobachten. Gemäß Pegelmessungen von KELLERMANN (1991), DEUSCHLE (1992) und KOHLER et al. (1992) können im Hochsommer Niedrigwasserstände von 48 cm unter Flur auftreten.

Die Beobachtung eines Kleintransektes durch DEUSCHLE (1992) und ULRICH (1996) über einen Zeitraum von 4 Jahren dokumentiert, daß neben dem Schwund an Wasserschlenken und der damit verbundenen Abnahme von *S. cuspidatum* eine Ausbreitung roter Bulttorfmoose und auch von *Calluna vulgaris* einhergeht (Kap. 3.2.1.2). Luftbildvergleiche und kleinräumige stratigraphische Untersuchungen zeigen, daß die Schlenken früher eine erheblich größere Ausdehnung hatten, *Sphagnum cuspidatum*-Torfe sind nämlich auch unter den meisten angrenzenden bunten Torfmoosrasen zu finden. In den 40 Jahre alten Luftbildern ist noch eine deutliche Anordnung quer zu den Höhenlinien erkennbar, die eine Abhängigkeit vom abfließenden Überschußwasser höhergelegener Teile vermuten läßt. Daneben treten in Freifläche III ungerichtete, in Freifläche IV rißförmige Schlenken (die Kanten der Längsseiten entsprechen sich in der Form) auf. Während sich erste mit einer kolkartigen Entstehung durch stagnierendes Oberflächenwasser erklären lassen, ist der Ursprung der Rißschlenken nach wie vor unbekannt.

Die von roten Torfmoosrasen dominierte Vegetation läßt sich gemäß LÜTH (1989a) dem Sphagnetum magellanicum (Malcuit 29) Kästner et Flößner 33 zuordnen. Die Schlenkentypen im Wurzacher Ried wurden von ihm als rangfreie Gesellschaften des Rhynchosporion albae W. Koch 26 behandelt.

Ein außergewöhnliches Element des Haidgauer Riedes stellte der 1923/1924 zerstörte Schwindelsee dar, der sich in der Mitte des Haidgauer Schildes unterhalb Wengen befand. (nach der Geometrischen Mappa von 1669 "Blumsee", im Beiwerk zur Spezial Mappa mit einer Ausdehnung von ~3.100 m² bzw. 45 m Länge angegeben, bei ILSCHNER 1959 auch "Blindsee", nach BERTSCH & BERTSCH 1938 "im höchstgelegenen Teil des Hochmoors". Die höchste Aufwölbung des Schildes befand sich aber gemäß der Höhenflurkarten von 1913 im Nordwesten unterhalb Wengen). Seine Vegetation war nach BERTSCH & BERTSCH (1938) durch *Nuphar pumila*, einem Glazialrelikt, bzw. *N. intermedia*, *Eleocharis ovata* und *Juncus bulbosus* charakterisiert. Wegen seiner Lage im Ried (inmitten des "ungeheuren Bergkiefernwaldes" BERTSCH & BERTSCH 1938), fast grundlosem Torfschlamm im Untergrund, tiefbraunem, dystrophem Wasser und schwankendem Ufer war er der Bevölkerung höchst unheimlich. Ohne ersichtlichen Grund für den laufenden Torfabbau wurde er 1923/24 entwässert. Es verblieb zunächst noch *Eleocharis ovata* und *Juncus bulbosus*, die dann von *Carex rostrata*, *Carex limosa* und *Cladium mariscus* abgelöst wurden (BERTSCH & BERTSCH 1938). Heute ist er flächendeckend mit *Molinia caerulea* bedeckt (Abb. 31, Nr. 7).

Seine Entstehung diskutieren BERTSCH & BERTSCH (1938) und ILSCHNER (1959) auf sehr unterschiedliche Weise. Erstere vermuteten, daß es sich um einen Kolk handelt, der sich durch mangelnden Wasserabfluß in einer Mulde der zentralen Verebnung bilden konnte. ILSCHNER nahm dagegen an, daß der See durch gespanntes, eventuell sogar mineralisch beeinflusstes Wasser aus tieferen Torfschichten gespeist wurde. Diese Vermutung scheint derzeit die wahrscheinlichere zu sein: *Cladium mariscus* deutet auf den Einfluß kalkoligotrophen Wassers hin und meidet Hochmoore, im Gegensatz zu anderen Mineralbodenwasserzeigern, die hin und wieder in den besser nährstoffversorgten Schlenken auftreten können. Der ehemalige Torfwerkbesitzer erlebte mehrfach das Anschneiden artesisch gespannten Wassers im Zuge des Torfabbaues, was sich auch durch Grundwasserpegel von BLASY & MADER (1994) bestätigte. Außerdem stellte GÖTTLICH (1968) in einem Schnitt durch das Wurzacher Ried im Bereich des Schwindelsees 1 m mächtige Seggentor-

fe und darunter bis zu 3 m mächtige Torfmuddeschichten auf, die unter Teilen des Sees auf Kalkmudde sitzen.

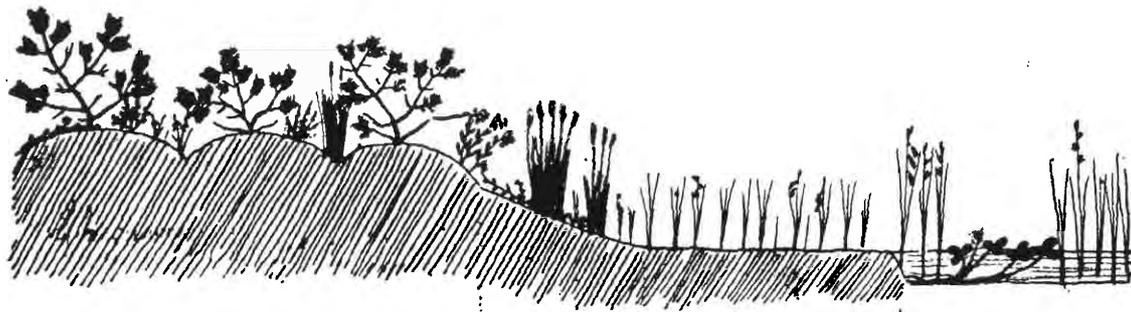
Durch den Torfabbau wurden, wie beschrieben, 5 Hochmoorschilde zerstört. V.a. im Bereich des früheren Unterriedes, des Unterschwarzacher Riedes und z.T. auch des Kleinen Alberser Riedes sind dadurch wieder Standorte entstanden, die durch mineralisches Grund- und Oberflächenwasser ganzjährig vernäßt sind. Dort ist eine rasche Vegetationsentwicklung, die z.T. wieder in Richtung Hochmoor tendiert, feststellbar. Unter oligotroph-sauren Bedingungen sind Schnabelseggenriede mit *Sphagnum squarrosum* oder *S. recurvum* typisch. Auf Hochmoorbunkerde oder nach der Verringerung der pH-Werte und der Nährstoffgehalte durch die genannten Torfmoosarten können sich auch Hochmoorsphagnen ansiedeln (zur näheren Beschreibung der Vegetationsentwicklung in Torfstichen vgl. S. 48 bzw. POSCHLOD 1990, GREMER & POSCHLOD 1991, SCHUCKERT 1992, THAM & SCHUCKERT 1997). LÜTH (1989a) ordnet die Initialstadien in oligotroph - sauren Torfstichen dem Caricetum rostratae Rübél 12 zu.

Im Oberried und im Haidgauer Torfstichgebiet sind demgegenüber große Flächen verblieben, die entwässert, aber nicht oder nur zum Teil abgetorft wurden. Dort dehnen sich Zwergstrauchheiden aus, in denen die typischen Hochmoortorfmoosarten zumindest reliktiert noch vorhanden sein können (vgl. S. 48). Charakterisiert werden sie von Zwergsträuchern, insbesondere von *Calluna vulgaris* und *Vaccinium uliginosum* sowie von *Molinia caerulea*. LÜTH (1989a) ordnet diese Stadien nicht in das pflanzensoziologische System ein.

2.2.4 Zwischenmoorvegetation

Zwischenmoore entstehen dort, wo eine weitere Expansion der Hochmoortorfmoose durch mineralisch beeinflusstes Grundwasser verhindert oder zumindest gebremst wird und charakterisieren damit das Randlagg (S. 20) zwischen Hoch- und Niedermoor. Es stellt sich im Wurzacher Ried zunächst als eine Zone von Hochmoorschlenken dar, die hauptsächlich von abfließendem Hochmoorwasser gespeist werden und heute noch am Nordrand des westlichen Haidgauer Riedes unterhalb Iggenau und am Nordrand des großen Alberser Schildes erhalten geblieben sind (LÜTH 1989a). Vermutlich ist in der Spezial Mappa aus dem 18. Jahrhundert mit einem bultartigen Symbol und wenigen Einzelbäumen dieser Typ gemeint. Sie weist ihn entlang des gesamten Ostrandes des Haidgauer Schildes und des Westrandes des Großen Alberser Riedes aus. BERTSCH & BERTSCH (1938) kartieren ihn z.T. als nasses und wüchsiges Wollgras-Hochmoor mit *Carex pauciflora*, z.T. als Hochmoorschlenken mit *S. cuspidatum* am Nord- und Südrand des Großen Alberser Riedes sowie am Nord- und Nordostrand des Haidgauer Riedes.

Zwischenmoore waren gemäß der Torfprofile von GÖTTLICH (1968) und KELLERMANN (1990) seit Jahrtausenden großflächig unterhalb Willis und Albers angesiedelt. Dort mischte sich das vermutlich flächig aus Hangquellen austretende kalkoligotrophe Wasser mit dem Hochmoorwasser. Die Hochmoortorfmoose wurden außerdem entlang der beiden Hauptfließgewässer Dietmannser und Haidgauer Ach durch großflächige Überschwemmungen zurückgedrängt, weshalb auch in deren Einflußbereich die Zwischenmoorvegetation verbreitet war (Abb. 12).



Sphagnum spec., *Pinus mugo*,
Vaccinium uliginosum, *V. oxy-*
coccus, *Calluna vulgaris*, *Carex*
pauciflora, *Melampyrum palu-*
dosum, *Eriophorum vaginatum*

Eriophorum
vaginatum,
Vaccinium
oxycoccus,
Rhynchospora
alba

Scheuchzeria
palustris,
Carex
limosa

offener Torfschlamm
Menyanthes trifoliata,
Carex lasiocarpa, *Carex*
gracilis, *Carex vesicaria*

Abb. 12: Idealisierter Schnitt durch den Übergangsbereich vom Hoch- zum Zwischenmoor im Wurzacher Ried (BERTSCH 1912)

Typische Vegetation ist das Fadenseggenried, das von LÜTH (1989a) dem *Caricetum lasiocarpae* W. Koch 26 zugeordnet wurde und das als Braunmoosseggenried wie auch als Torfmoosseggenried mit *Sphagnum subsecundum* und *S. contortum* ausgebildet sein kann.

Besonders bedeutsam sind im Zwischenmoor Schlenkengesellschaften mit *Carex limosa*, *Carex chordorrhiza*, *Scheuchzeria palustris*, *Rhynchospora alba* und *Menyanthes trifoliata*, die von LÜTH (1989a) als rangfreie Gesellschaften des *Rhynchosporion albae* W. Koch 26 behandelt wurden. Die dort herrschenden, ganzjährig nassen, oligotrophen Standortbedingungen ähneln sehr stark denen heutiger nordischer Hochmoore. Neben der Wasserbilanz und dem Nährstoffhaushalt ist auch die klimatische Situation vergleichbar, da im Wurzacher Becken die Häufigkeit von Nacht- und Spätfrösten durch Kaltluftabflüsse von den Hängen erhöht ist. Die Zwischenmoorschlenken stellen daher den bedeutsamsten Lebensraum im Wurzacher Ried für Glazialrelikte (vgl. auch BERTSCH & BERTSCH 1938) dar.

Während die Zwischenmoorvegetation entlang der Fließgewässer von Reichmoorstadien abgelöst wurde, ist im Williser und Alberser Zwischenmoor eine zunehmende Entwicklung Richtung Hochmoor festzustellen: Torfschlammshlenken trocknen im Sommer aus, werden zunehmend von sich ausbreitenden *Sphagnum papillosum*-Rasen überwachsen und schließlich können aufgrund der abgesenkten pH-Werte in die zentralen Rasen Bulttorfmoose wie *S. magellanicum* oder *S. capillifolium* einwandern, die den Beginn einer kleinflächigen Hochmoorentwicklung signalisieren. Das Einwandern von Hochmoortorfmoosen in das Alberser Zwischenmoor wurde bereits von ILSCHNER (1954) beschrieben. Die für Torfschlamm charakteristische Art *Lycopodiella inundata* ist gemäß der Kartierung von LÜTH (1989a) seit der Aufnahme von BERTSCH & BERTSCH (1938), ebenso wie zahlreiche Glazialrelikte (*Carex capitata*, *C. heleonastes*, *Hammarbya paludo-*

sa, *Minuartia stricta*, *Saxifraga hirculus*), trotz genauer Fundortkenntnis verschwunden, wassergefüllte Schlenken sind kaum zu finden und rote Bulttorfmoose haben sich ein erheblich größeres Gebiet erobert als dies in der Karte von ILSCHNER (1954) dargestellt ist.

2.2.5 Zusammenfassende Charakterisierung des Wurzacher Riedes

2.2.5.1 Zustand und Veränderungen der Hochmoore

Zustand und Veränderungen der Hochmoore im Wurzacher Ried lassen sich folgendermaßen charakterisieren:

Die Vegetation der verbliebenen Hochmoorkerne im Wurzacher Ried mit dichtrasigen Moosen wie *Polytrichum strictum*, *S. fuscum*, *S. capillifolium* auf ausgedehnten Flächen der Schilde (vgl. S. 10), einer relativ hohen Dichte von *Calluna vulgaris*-Altbeständen sowie der Verdichtung und z.T. Ausbreitung der Kiefer bis in zentrale Bereiche (vgl. S. 15, 16, 26) sind ein Indiz dafür, daß sie, begründet durch eine Verschlechterung der Wasserbilanz, als sogenannte Stillstandskomplexe anzusprechen sind, die nur noch geringe Torfzuwachsrate aufweisen (OSVALD 1923, KELLERMANN 1991, KAULE 1974). Weitere Anzeichen für einen veränderten Wasserhaushalt sind der Rückgang von Schlenken und das heutige Fehlen einer permanenten Wasserführung (vgl. S. 10, 26), die lange Dauer von „Mulchphasen“ (vgl. S. 10) sowie das Auftreten von Wasserständen, die für Hochmoore außergewöhnlich niedrig sind. Neben klimatischen Veränderungen wie sie auf der S. 19 dargestellt wurden, kommen auch im Wurzacher Ried folgende anthropogen bedingte Ursachen in Betracht:

- direkte anthropogene Einflüsse: Die wohl größte Störung des Hochmoorwachstums geht von dem Abbau und damit der Zerstörung der höchstgelegenen Bereiche des Hochmoorschildes im Haidgauer Torfstichgebiet aus. Dies wirkt sich auf den Zu- und Abfluß von Wasser aus: Die Hochmoorweite am Nordrand hat dadurch einen wesentlichen Teil ihres oberflächlichen Wassereinzugsgebietes verloren. Vergleichbares gilt für das Große Alberser Ried, welches zu etwa einem Drittel abgetorft worden ist. Die Ausrichtung des Grabens 11 (Abb. 2, S. 7) läßt vermuten, daß er eigens zur Entwässerung des Schlenkenzuges so angelegt wurde und auch als solche wirkt. Auch die B 465, die den Hochmoorschild quert, greift durch die entwässernde Wirkung des jetzt durch das Ried geleiteten Wengener Mühlbach stark in die Hydrologie des Moores ein.
- externe Faktoren: Die anthropogen bedingten Nitrateinträge aus der Luft sind mit 49 kg/ha und a im Vergleich zu früher (1938 7 kg/ha und a in den Niederlanden, LEEFLANG 1938 in BÖCKER 1997) für das Wurzacher Ried (BÖCKER 1997) sehr hoch und könnten insbesondere das Wachstum von *Calluna vulgaris* und *Pinus mugo* fördern.

Aus den gebietsspezifischen Befunden und den Vergleichen mit anderen Hochmooren ähnlicher Klimazonen läßt sich ableiten, daß das Wurzacher Ried ehemals dem in Abb. 8, S. 26, Ziffer 1 dargestellten Hochmoortyp ähnlich war. Die ausgedehnte Schlenkenzone mit offenen Wasserflächen an der breitesten Stelle des Schildes läßt sich in Ansätzen aus der Abb. 31, S. 100, rekonstruieren, indem man die nassesten Stadien, nämlich die mit Ziffer 2 gekennzeichneten heutigen Schlenkenbereiche und das wenig verheidete Hochmoor miteinander verbindet. Der nach Nordosten verlaufende, von roten Torfmoosen gekennzeichnete Streifen wäre dann als Rülle, d.h. als eine Abfluß-

rinne zu deuten, die sich möglicherweise durch den Bau der Bundesstraße gebildet oder zumindest verstärkt hat.

Durch die Wiedervernässungsmaßnahmen im Haidgauer Torfstichgebiet wurde versucht, die gravierenden Eingriffe durch den Torfabbau bestmöglich zu reduzieren. Dadurch sind die Bedingungen für Hochmoortorfmoose, die vor allem im östlichen Teil noch auf allen Rücken vorkommen, und für andere torfbildende Vegetation in den mineralisch beeinflussten Torfstichen erheblich verbessert worden. Der Vitalitätsschub bei den Hochmoortorfmoosen ist deutlich erkennbar (vgl. S. 51). Mit der umfangreichen Wiedervernässung des Haidgauer Torfstichgebietes dürfte somit ein wesentlicher Schritt getan worden sein, um das verbliebene westliche Haidgauer Ried hydrologisch zu stabilisieren. Inwieweit das ausreicht, um eine erneute Ausdehnung der wassergefüllten Schlenken und einen Rückzug der Spirken zu initiieren, können erst künftige Erfolgskontrollen beantworten. Eine Veränderung der zunehmenden Bewaldungstendenz des östlichen Haidgauer Riedes und des Großen Alberser Riedes ist zumindest durch die Stabilisierung der Wasserstände im Randlagg zu erhoffen.

2.2.5.2 Zustand und Veränderungen der Zwischenmoore

Zustand und Veränderungen der Zwischenmoore im Wurzacher Ried stellen sich wie folgt dar:

Zwischenmoorstandorte sind ähnlich wie die Hochmoore im Verlauf der letzten hundertfünfzig Jahre rapide zurückgegangen, was in diesem Fall weniger durch direkte Eingriffe, wie den Torfabbau, vielmehr aber durch veränderte Einflüsse von außen verursacht ist. Entweder wurde der Zufluß an kalkoligotrophem Wasser unterbunden und/oder das Wasser ist eutrophiert. Während hohe Nährstoffeinträge bereits deutlich an der Vegetation, beispielsweise entlang der Achen, anhand des völligen Verlustes der Zwischenmoorvegetation zugunsten mastiger Schilfbestände und Hochstaudenfluren ablesbar ist, wirkt sich der veränderte Zufluß kalkoligotrophen Wassers langsamer aus. Erst heute wird die sukzessive Entwicklung Richtung Hochmoor durch das Aussterben charakteristischer Zwischenmoorarten spürbar⁹, die bisher noch, mit allerdings abnehmenden Deckungsgraden in den Flächen vorkamen. Neben dem Einwandern von Bulttorfmoosen (vgl. auch BELLAMY & RIELEY in MOORE & BELLAMY 1974, S. 13) sind diese Veränderungen in besonderem Maße am Rückgang von Torfschlammschlenken zu erkennen, welche die bedeutsamsten Refugien gefährdeter Glazialrelikte darstellen. Auch das Fehlen einer Fließgewässerdynamik dürfte hier eine Rolle spielen. Es ist abschließend festzustellen, daß sich kein Zwischenmoor im Wurzacher Ried mehr in einem auch nur annähernd intakten Zustand befindet.

Im Bereich des Williser Zwischenmoores wurde 1997 der Überstau mit kalkoligotrophem Wasser wiederhergestellt, was eine Umkehrung des bestehenden Trends ermöglichen dürfte. Ein Wiederherstellen der ursprünglichen Dynamik von Fließgewässern in anderen Gebieten des Wurzacher Riedes ist darüberhinaus wegen deren ungebrochen hoher Nährstoffbelastung schon an der Quelle nicht sinnvoll. Insbesondere das Alberser Zwischenmoor wird sich daher aller Voraussicht nach weiter

⁹ Möglicherweise hat auch das sporadisch durchgeführte Moosrechen (S. 29) die beginnende Hochmoorentwicklung verzögert.

unter Verlust eine Vielzahl von landesweit gefährdeten Tier- und Pflanzenarten (vgl. Teil Fauna in BÖCKER 1997) in Richtung Hochmoor entwickeln.

2.2.5.3 Gliederung der Hoch- und Zwischenmoorvegetation

Die Vegetation der Hoch- und Zwischenmoore des Wurzacher Riedes läßt sich entsprechend der bisherigen Ausführungen anhand folgender Arten (Tab. 3) differenzieren:

Die Reihe kalkoligotrophe Kopfbinsen-, Braunmoos-, Torfmoosseggenriede und Hochmoor stellt eine räumliche wie genetische Abfolge dar, in der sich die differenzierenden Artengruppen ablösen: Die Differentialarten d1, d2, d3 und d4 (Verschiedene Seggen- und Braunmoosarten, *Sphagnum contortum* u.a.) kommen noch in kalkoligotrophen Stadien, die in der Tabelle nicht mehr dargestellt sind, vor. D6 (*Carex limosa*, *Rhynchospora alba*) und vor allem Torfmoose der Gruppe d5 (*S. warnstorffii*, *S. subsecundum*, *S. palustre*) sowie *Carex chordorrhiza* treten dagegen erstmals in **Braunmoosseggenrieden** auf. Die Arten der Gruppe d1 fehlen in **Torfmoosseggenrieden**. Im Gegenzug siedeln sich weitere Torfmoose wie *S. papillosum* und *S. recurvum* (d 7, d8) an, die Wegbereiter der charakteristischen rotgefärbten Hochmoorarten (z.B. *S. magellanicum*, *S. capillifolium* etc., d10) sind, sofern nicht der Zufluß kalkhaltigen Wassers Torfmoose hemmt. Die Zwischenmoorstadien (ökologischer Moortyp) des Wurzacher Riedes können damit auch ein Übergangsmoor (genetischer Moortyp) darstellen. Im fortgeschrittenen Stadium, in der Tab. 3 als **Pseudohochmoor** (vgl. S. 16) bezeichnet, wird es dann zwar hauptsächlich durch die Hochmoorarten d10 charakterisiert, typisch sind neben *S. papillosum* und *S. recurvum* aber auch noch sogenannte Mineralbodenwasserzeiger (DU RIETZ 1954, vgl. S. 16) der Gruppe d3 und d4 (*Menyanthes trifoliata* oder *Eriophorum angustifolium*). **Hochmoorschlenken** ohne Mineralbodenwasserzeiger sind, wie oben beschrieben, im Wurzacher Ried nicht sehr häufig. Neben den auch im Zwischenmoor typischen Arten der Gruppe d6 (*Rhynchospora alba*, *Carex limosa*) ist hier die flutende Torfmoosart *S. cuspidatum* verbreitet. Die **Stillstandskomplexe** des Wurzacher Riedes werden charakterisiert durch die bereits mehrfach genannte Artengruppe d10 in wechselnden Deckungsgraden, z.T. auch durch die Kiefer (d12). In den unbewaldeten Teilen dominiert auf Bulten *S. fuscum* (d11), z.T. aber auch *Polytrichum strictum*. In den **degradierten, entwässerten Hochmoorzonen** treten die typischen Hochmoorarten (d10) mehr oder weniger stark hinter die Zwergstraucharten (d13) zurück.

Tab. 3: Differentielltabelle der Hoch- und Zwischenmoorvegetation im Wurzacher Ried

B: Braunmoosseggenried, T: Torfmoosseggenried, HM-MZ: Hochmoor mit Mineralbodenwasserzeiger, HMS: Hochmoorschlenken, SK: Stillstandskomplex, Bergkiefern-Hochmoor, S: Stillstandskomplex ohne Kiefer, Z: Zwergstrauchheiden

		Zwischenmoor		Pseudo-Hochmoor	Hochmoor			degradiertes Hochmoor
		B	T	HM-MZ	HMS	SK	S	Z
d1	<i>Utricularia intermedia</i> <i>Carex panicea</i> <i>Sphagnum contortum</i> <i>Campylium stellatum</i> <i>Calliergonella cuspidata</i> <i>Drepanocladus vernicosus</i> <i>Scorpidium scorpioides</i>	x						
d2	<i>Trichophorum alpinum</i> <i>Carex elata</i> <i>Carex lasiocarpa</i>	x	x					
d3	<i>Menyanthes trifoliata</i> <i>Eriophorum angustifolium</i>	x	x	x				
d4	<i>Molinia caerulea</i>	x	x	x				x
d5	(<i>Carex chordorrhiza</i>) <i>Sphagnum palustre</i> <i>Sphagnum subsecundum</i> <i>Sphagnum warnstorffii</i>	x	x					
d6	<i>Carex limosa</i> <i>Rhynchospora alba</i>	x	x		x			
d7	<i>Sphagnum papillosum</i>		x	x				
d8	<i>Sphagnum recurvum</i>		x	x	x			
d9	<i>Sphagnum cuspidatum</i>				x			
d10	<i>Calluna vulgaris</i> <i>Eriophorum vaginatum</i> <i>Sphagnum capillifolium</i> <i>Sphagnum magellanicum</i> <i>Polytrichum stricum</i>		x	x		x	x	(x)
d11	<i>Sphagnum fuscum</i>						x	
d12	<i>Pinus mugo</i>					x		
d13	<i>Vaccinium myrtillus</i> <i>Vaccinium uliginosum</i> <i>Vaccinium vitis-idaea</i> (<i>Deschampsia flexuosa</i>) <i>Pleurozium schreberi</i>							x

2.3 Auswahl von Indikatoren

Das Leistungsprofil eines Monitorings, welches als Bewertungsmaßstab für den Methodentest dient, läßt sich anhand von Szenarien der weiteren, potentiell möglichen Vegetationsentwicklung eingrenzen. Diese können aus dem Vergleich der Verhältnisse und Entwicklungen in anderen gestörten und ungestörten Hoch- und Zwischenmooren (vgl. Kap. 2.1) mit der Geschichte und dem Zustand im Wurzacher Ried in Abhängigkeit von den durchgeführten Wiedervernässungsmaßnahmen (vgl. Kap. 2.2) abgeleitet werden. Sicher erfassen sie nicht alle Möglichkeiten. Sie sind jedoch anhand der heutigen Kenntnisse über Moore und speziell über das Wurzacher Ried insoweit abgesichert, daß sie unter den derzeitigen Voraussetzungen als die wahrscheinlichsten bezeichnet werden können und aller Voraussicht nach auch Entwicklungen mit einschließen, die bei ungewöhnlichen Ereignissen zu erwarten sind wie klimatische Extrema, Massenvermehrungen von Insekten (z.B. Borkenkäfern), Moorbrände etc. Zu einer ähnlichen Indikatorenauswahl kommen ROWELL (1988) und LINDSAY & ROSS (1994) für Erfolgskontrollen in britischen Mooren.

Es hat sich gezeigt (Kap. 2.2.5), daß die Veränderungen in der Vegetation sowohl im gestörten Hochmoor als auch im Zwischenmoor im wesentlichen anthropogen induziert sein dürften. Deren Umkehrung ist daher im Zuge von Initialmaßnahmen als positiv im Sinne der im Wurzacher Ried verfolgten Ziele zu werten (Erfolgskontrolle). Die Abgrenzung des ungestörten Hochmoores, in dem die natürliche Sukzession im Sinne eines Monitorings beobachtet werden soll, ist heute dagegen noch nicht möglich, da der Einflußbereich der bestehenden direkten anthropogenen Störungen, insbesondere der B 465 und des parallel geführten Wengener Mühlbaches sowie des Haidgauer Torfstichgebietes nicht abgegrenzt werden kann (vgl. S. 36).

Die in Tab. 4 aufgezeigten Entwicklungen äußern sich in Veränderungen der Vegetationsdecke und sind an einzelnen Elementen deutlich erkennbar (Kap. 2.2.5). Auf deren Beobachtung muß im Rahmen eines Monitorings besonderer Wert gelegt werden. Da sie in Abhängigkeit von veränderten Standortbedingungen die Reaktion des Gesamtsystems integrieren, sind sie gemäß SCHUBERT (1985) als Bioindikatoren¹⁰ bzw. nach BICK (1982) als Zeigerorganismen für bestimmte Standortbedingungen und Biotopqualitäten aufzufassen. Soll, wie im Wurzacher Ried, der Kosten- und Betreuungsaufwand eines Monitorings minimiert werden (S. 3), so ist es sinnvoll, sich auf die Beobachtung dieser Indikatoren zu beschränken. Ihrer Auswahl kommt dann eine besonders bedeutsame Rolle bei der Methodenfestlegung zu.

In Tab. 5 sind die Indikatoren im Wurzacher Ried zusammengestellt, welche die in Tab. 4 aufgelisteten Szenarien charakterisieren. Für die Auswahl war entscheidend, daß sie im Sinne der Reproduzierbarkeit und Nachvollziehbarkeit einer Kartierung häufig und stetig in den zu differenzierenden Bereichen auftreten sowie spezifisch für bestimmte Stadien oder Standortbedingungen sind. Es handelt sich dabei einerseits um Differentialarten (Tab. 3) und andererseits um Schlenken, also Strukturelemente, die sowohl im Hoch- als auch im Zwischenmoor Veränderungen in den Standortbedingungen sehr deutlich widerspiegeln.

¹⁰ Nach SCHUBERT (1985) sind Bioindikatoren Organismen oder Organismengemeinschaften, deren Lebensfunktionen sich mit bestimmten Umweltfaktoren so eng korrelieren lassen, daß sie als Zeiger dafür verwendet werden können (vgl. auch ARNDT & al. 1987).

Tab. 4: Szenarien für die künftige Vegetationsentwicklung der Hoch- und Zwischenmoore im Wurzacher Ried (- Einstufung nach heutigen Kenntnissen nicht möglich)

		Entwicklung erwünscht	
		ja	nein
Hochmoor nahezu ungestört			
1.	Status quo bleibt erhalten: Verteilung und Anteile der Vegetationsstadien ändern sich nicht	-	-
2.	Fortsetzung der Entwicklung der letzten Jahrzehnte: Merkmale eines Stillstandskomplexes verstärken sich	-	-
3.	Umkehrung der Entwicklung der vergangenen Jahrzehnte Merkmale eines Stillstandskomplexes schwächen sich ab, Übergang in Regenerationskomplex im Bereich eingestauter Gräben	- •	-
Hochmoor gestört			
4.	Status quo bleibt erhalten Verteilung und Anteile der Vegetationsstadien ändern sich nicht		•
5.	Folgen der Entwässerung verstärken sich Abnahme der Hochmoormerkmale, Heidecharakter verstärkt sich, Laubholzbewaldung nimmt zu		•
6.	Folgen der Entwässerung schwächen sich ab zunehmender Hochmoor-, abnehmender Heidecharakter, Laubholzbewaldung nimmt ab	•	
Zwischenmoor			
7.	Status quo bleibt erhalten hoher Anteil von Sauer-Zwischenmoor-Flächen mit Tendenz zum Hochmoor		•
8.	Fortsetzung der Entwicklung der letzten Jahrzehnte:		•
8a.	Basen-Zwischenmoor geht über in Sauer-Zwischenmoor, Sauer-Zwischenmoor entwickelt sich in Richtung Hochmoor		•
8b.	Zwischenmoorstadien eutrophieren und gehen in Reichmoorstadien über		•
9.	wieder einsetzende Zufuhr kalkoligotrophen Wassers kehrt bestehenden Trend um Hochmooranflug im Sauer-Zwischenmoor vermindert sich oder verschwindet, Basen-Zwischenmoor breitet sich wieder aus	•	

Tab. 5: Indikatoren im Hoch- und Zwischenmoor

Stadien: **Hochmoor:** **HM:** Hochmoor, **HS:** Hochmoorschlenken, **ZT** Zwergstrauchheide mit höherer Torfmoos deckung, **Zt** mit niedrigerer Torfmoosdeckung, **Z** ohne Torfmoose

Zwischenmoor: **SZ:** Sauer-Zwischenmoor, **BZ:** Basen-Zwischenmoor

ungünstigere Wasserbilanz: Verdunstung und/oder Abfluß steigen und/oder Niederschläge nehmen ab

günstigere Wasserbilanz: Verdunstung und/oder Abfluß sinkt und/oder Niederschläge nehmen zu

● häufig bis verbreitet, ⊙ zerstreut bis selten, ○ fehlend, ↑ Zunahme, ↓ Abnahme

Art/Artengruppe/ Strukturelement	in Stadium derzeit	Indikator für
<i>Sphagnum magellanicum</i> <i>Sphagnum capillifolium</i>	HM ●, HS ⊙	<ul style="list-style-type: none"> • ↑ zugleich ↓ HS: ungünstigere Wasserbilanz • ↓ zugleich ↑ HS: günstigere Wasserbilanz • generelle ↓ aller Torfmoose Hochmoorerstörung
	ZT ●, Zt ⊙	<ul style="list-style-type: none"> • ↑ Wiedervernässungsmaßnahmen erfolgreich
	Z ○	<ul style="list-style-type: none"> • ↑ Wiedervernässungsmaßnahmen erfolgreich
	SZ ⊙, BZ ○	<ul style="list-style-type: none"> • ↑ Versauerung, Nährstoffverarmung durch Hochmoorentwicklung unter Abnahme von Zwischenmoorarten • ↓ Maßnahmen zur Wiederherstellung des kalkoligotrophen Einflusses erfolgreich
<i>Sphagnum papillosum</i>	HM ⊙, HS ●	<ul style="list-style-type: none"> • ↑ günstigere Wasserbilanz • ↓ ungünstigere Wasserbilanz
	SZ ●, BZ ⊙	<ul style="list-style-type: none"> • ↑ Versauerung, Nährstoffverarmung • ↓ aller Torfmoose, zugleich ↓ Wasserschenken Entwässerungseinfluß • ↓, zugleich ↑ Wasserschenken Maßnahmen zur Wiederherstellung des kalkoligotrophen Einflusses erfolgreich
Wasser- bzw. Torfschlamm-schlenken	HS ⊙	<ul style="list-style-type: none"> • ↑ günstigere Wasserbilanz
	SZ, BZ ⊙	<ul style="list-style-type: none"> • ↑, zugleich ↓ aller Torfmoose: Maßnahmen zur Wiederherstellung des kalkoligotrophen Einflusses bzw. der Fließgewässerdynamik erfolgreich • ↓ weiterer Verlust von Glazialrelikten wahrscheinlich
<i>Vaccinium uliginosum</i>	HM ○	<ul style="list-style-type: none"> • ↑ Entwässerung, gleichzeitig ↓ Torfmoose Hochmoorerstörung
	ZT, Zt, Z ●	<ul style="list-style-type: none"> • ↓ Wiedervernässungsmaßnahmen erfolgreich
<i>Molinia caerulea</i>	HM ○	<ul style="list-style-type: none"> • ↑ Entwässerung, gleichzeitig ↓ Torfmoose Hochmoorerstörung
	Z ⊙	<ul style="list-style-type: none"> • ↓ Wiedervernässungsmaßnahmen erfolgreich • ↑ Entwässerung, gleichzeitig ↓ Torfmoose Hochmoorerstörung
	SZ, BZ ●	<ul style="list-style-type: none"> • (ehemalige) Streuwiesennutzung
<i>Carex rostrata</i> ¹¹	SZ, BZ ⊙	<ul style="list-style-type: none"> • Mineralbodenwassereinfluß
<i>Phragmites australis</i> ¹¹	SZ, BZ ⊙	<ul style="list-style-type: none"> • ↑ Eutrophierung
Baum-/Strauchschicht		
<i>Pinus mugo</i> (Kuschel)	HM ●	<ul style="list-style-type: none"> • ↑ zugleich ↓ HS: ungünstigere Wasserbilanz
<i>Pinus mugo</i> (baumförmig)	HM ●	<ul style="list-style-type: none"> • ↑ zugleich ↓ HS: ungünstigere Wasserbilanz, ↑ Nährstoffeintrag (?)
	ZT, Zt, Z ●	<ul style="list-style-type: none"> • ↓ Wiedervernässungsmaßnahmen erfolgreich
Birken-/Weiden- /Faulbaumjungwuchs	Z ⊙	<ul style="list-style-type: none"> • ↓ Wiedervernässungsmaßnahmen erfolgreich
	SZ, BZ ⊙	<ul style="list-style-type: none"> • ↓ Wiedervernässungsmaßnahmen erfolgreich

¹¹ Besitzt ihr Schwerpunkt vorkommen im Niedermoor.

3 Methodentest

3.1 Einleitung

In Kap. 1.1, S. 2 wurden die generellen Anforderungen an ein vegetationskundliches Monitoring aufgezeigt. Um die Eignung einer Methode ermitteln zu können, sind jedoch für die einzelnen Grundsätze prüfbare Kriterien in Abhängigkeit von der gebietsspezifischen Aufgabenstellung festzulegen. Für das Wurzacher Ried heißt das im einzelnen:

1. Aussagegenauigkeit: Die in Kap. 2.3 ausgewählten Indikatoren müssen erfaßt werden können.
2. Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit: Es gibt hier keine gebietsspezifischen Anforderungen. Wie bei jeder vegetationskundlichen Dauerbeobachtung sollte eine Wiederholung der Vegetationskartierung unter annähernd übereinstimmenden Bedingungen (im Gelände Wiederholung in derselben Woche, bei Luftbildern auf der Basis desselben Materials), auch bei einem anderen Bearbeiter, zu möglichst identischen Ergebnissen führen.
3. Lagegenauigkeit: Je größer die Lagegenauigkeit ist, desto sicherer kann die Ausbreitung oder das Zurückweichen von Pflanzenarten erfaßt werden. Optimal wäre daher eine Abweichung von wenigen Zentimetern. Diese Genauigkeit kann derzeit nur mit geländegestützten Methoden, d.h. mit Hilfe fest markierter Dauerbeobachtungsflächen, gewährleistet werden. Bei Fernerkundungsverfahren schwankt sie demgegenüber in Abhängigkeit von der Bodenauflösung, der eingesetzten Technik bzw. dem betriebenen Aufwand insbesondere für ergänzende Geländearbeiten zwischen 5 cm und 15 m (vgl. Kap. 3.3.4.1). Daher ist es für ein Monitoring erforderlich, Schwellenwerte festzulegen, die im Hinblick auf die Aufgabenstellung noch verwertbare Aussagen zulassen. Aus den prognostizierten Veränderungen im Wurzacher Ried (vgl. Tab. 4) läßt sich dazu folgendes ableiten:
 - Hoch- und Zwischenmoorschlenken bzw. rote Torfmoosrasen im Zwischenmoor besitzen zwar nur eine geringe Größe von wenigen Quadratdezimetern bis -metern, die sich im Verlauf von Jahrzehnten nur im Dezimeter - Bereich verändert. Ihre Beobachtung ist aber im Rahmen des Monitorings sehr wichtig, da dieses kleinräumige Vordringen oder Zurückweichen nach heutigem Kenntnisstand Veränderungen in der Wasserbilanz des gesamten, hydrologisch zusammengehörigen Moorteiles (westliches Haidgauer Schild, Alberser Zwischenmoor), dem sie angehören, widerspiegelt. Darüberhinaus kann es sich auch auf den Gesamtartenbestand auswirken (Glazialrelikte, S. 35). Für eine derartig kleinräumige Beobachtung darf der methodenverursachte Lagefehler 10 cm bis 20 cm nicht überschreiten.
 - Im Rahmen des Monitorings sollen großräumige, gleichsinnige Veränderungen der *Pinus mugo* - oder *Vaccinium uliginosum* - Bestände, d.h. bezogen auf einen Hochmoorschild, oder das Haidgauer Torfstichgebiet beobachtet werden. Ein Lagefehler von 1 bis 2 m, evtl. auch bis 5 m, ist dafür durchaus zuzulassen.
 - Ungenauigkeiten von 5 m oder gar 10 m ermöglichen nur noch vage Aussagen hinsichtlich räumlicher Veränderungen in der Vegetation und sind daher im Wurzacher Ried und bei allen vergleichbaren vegetationskundlichen Dauerbeobachtungen nicht mehr tolerierbar.

4. **Betretungsintensität sowie Kostenaufwand:** In Anbetracht des Schutzzieles gilt der Reduzierung der Betretungsintensität im Wurzacher Ried besondere Aufmerksamkeit. Das ausgewählte Monitoringverfahren sollte sich im Hinblick auf die Kosten in einem realistischen Rahmen aufhalten.
5. **Langfristige Datenarchivierung und -verwertbarkeit:** Organisatorische Fragen wie Ort und Art der Datenaufbewahrung müssen sich nach den jeweiligen Möglichkeiten richten. Am günstigsten sind behördliche Archive, die aufgrund langjähriger Erfahrungen das Wiederauffinden von Daten und eine fachgerechte Lagerung von Luftbildern und papiergebundenen Informationen am besten gewährleisten. Im Wurzacher Ried ist darüberhinaus durch das Naturschutzzentrum Bad Wurzach eine personelle Kontinuität gewährleistet.

Die Archivierung digitaler Daten wirft demgegenüber größere Probleme auf, da bisher Magnetbänder und Disketten nur eine Haltbarkeit von wenigen Jahren garantierten. Durch Verwenden von CD, die nach Aussagen der Hersteller eine Haltbarkeit von 100 Jahren aufweisen, können Datenverluste durch Datenträgeralterung vermutlich vermieden werden. Die Weiterentwicklung der Software bringt es darüberhinaus aber mit sich, daß Dateien früherer Programmversionen nicht mehr richtig, nach fünf bis zehn Jahren oft gar nicht mehr gelesen werden können. Software und gegebenenfalls hardwarebedingt ist daher regelmäßig eine Aktualisierung der Daten durch Import in die neueste Programmversion und ein Abspeichern auf ein neues Medium erforderlich. Die Daten des Wurzacher Riedes werden in das ATKIS des Landes Baden-Württemberg, einer institutionalisierten Datenbank (GÖPFERT 1991), übernommen. Dadurch ist eine optimale Datenarchivierung aufgrund automatisierter Speicherroutinen und regelmäßiger Überführung des gesamten Datenbestandes in die aktuellen Programmversionen gewährleistet.

In den nachfolgenden Kapiteln wird beschrieben, wie die für ein vegetationskundliches Monitoring wichtigsten traditionellen Methoden und Fernerkundungsverfahren in den Hoch- und Zwischenmooren des Wurzacher Riedes getestet wurden und welche Vor- und Nachteile sich dabei in Bezug auf das oben aufgezeigte Anforderungsprofil ergeben haben.

3.2 Traditionelle Methoden

3.2.1 Kleintransekt im Haidgauer Hochmoorschild

3.2.1.1 Methodenauswahl

Im Wurzacher Ried wurde 1990 ein Kleintransekt von 2 m Länge und 0.5 m Breite in der Schlenkenregion des westlichen Haidgauer Schildes angelegt und 1993 (DEUSCHLE 1992, DEUSCHLE & POSCHLOD 1994) sowie 1994 (ULRICH 1996) erneut kartiert. Ziel war es, die räumliche Verteilung der Arten in einem Bult-Schlenkenkomplex und seine Veränderung in der Zeit zu dokumentieren. Die Kartierung erfolgte mit Hilfe eines 1 m² großen Metallrahmens, der durch Nylonschnüre in Quadrate von 10 cm Seitenlänge unterteilt war. Für jede dieser Kleinflächen wurden die Deckungsgrade der Arten nach einer von PFADENHAUER et al. (1986) und von MUHLE & POSCHLOD (1989) speziell für Kryptogamen erweiterten Skala geschätzt (Abb. 13) und mit Hilfe von Symbolen, die auf einem Vorschlag von PFADENHAUER & BUCHWALD (1987) basieren (zitiert in DEUSCHLE & POSCHLOD 1994), in eine graphische Darstellung umgesetzt. Das Oberflächenrelief wurde relativ anhand des Abstandes vom exakt horizontal ausgerichteten Metallrahmen eingemessen. Sperrholzplatten im direkten Umfeld dienten dazu, das Körpergewicht des Kartierers auf eine größere Fläche zu verteilen und so die Trittbelastung zu minimieren. Die Erstkartiererin war dem Bearbeiter der Wiederholungskartierung 1994 beim Auffinden der Untersuchungsfläche behilflich und wies ihn dabei in die Aufnahmemethode ein, so daß bearbeiterspezifische Unterschiede soweit wie möglich reduziert werden konnten.

3.2.1.2 Ergebnis und Diskussion

In Abb. 13 ist das Ergebnis der Kleintransektkartierungen für das Relief und ausgewählte Arten dargestellt.

Sowohl bei den Arten als auch beim Relief ist erkennbar, daß Schlenken zugunsten der Bulte abnehmen. Ausgelöst wird dies durch eine Ausbreitung von *S. magellanicum* unter Abnahme von *S. cuspidatum* und *S. papillosum* (nicht dargestellt). Ein vergleichbarer Trend ist auch bei den Gefäßpflanzen feststellbar: Während *Calluna vulgaris* (nicht dargestellt) sich etwas verdichtet hat, ist bei *Rhynchospora alba* eine leichte Abnahme zu verzeichnen. Im Gegensatz zu den Torfmoosen, bei denen sich die Veränderungen jahreszeitlich unabhängig weitgehend kontinuierlich fortsetzen, treten naturgemäß bei Gefäßpflanzen mit oberirdisch absterbenden Organen wie *Rhynchospora alba* starke phänologieabhängige Unterschiede in den Deckungsgraden auf.

Vernachlässigt man jahreszeitliche Schwankungen, so ist der Trend in der Vegetation gleichsinnig und läßt sich auf eine ungünstigere Wasserbilanz, möglicherweise verursacht durch erhöhte Abflusssraten zurückführen (S. 36). Die Differenz zwischen 1990 und 1993 ist allerdings geringer als zwischen 1993 und 1994. Der außergewöhnlich niederschlagsreiche Sommer 1993 hat möglicherweise bewirkt, daß die langfristige Entwicklung der Wasserbilanz durch ein befristet günstigeres Verhältnis der Niederschläge zur Verdunstung überlagert wurde.

3.2.1.3 Methodenbewertung

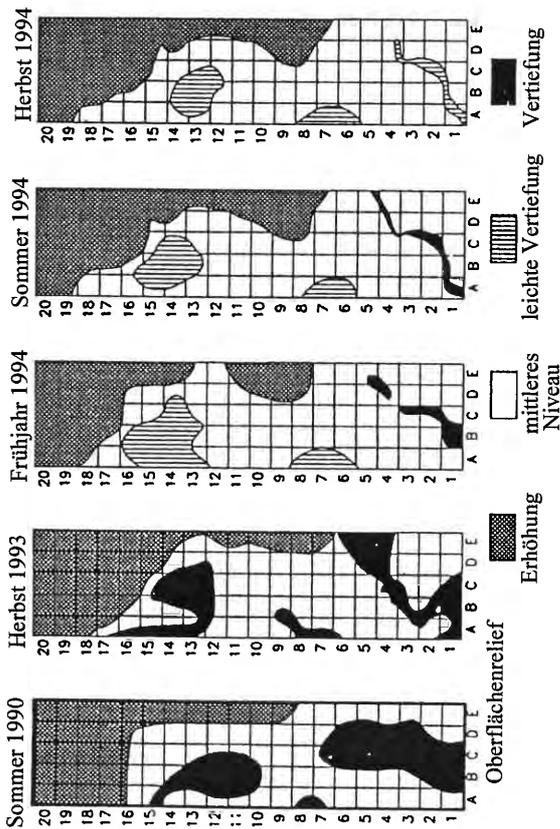
Diese Form der Kartierung ergibt sehr detaillierte und aufschlußreiche Ergebnisse bezüglich der Veränderungen in Kryptogamengesellschaften und ist daher sehr gut für Untersuchungen zur Kryptogamenökologie geeignet. Für das Monitoring im Wurzacher Ried wäre sie daher vom Prinzip her sehr gut für die Beobachtung der Schlenkenentwicklung geeignet. Aufgrund des sehr kleinen Ausschnittes - das Transekt deckt nur 1 m² der ca. 250.000 m² großen Schlenkenregion ab - ist eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die übrige Fläche ohne Zuhilfenahme ergänzender Untersuchungen allerdings nicht zulässig. Allein schon der vergleichsweise hohe Aufwand für die Kartierung steht der Verteilung einer Vielzahl von Kleintransekten, wie sie für eine aussagekräftige Dauerbeobachtung gemäß PFADENHAUER et al. (1986) und MUHLE & POSCHLOD (1989) erforderlich wäre, entgegen. Die bisher durchgeführte Form der Auswertung ist zudem nicht automatisierbar, die üblicherweise verwendeten Schätzskalen für die Deckungsgrade der Pflanzenarten verursachen bearbeiterspezifische Abweichungen.

Hinzukommen moorspezifische Probleme:

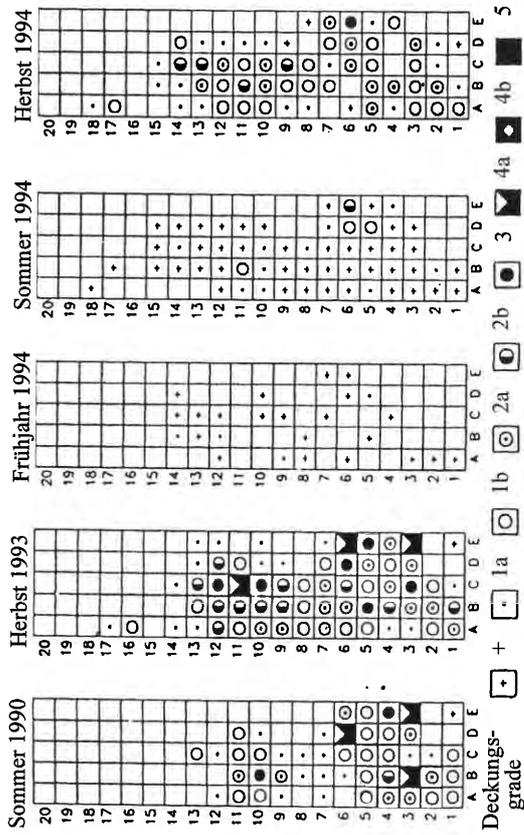
- Ohne einen im mineralischen Untergrund, d.h. aufgrund der hohen Torfmächtigkeit in mindestens 7 m Tiefe, gegründeten Pfahles, kann nicht die Veränderung der absoluten Höhe, sondern nur die des Oberflächenverlaufes verglichen werden.
- Die Trittbelastung läßt sich sicher auch mit Hilfe von Sperrholzplatten nicht vollständig ausschalten. Auswirkungen auf den Bult-Schlenkenkomplex, insbesondere auf den kleinräumigen Oberflächenabfluß sind nicht auszuschließen. Mit zunehmender Anzahl der Dauerbeobachtungsflächen wächst überdies die Trittbelastung im Zugangsbereich zum Hochmoorschild.
- Außerdem ist das Wiederauffinden von Dauerbeobachtungsflächen auf einer Fläche, die keine dauerhaften Orientierungspunkte bietet, selbst für denjenigen, welcher die Flächen eingerichtet hat, schon nach kurzer Zeit sehr schwierig, nach einigen Jahren fast aussichtslos. Das Überwachen von Markierungen ist sehr wahrscheinlich (vgl. dazu auch S. 54)

Während die Aussage- und Lagegenauigkeit dieser Form der Dauerbeobachtung auf die Aufnahme- fläche bezogen sehr hoch ist, bestehen folglich Unsicherheiten im Bezug auf die Gesamtfläche, da es sich nur um einen minimalen, von der Position her schwer auffindbaren Ausschnitt handelt.

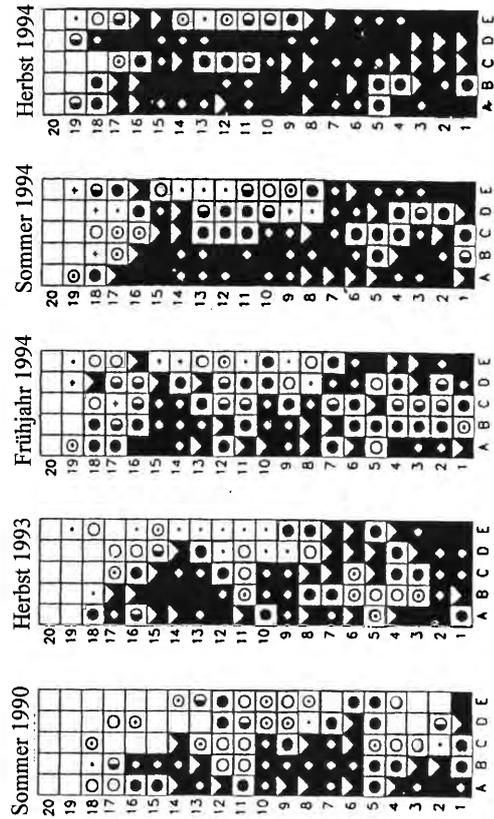
Relief



Rhynchospora alba



Sphagnum magellanicum



Sphagnum cuspidatum

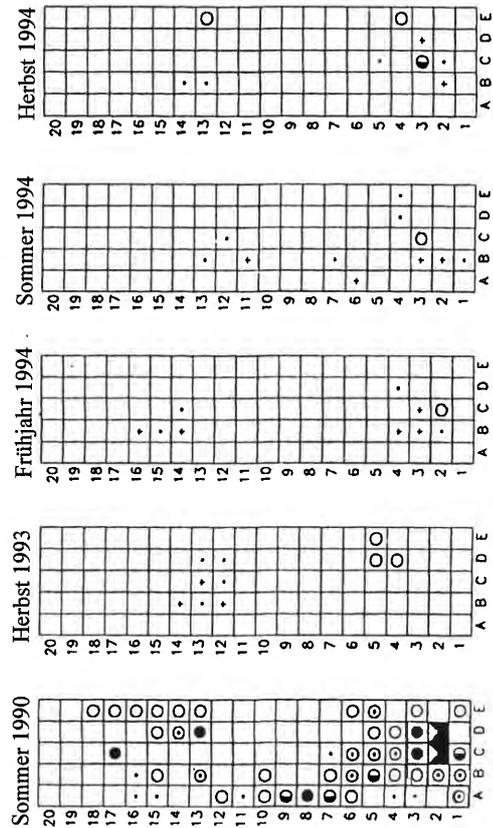


Abb. 13: Vergleich der Kleintransektkartierung in den Jahren 1991, 1993 und 1994 (DEUSCHLE & POSCHLOD 1994, ULRICH 1996)

3.2.2 Großtransekte im Haidgauer Torfstichgebiet

3.2.2.1 Ausgangssituation

Das Haidgauer Torfstichgebiet umfaßt mit einer Ausdehnung von 2 km Länge und 1,5 km Breite etwa ein Drittel des größten Hochmoorschildes im Wurzacher Ried. Der bis 1995 fortgesetzte industrielle Torfstich begann in den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts mit umfangreichen Entwässerungsmaßnahmen. Man legte dazu mehrere von Nordwest nach Südost verlaufende Hauptgräben an, die in einen parallel zur Haidgauer Aach verlaufenden künstlichen Vorfluter, den Torfwerkkanal, münden. Entlang der Hauptgräben fand der Torfabbau statt. Zur vollständigen Entwässerung des Torfkörpers wurden quer zu den Hauptgräben Schlitzgräben im Abstand von 15 m mit einer Tiefe von bis zu 1,5 m gezogen. Das gesamte Entwässerungssystem einschließlich des Torfwerkkanal wurde bis Ende 1996 soweit wie möglich rückgebaut.

Der Torfabbau hat wie in zahlreichen anderen Mooren (PODBIELKOWSKI 1969, GILLER & WHEELER 1986, PFADENHAUER & KINBERGER 1985, POSCHLOD 1988, SCHUCKERT et al. 1992) in Abhängigkeit von Abbaumethode, Abbautiefe und Qualität des Resttorfkörpers bzw. des verbliebenen Substrates verschiedenste Standorte, die je nach Beendigung des Torfabbaues unterschiedlich alt sind (Abb. 14), geschaffen: Ausschlaggebend für den Nährstoffhaushalt ist die Qualität der freigelegten Schichten. Es kann sich dabei um Nieder- oder Hochmoortorfe handeln, die sich in ihren physikalischen wie chemischen Eigenschaften sehr stark voneinander unterscheiden, aber auch um mineralische Ablagerungen, wenn der Torf vollständig abgebaut oder eine mineralische Einlagerung wie die Kalkmudde im Wurzacher Ried angeschnitten wurde. Ähnlich variabel zeigt sich auch der Wasserhaushalt: Während die verbliebenen, entwässerten Reste der ehemaligen Mooroberflächen („Rücken“) sehr tiefe Moorwasserstände aufweisen, die im Sommer unter 70 cm unter Flur sinken, sind Torfstiche häufig überflutet oder besitzen zumindest ganzjährig oberflächennahe Wasserstände. Die vielfältigen Kombinationen im Nährstoff- und Wasserhaushalt können außerdem noch vergrößert werden, wenn die Bunkerde, d.h. die beim Torfabbau als Abraum anfallende lebende Vegetationsdecke mit ihrem Durchwurzelungshorizont, nicht gänzlich entfernt, sondern in den Torfstich verbracht wird. Je nach ihrer Zusammensetzung kann sie die im Torfstich vorherrschenden Standortbedingungen verändern, z.B. kann ein mineralischer Einfluß durch Hochmoorbunkerde abschotten werden. Sie bildet darüberhinaus durch die enthaltenen Diasporen ein bedeutendes Potential für die Ansiedlung von Pflanzen (POSCHLOD 1990). Die Vielfalt der Standortbedingungen spiegelt sich in unterschiedlichen Vegetationsstadien (GREMER 1990, GREMER & POSCHLOD 1991) wider. Die Einstaumaßnahmen wirken sich in den Torfstichen durch Ansteigen des Wasserspiegels bis hin zu weiträumigen Überstauungen natürlich in erster Linie auf den Wasserhaushalt aus. Aber auch der Nährstoffhaushalt kann durch den vergrößerten Einflußbereich mineralisch geprägten Wassers beeinflusst werden, was großflächige Veränderungen in der Vegetationszusammensetzung nach sich ziehen kann.

Standortbedingungen in Torfstichen variieren in Abhängigkeit von den

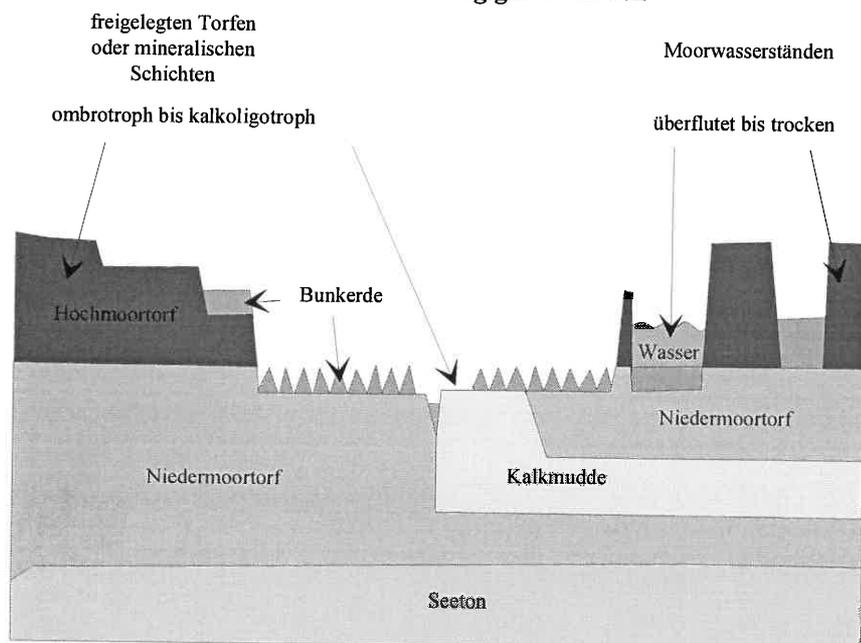


Abb. 14: Schematischer Schnitt durch einen Torfstich (nach GREMER 1990, verändert)

3.2.2.2 Methodenauswahl

Entsprechend PFADENHAUER et al. (1986) weisen Transekte sowohl hinsichtlich der Erfassung von Nutzungsgrenzen in anthropogen geprägten Vegetationskomplexen und der Trittbelastung als auch im Hinblick auf die Auswertungsmöglichkeiten

deutliche Vorteile gegenüber einer anderen Form und Verteilung von Dauerbeobachtungsflächen auf. Zu ähnlich guten Erfahrungen gelangten LINDSAY & ROSS (1994). Für die Erfolgskontrolle im Haidgauer Torfstichgebiet wurden daher drei Transekte in gleichmäßigem Abstand quer zu den 10 streng parallel ausgerichteten (Abb. 2, S. 7) Torfstichen angelegt. Ein viertes Transekt reicht in das „intakte“ Hochmoor, um Nullflächen mit geringerer Störung des Wasserhaushaltes zu erfassen.

Abb. 15 zeigt dies beispielhaft an der Dokumentation des Transektes 1: Zur besseren Orientierung wurde das Relief schematisch aufgetragen. Darunter ist der Transektverlauf mit der genauen Lage der Aufnahmeflächen sowie der Transektmarkierungen im Gelände dargestellt. Die Marksteine (Vermessungssteine mit Betonkopf und Stahlkern) weisen jeweils einen maximalen Abstand von 50 m zueinander auf, so daß der Verlauf des Transektes durch das Spannen eines handelsüblichen Maßbandes zwischen den Marksteinen im Gelände visualisiert werden kann. Dieses Verfahren erleichtert auch die Suche nach dem nächstfolgenden Markstein. Die eigentlichen, 2 m x 2 m großen Aufnahmeflächen befinden sich in der bildlich festgelegten Abfolge nördlich und südlich des Transektes, wo sie im Gelände mit Hilfe von handelsüblichen Meterstäben kenntlich gemacht werden. Die Schätzung der Deckungsgrade erfolgte nach SCHMIDT (1974). Um die Anzahl der Vegetationsaufnahmen zu reduzieren, wurde auf den relativ homogenen Rücken nur jedes vierte Feld aufgenommen. Aus Abb. 19 (Schema unterhalb des Reliefs) ist die Verteilung der vegetationskundlichen Dauerbeobachtungsflächen entlang der Transektgesamtlänge zu ersehen.

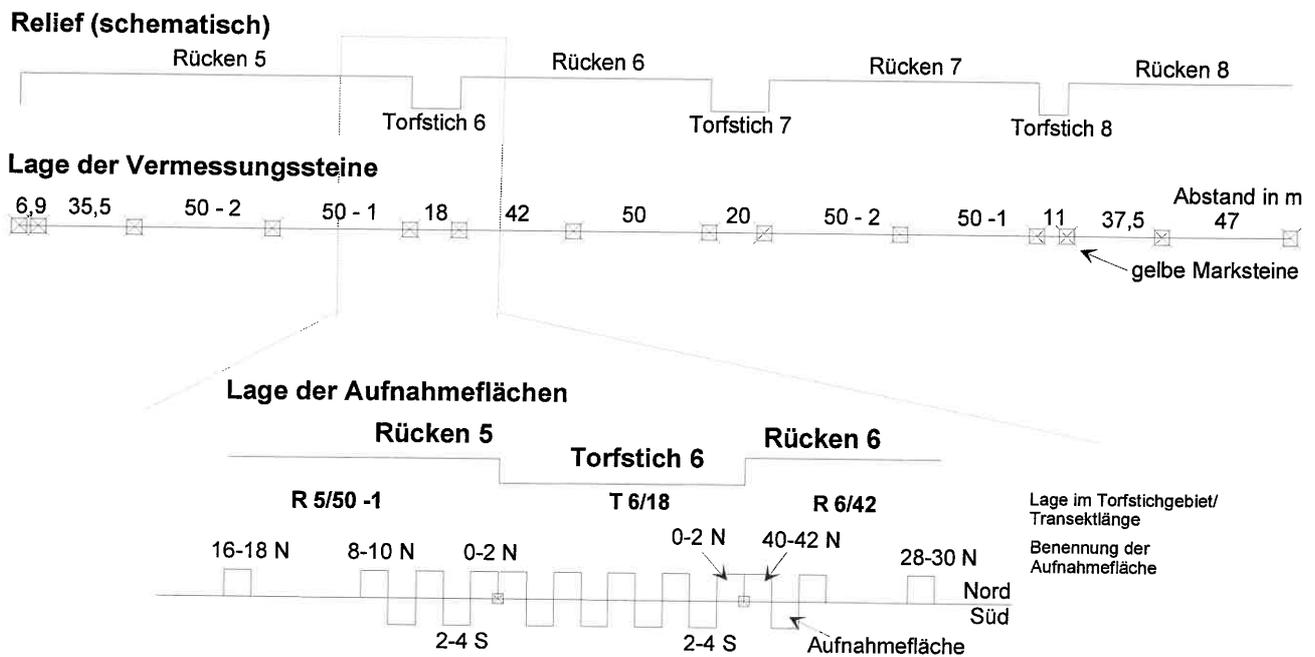


Abb. 15: Schematische Darstellung zur Anlage der Transekte im Haidgauer Torfstichgebiet

Obwohl durch die Reduktion der Aufnahmeflächen zwar die Zahl der Vegetationsaufnahmen um ca. 40 % reduziert werden konnte, verblieb dennoch eine Anzahl von ca. 1800. Mit der Anlage und Aufnahme waren neben der Verfasserin weitere Bearbeiter befaßt, die sich hinsichtlich der Schätzverfahren abgestimmt haben. Auf den Transekten 1 bis 3 wurden jeweils 550 Aufnahmen durchgeführt, auf dem Transekt vier 100. Die hohe Zahl an Aufnahmen ist nur noch automatisiert mit Hilfe eines Tabellenverarbeitungsprogrammes zu verarbeiten und zu interpretieren. Dazu wurden die Deckungsgrade jeder Art entlang des Transektverlaufes als Balkendiagramm dargestellt.

3.2.2.3 Ergebnis und Diskussion

Das in Abb. 14 schematisch dargestellte, für die Torfstiche im Haidgauer Torfstichgebiet charakteristische Standortmosaik wird durch die Grundaufnahme sehr gut wiedergegeben (Abb. 17, Abb. 19): Während auf den entwässerten Hochmoorrücken Heide (*Calluna vulgaris*) und Pfeifengras (*Molinia caerulea*) dominieren, findet man in wassergefüllten Torfstichen flutende Torfmoosrasen (*Sphagnum cuspidatum*), auf nicht ausreichend entwässerten Hochmoortorfen Hochmoortorfmoose (*Sphagnum magellanicum*), auf Niedermoortorfen oder in Torfstichen mit mineralisch beeinflusstem Wasser Schilf (*Phragmites australis*) als dominierende Pflanzenarten. Deutlich ist auch der Entwicklungstrend erkennbar: einerseits Hochmoorregeneration, wo bereits Hochmoortorfmoose Fuß fassen konnten, andererseits Bruchwaldentwicklung in nährstoffreicheren, nicht überfluteten Torfstichen.

Betrachtet man die Torfmoosverteilung im Detail (Abb. 17) von Torfstich 8 (dem nichtabgetorften Hochmoorschild benachbart) bis Rücken 5, so ergibt sich folgendes Bild. *Sphagnum capillifolium* ist weit stärker verbreitet als *S. magellanicum* und kommt noch auf fast allen Rücken, mit Ausnahme des stärker entwässerten Rückens 7 vor. Es hält damit auch einer Entwässerung mit einem

Dränabstand von 15 m stand, während *Sphagnum magellanicum* demgegenüber auch auf den Rücken 5 und 6 nur noch sporadisch auftritt (vgl. S. 17). Seinen Verbreitungsschwerpunkt hat es im dargestellten Abschnitt in den nassen Torfstichen 7 und 8. Grundsätzlich weisen aber vor allem Torfstiche mit hohen Wasserständen die günstigsten Bedingungen für diese Arten auf.

Um darzustellen, wie in Zukunft die Auswertung stattfinden soll, wurde ein Teil des Transektes 4 nach dem Einstau der Gräben im Herbst 1993 nochmals kartiert. Der Darstellung der Veränderung erfolgt anhand der Differenz der Deckungsgrade zwischen Erstaufnahme und Wiederholungskartierung. In Abb. 16 ist dies exemplarisch für *Sphagnum magellanicum* dargestellt, das, auch sehr auffällig im Gelände, in diesem kurzen Zeitraum mit einer deutlichen Zunahme der Deckungsgrade auf die Wiedervernässungsmaßnahmen reagiert hat. Nachdem die Wasserstände auf allen Rücken angehoben wurden, ist dort ebenfalls zu erwarten, daß sich Torfmoose, an Stellen wo sie noch vorhanden sind, schnell ausbreiten können. Am schlechtesten sind die Ausgangsbedingungen z.B. auf Rücken 7, wo sich Torfmoose erst wieder ansiedeln müssen (vgl. dazu auch NICK 1986).

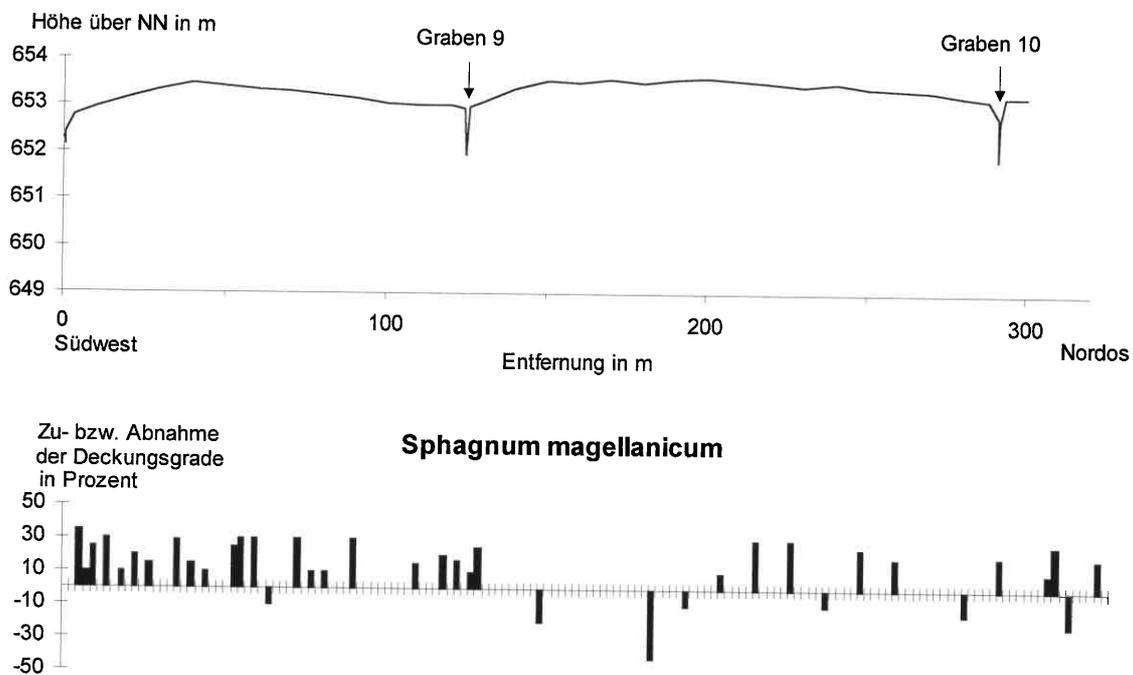


Abb. 16: Wiederholungskartierung für einen Abschnitt des Transektes 4

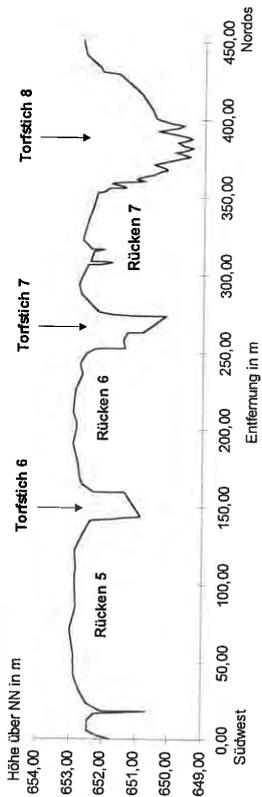
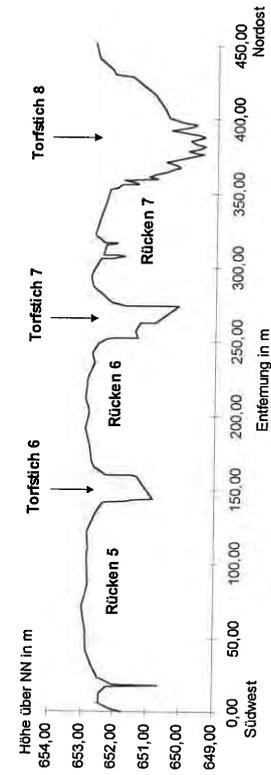


Abb. 17: Verteilung ausgewählter Torfmoosarten auf einem Teilstück des Transektes 1

Abb. 18: Verteilung ausgewählter höherer Pflanzenarten auf einem Teilstück des Transektes 1

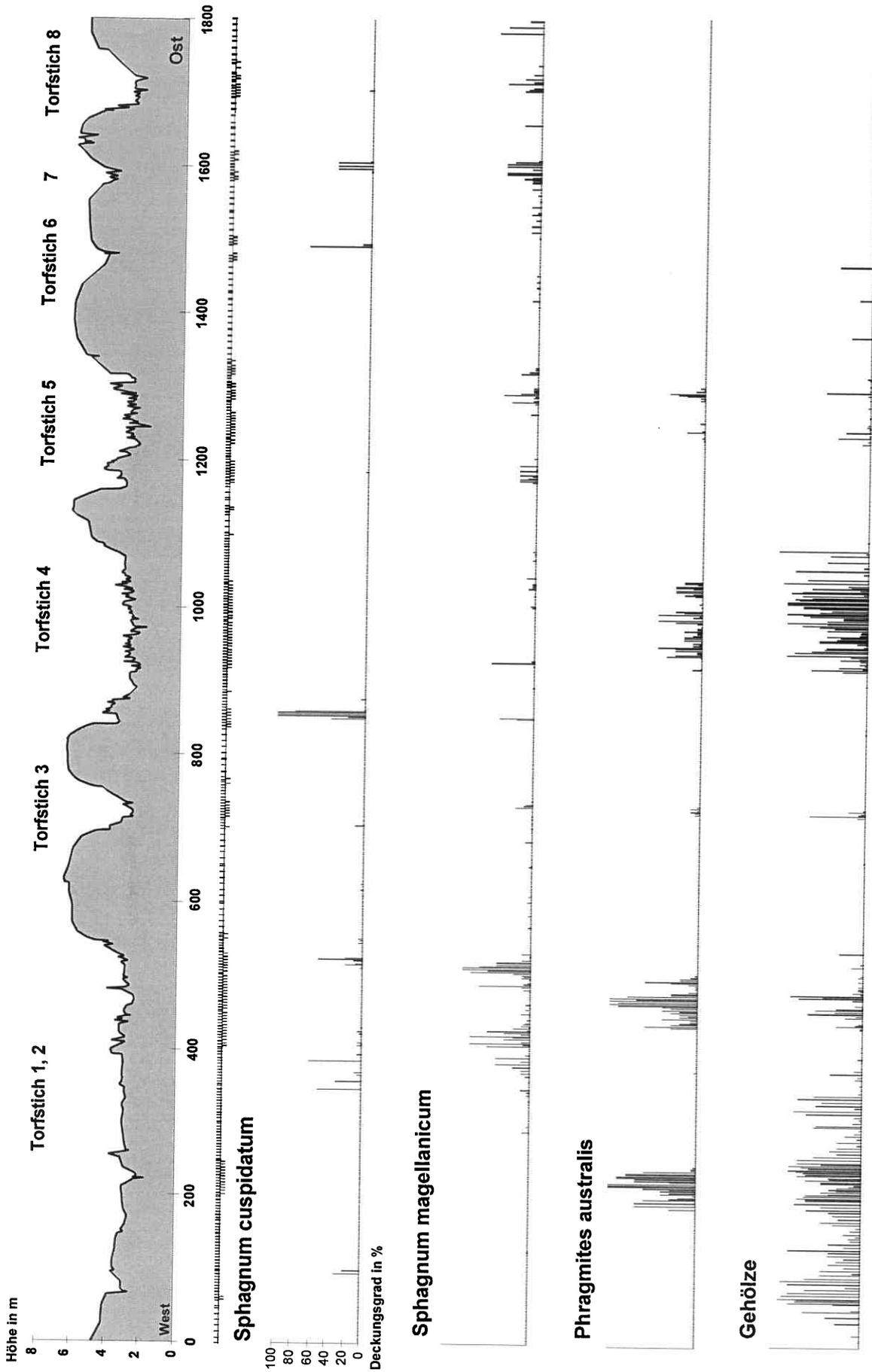


Abb. 19: Ergebnis der Erfolgskontrolle im Haidgauer Torfstichgebiet am Beispiel der Verbreitung ausgewählter Pflanzenarten entlang des Transektes 2, oben: Relief, darunter Abfolge der Aufnahmeflächen

3.2.2.4 Methodenbewertung

Diese Form der Dauerbeobachtung liefert, bezogen auf die Dauerbeobachtungsflächen und ihre nähere Umgebung detaillierte, lagegenaue und aufschlußreiche Ergebnisse hinsichtlich der Verteilung von Pflanzenarten und deren Veränderung. Innerhalb der 4 m² großen Aufnahmeflächen wird allerdings eine unterschiedliche Verteilung von Pflanzenarten nicht erfaßt, so daß eine kleinteiligere Abfolge, wie sie durch Aufbringen von Bunkerde oder durch Torfmoos- sowie Seggenbulte entsteht, nicht beobachtet werden kann. Die üblicherweise verwendeten Schätzskalen für die Deckungsgrade der Pflanzenarten bedingen bekanntermaßen bearbeiterspezifische Abweichungen. Ein 3.000.000 m² großes Gebiet ist zudem nicht einmal durch Dauerbeobachtungsflächen¹² von 6.000 m² ausreichend repräsentiert. Im besonderen Maße trifft dies für die räumliche Verteilung der Vegetation zu, da ein 4 m breiter Untersuchungsstreifen, bezogen auf das Gesamtgebiet nur eindimensionale Informationen liefern kann (vgl. dazu Abb. 22).

Die Kosten für die Aufnahme von 1.800 Dauerbeobachtungsflächen und für die Vermessung von ca. 6 km Transektlänge waren überdurchschnittlich hoch und wären derzeit bei Naturschutzgebieten vergleichbarer Größe nur noch in Ausnahmefällen aufzubringen. Zu berücksichtigen ist, daß das Markierungsmaterial in einem so großen und unwegsamen Gebiet über lange Wegstrecken zu Fuß herangeschafft werden muß. Der dafür notwendige Zeitaufwand darf ebenfalls nicht unterschätzt werden. Nachdem die Begehbarkeit der Torfstiche durch die Wiedervernässungsmaßnahmen heute stark eingeschränkt ist, hat sich die zurückzulegende Wegstrecke nur für das einmalige Ablaufen der Transekte auf ca. 15 km erhöht. Bei der Durchführung von Geländearbeiten kommt natürlich der tägliche Hin- und Rückweg hinzu, der durchaus 2 bis 3 km einfach betragen kann.

Als ein weiteres Problem stellte sich im Haidgauer Torfstichgebiet die dauerhafte Transektmarkierung dar. Eine erneute Begehung ergab 1996, also nur drei bis fünf Jahre nach der Einrichtung, daß die Markierungen trotz detaillierter Lagekenntnis nur mit einem Metallsuchgerät, das eine Empfindlichkeit von mindestens einem Meter aufweist, auffindbar sind. Außerdem waren die Markierungen auf Offentorfflächen vermutlich durch Frosteinwirkung auf die Oberfläche gehoben worden. Da sie nicht zugänglich sind, ist Fremdverschulden auszuschließen. Eine jährliche Instandsetzung der Markierungen ist daher dringend angezeigt.

Zusammenfassend läßt sich folgendes feststellen: Die Aussage- und Lagegenauigkeit dieser Form der Dauerbeobachtung ist prinzipiell so hoch, daß Artenverschiebungen in größeren, d.h. mehrere Quadratmeter große Flächeneinheiten dokumentiert werden können. Der Aufwand, der betrieben werden muß, um die Verteilung der Vegetation in einem in sich sehr heterogenen Gebiet, beobachten zu können, ist allerdings sehr hoch. Da er in der Regel dem jeweils zur Verfügung stehenden finanziellen und zeitlichen Rahmen angepaßt werden muß, kann von den Ergebnisse auf den Dauerbeobachtungsflächen nicht uneingeschränkt auf die Entwicklung der ganzen Fläche geschlossen werden. Grundvoraussetzung für eine geländegestützten Dauerbeobachtung ist allerdings, daß die ausgewählten Flächen wiederaufgefunden werden können. Dies ist mit Geländemarkierungen nicht ausreichend gewährleistet.

¹² Transekt 4, das ins weitgehend intakte Hochmoor führt, blieb bei der Rechnung unberücksichtigt.

3.3 Fernerkundung

3.3.1 Einleitung

„Wer kann sich heute noch die Arbeit eines Botanikers ohne Mikroskop vorstellen oder eine Astronomie ohne Fernrohre? Ebenso wird es in wenigen Jahren keinen Geowissenschaftler mehr geben, der ohne das Instrumentarium der Fernerkundung, d.h. ohne die vielfältigen Informationsquellen von Luft- und Satellitenbildern bei seiner Arbeit auskommen kann.

Wie das Mikroskop die Welt des Kleinen öffnete und wie das Teleskop die Ferne des Weltraums erschloß, so geben uns die Aufnahmen der Erdoberfläche aus Flugzeugen und Satelliten ein neues Bild unseres Planeten mit seinen komplexen Mustern und Strukturen.“ (ENDLICHER & GOSSMANN 1986)

Versuche, mit Hilfe von Fotografien den Zustand der Erdoberfläche zu dokumentieren, gab es daher schon seit der Mensch erste Flugversuche unternommen hat (1858 durch Daguerre und Niepce, ENDLICHER & GROSSMANN 1986). Luftbilder dienen seit langem als Grundlage für Landschaftsanalysen aller Art. Sie sind oftmals die einzige flächendeckende Datenquelle von Struktur- und Biotopkartierungen, die auf ausgewählten Flächen im Gelände auf ihre Richtigkeit überprüft und / oder hinsichtlich des genauen Artbestandes ergänzt werden. Diese Vorgehensweise ermöglicht im Vergleich zur reinen Geländekartierung in einem Viertel der Zeit eine vollständigere und genauere flächenmäßige Erfassung naturschutzrelevanter Gebiete (BIERHALS 1988). In der Vegetationskartierung werden Luftbilder routinemäßig dazu verwendet, Vegetationseinheiten abzugrenzen, deren Artbestand nachfolgend im Gelände aufgenommen wird (KRAUSE 1955).

Schon Mitte des Jahrhunderts wurde aber, damals noch auf der Basis von schwarzweiß Bildern, festgestellt, daß sich auch der Vegetationstyp aus Luftbildern ableiten läßt (TROLL 1939, BURKS & WILSON 1939, LINKOLA 1941, TROLL 1943 zitiert in ELLENBERG 1956, KRAUSE 1955). Im Rahmen der Waldschadenskartierung und der Waldinventur fanden umfangreiche Untersuchungen zu den Möglichkeiten der Kartierung einzelner Baumarten und ihres Zustandes ausschließlich über Luftbilder (DLR 1989) statt, deren Ergebnisse normiert wurden. Für andere Vegetationsformationen gibt es dagegen nur wenige Beispiele, wo versucht wurde, den Informationsgehalt von Luftbildern bis auf die Ebene der Pflanzenarten zu nutzen (DISCROLL & REPERT 1968 zitiert in HILDEBRANDT 1986).

Die Auswertung der Luftbilder kann visuell am Stereoskop bzw. am Monitor erfolgen, d.h. das Bild wird vom Bearbeiter inhaltlich interpretiert und durch manuelles Umfahren von Objekten, die als homogen aufgefaßt werden, in eine Karte umgesetzt werden. Die Photogrammetrie befaßt sich seit ca. sechzig Jahren damit, die in Zentralperspektive aufgenommenen Fotos in lagegenaue, orthogonal orientierte Luftbilder („Orthophotos“) zu überführen (GRAHAM & READ 1986). Digitale Bildverarbeitungsprogramme sind aber auch in der Lage Kartierungen mit Hilfe mathematischer Algorithmen ganz (unüberwachte Klassifikation) oder teilweise automatisch (überwachte Klassifikation) durchzuführen (ALBERTZ 1991).

3.3.2 Auswahl der getesteten Aufnahmeverfahren

Fernerkundungsdaten können auf vielfältige Weise erzeugt werden, was sich nachhaltig auf die enthaltenen Informationen und damit die Auswertungsmöglichkeiten auswirkt.

In einem ersten Schritt wurde daher, zusammen mit dem Lehrstuhl für Vegetationsökologie der TU München/Weihenstephan, eine Vorauswahl der für ein vegetationskundliches Monitoring aussichtsreichsten Möglichkeiten getroffen, deren Kriterien nachfolgend in geraffter Form wiedergegeben werden. Technische und physikalische Einzelheiten werden, auch in späteren Kapiteln, dann näher ausgeführt, wenn sie bedeutungsvoll im Hinblick auf das Methodenverständnis bzw. die -bewertung sind. Darüberhinaus sei auf die zugrundliegende Fachliteratur (z.B. ALBERTZ 1991, BILL & FRITSCH 1991, GRAHAM & READ 1986, JÄHNE 1989, LILLESAND & KIEFER 1979, ANL 1990, GOLDSMITH 1991, HILDEBRANDT 1996, KÜCHLER & ZONNEVELD 1988, MAXIN 1991, SCHNEIDER 1974, SCHNEIDER 1984, VORETZSCH et al. 1986) verwiesen.

In Tab. 6 sind die im Zeitraum von 1994 bis 1996 getesteten Aufnahmetechniken aufgelistet.

Tab. 6: Im Wurzacher Ried 1994 durchgeführte Bildflugvarianten (CIR Color-Infrarot, CD Echtfarbe)

Zeitpunkt	1.6. 1994	31.7.1994	10.-15.8.1994	21.9.1994	29.6.1995	17.7.1996
Maßstab	1:2.000	1:500 (300)	beliebig	1:1.000	1 : 6.600 / 1 m x 1 m je Pixel	1 : 20.000/ 1 : 10.000/ 1 : 5.000
Filmart	CIR + CD	CIR	CD	CIR	CIR / Scannerdaten	CIR
Aufnahmegesetz RMK: Reihen- meßkammer	RMK	Telelens	Kleinbildkam era	RMK	RMK / DAEDALUS AMS	RMK
Aufnahmefläche	Gesamtfläche	zwei Streifen	Teilflächen	mehrere Teilflächen	Gesamtfläche	Gesamtfläche
Fluggerät	Flugzeug	Flugzeug	Heißluft- Luftschiff	Flugzeug	Flugzeug	Flugzeug
Beauftragte Firma	Photogram- metrie GmbH, München	Topogramm, Weilheim	GEFA-Flug, Aachen	TERRA, Marbach	GEOSCAN, Hildesheim	Eidgenössis- che Vermes- sungsdirektion
Zahl der Bilder	420 (CIR) 453 (CD)	1772 (23cm x 11,5cm)		172	52	175

Die Scanner-Aufnahme erfolgte mit einem DAEDALUS-MSS AA 3600 Scanner (Flughöhe ca. 1000 m über Grund, Pixelgröße 1 m x 1 m (Geländeflächenelement), 6 Kanäle: 0,45 - 0,52 µm blau; 0,52 - 0,60 µm grün; 0,63 - 0,69 µm rot; 0,76 - 0,90 µm nahes Infrarot; 0,91 - 1,05 µm nahes Infrarot; 8,5 - 12,5 µm thermisches Infrarot). Die geometrische Entzerrung der Daten wurde von der mit dem Scannerflug beauftragten Firma durchgeführt. Die so entstandene Datei hat eine Größe von 400 Megabyte.

3.3.2.1 Trägersysteme für das Aufnahmegerät

- **Satellit:**

Satellitenszenen sind durch den sich regelmäßig wiederholenden Umlauf zwar in kurzen zeitlichen Abständen erhältlich, wolkenfreie Daten eines Gebietes in Mitteleuropa zu bekommen, ist allerdings nur im Abstand mehrerer Jahre wahrscheinlich (vgl. auch Kap. 3.3.2.2).

- **Flugzeug:**

Bewährtes und ausgereiftes Trägersystem für Bildflüge ist das Flugzeug, welches daher auch im Wurzacher Ried zum Einsatz kam. Wegen der Beschränkung der minimalen Flughöhe kann es allerdings nur Bildmaßstäbe bis minimal 1 : 1.000, mit speziellen Kameras bis 1 : 500 (200) liefern. Im Gegensatz zum Satellit, der aufgrund seiner Flughöhe atmosphärischen Einflüssen nicht unterliegt, kann beim Flugzeug nur annähernd eine gleichmäßige Fluglinie und -geschwindigkeit eingehalten werden. Dies bewirkt, daß eine lotrechte Ausrichtung der Kameraachse nur näherungsweise eingehalten werden kann, was insbesondere beim Erstellen von Karten berücksichtigt werden muß.

- **Trägersystem für geringe Flughöhen und damit große Bildmaßstäbe:**

Anfang der achtziger Jahre wurden verschiedene Trägersysteme für Luftaufnahmen aus dem Nahbereich entwickelt, um ein Bindeglied zwischen der terrestrischen Aufnahme (einschließlich Hilfsmitteln wie baulichen Vorrichtungen, Gerüsten oder Hebebühnen) und der Aero-Photogrammetrie zu schaffen (DEUTSCHES BERGBAUMUSEUM 1986).

Ferngelenkte Fluggeräte, wie Kleinflugzeuge und Fotohelikopter sowie Zeppeline, die derzeit vom Institut für Statik und Dynamik von Luftfahrzeugen der Universität Stuttgart weiterentwickelt werden, scheiden, auf Sicht gelenkt, ebenso wie Drachen oder gefesselte Ballons und Luftschiffe wegen ihrer geringen Reichweite von vornherein für eine Anwendung im Wurzacher Ried aus. Das zusätzliche Mitführen einer Videokamera, die zum Auffinden festgelegter Flächen erforderlich ist, gestaltet sich derzeit noch problematisch. Als bemannte Fluggeräte kommen Ultra-Leichtflugzeuge und Heißluft-Luftschiffe in Betracht.

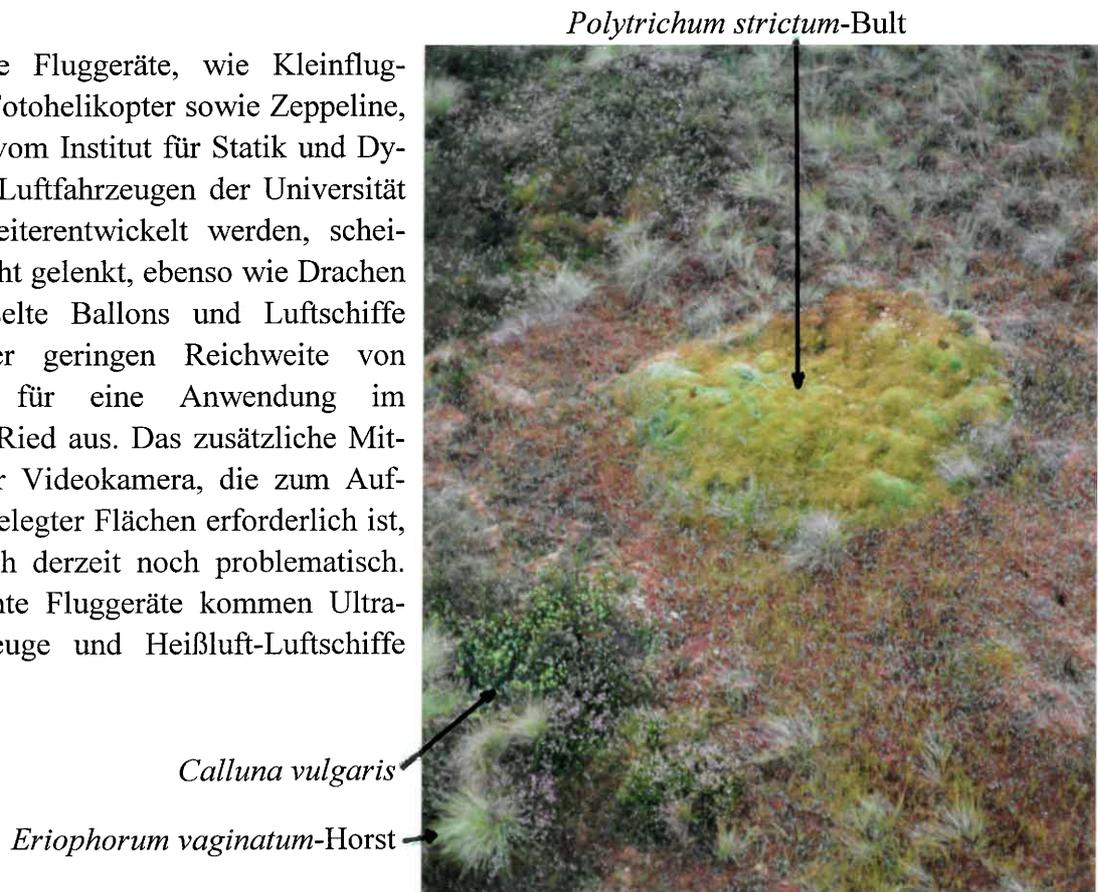


Abb. 20: Nahaufnahme der Hochmoorvegetation aus einem Heißluft-Luftschiff (Foto: Böcker)

Aufgrund des erfolgreichen, mittlerweile routinemäßigen Einsatzes in der Luftbildarchäologie (DEUTSCHES BERGBAUMUSEUM 1986), des bei Gehölzfreiheit nach oben nahezu unbeschränkten Bildmaßstabes (bis nahe 1 : 1) und der Möglichkeit des Mitfluges eines Passagiers erschien das Heißluft-Luftschiff für maximale Maßstäbe am geeignetsten. Leider zeigte sich, daß in Mitteleuropa die Verwendbarkeit des Fluggerätes sehr eingeschränkt ist, da es nur bei geringster Luftbewegung, d.h. Windstille und geringer Thermik (im Sommer windstilles Wetter nach Sonnenaufgang und vor Sonnenuntergang) geflogen werden kann. Die Nutzung ist dadurch schwer kalkulierbar, die Belichtungsverhältnisse sind häufig für das Photographieren ungünstig. Aufgrund ungünstigen Wetters konnten daher im Wurzacher Ried nur wenige Flüge stattfinden. Wenngleich das dabei mit Hilfe von Amateurkameras erzeugte Bildmaterial für die weiteren Methodentests nur eingeschränkt verwendet wurde, so konnten sich doch die Passagiere zumindest davon überzeugen, daß für große, unwegsame und gehölzfreie Gebiete der Mitflug im Luftschiff die einzige Möglichkeit darstellt, die Vegetation bis in Bodennähe zu begutachten und Strukturen, die in Senkrechtaufnahmen auffallen, vor Ort auf ihre Ursachen hin zu überprüfen (Abb. 20). Diese zusätzlichen Eindrücke vom Untersuchungsgebiet sind nicht zu unterschätzen und gewinnen vor allem in Zukunft an Bedeutung, wenn das Wurzacher Ried nicht mehr betreten werden darf bzw. infolge großflächiger Vernässungen nicht mehr begehbar ist. Eine Befliegung sollte allerdings nicht im Juni stattfinden, da das Brutgeschäft empfindlicher Vogelarten erheblich gestört werden könnte.

3.3.2.2 Aufnahmetechnik

- **Photokamera:**

Die Photokamera ist das gebräuchlichste Aufnahmesystem in der Fernerkundung. Für Luftbilder werden im allgemeinen 23 x 23 cm² Reihenmeßkammern verwendet, die, wie der Name ausdrücken soll, die systematische Aufnahme von Bildreihen für photogrammetrische Auswertungen möglich machen. Sie kamen auch im Wurzacher Ried zur Anwendung. Besonders große Bildmaßstäbe können flugzeuggestützt mit Aufklärungskameras erzeugt werden, was im Wurzacher Ried ebenfalls getestet wurde. Wie sich im nachhinein herausstellte, sind sie bauartbedingt nicht für photogrammetrische Zwecke einsetzbar. Digitale Kameras gewinnen zwar zunehmend an Bedeutung, sind aber für kommerzielle Reihenbildflüge (noch) nicht verfügbar.

- **Filmart:**

Am wichtigsten sind hier der Color-Dia-Film (CD, „Echtfarben“) und der Color-Infrarot-Film (CIR, „Falschfarben“, grüne Objekte erscheinen blau, rote grün, und stark infrarotreflektierende rot), die beide hinsichtlich ihrer Eignung in Mooren erprobt wurden. Auf die Verwendung von schwarz - weiß Filmen wurde verzichtet, da sie bekanntermaßen (HILDEBRANDT 1986) deutlich weniger Interpretationsmöglichkeiten zulassen.

- **Projektion:**

Für eine Vegetationskartierung kommen ausschließlich Senkrechtaufnahmen in Frage, da nur sie, im Gegensatz zu Schrägbildern, für photogrammetrische Anwendungen, d.h. Berechnung der genauen Lage von Objekten aus Luftbildern, geeignet sind.

Schrägbilder können jedoch zusätzlich wertvolle Informationen für die visuelle Bildinterpretation liefern. Sie wurden mit Amateurkameras aus dem Heißluft-Luftschiff fotografiert (Abb. 20).

- **Abtastsysteme (Scanner):**

Andere Aufnahmemöglichkeiten sind Abtastsysteme (Scanner), welche die Reflexion der Oberfläche in verschiedenen Wellenlängenbereichen („Kanäle“) digital und fortlaufend aufzeichnen. Sie stellen das obligatorische Aufnahmegerät in Satelliten dar, finden aber auch flugzeuggestützt Verwendung. Die bekanntesten Flugzeugscanner sind DAEDALUS MSS, der getestet wurde, und CASI mit 7 bis 11 bzw. 256 Kanälen.

3.3.2.3 Maßstab

Mit der Auswahl der Kamera ist die Größe des Bildausschnittes vorgegeben. Allerdings kann durch die Flughöhe der abgebildete Maßstab verändert werden. Gängiger Maßstab für Luftbilder ist 1:5.000 oder kleiner. Für das Wurzacher Ried wurden 1987 und 1992 flächendeckende Luftbilder im Maßstab 1:5.000 aufgenommen. Da zu hoffen war, daß größere Bildmaßstäbe auch einen höheren Informationsgehalt bezüglich der Vegetation aufweisen, standen diese im Mittelpunkt des Methodentests.

Bei den digitalen Aufnahmegegeräten bestehen keine Unterschiede im Bildmaßstab, sondern in der Pixelgröße. Satellitenszenen weisen derzeit (noch) eine zu geringe Auflösung (10 x 10 m² bis 30 x 30 m², im Vergleich dazu Luftbilder: Auflösung im cm - Bereich) auf. Aufnahmegegeräten mit bis zu 4.5 m x 4.5 m sind aber bereits im Test. Mit Flugzeugscannern können Auflösungen bis maximal 0.7 m x 0.7 m erreicht werden.

3.3.2.4 Befliegungszeitpunkt

Die Verwendbarkeit der Aufnahmen für eine Vegetationskartierung wird aufgrund der unterschiedlichen phänologischen Entwicklung der Pflanzen stark vom Befliegungsstermin beeinflusst. Aus gestreuten Befliegungszeitpunkten von Juni bis September konnte der für die Erfolgskontrolle geeignetste Zeitpunkt ausgewählt werden.

Unterschiede in der Abbildung der Vegetation auf dem Luftbild ergeben sich auch aus der Tageszeit. Während mittags Überstrahlungseffekte auftreten und das Relief durch geringe Schatten schlechter erkennbar ist, nehmen mit dem zeitlichen Abstand zum Sonnenhöchststand optische Verzerrungen am Bildrand sowie verschattete und daher nicht einsehbare Bereiche zu.

3.3.3 Visuelle Auswertung

3.3.3.1 Einleitung

Sehen ist nicht allein eine körperliche Fähigkeit, sondern ist verbunden mit der geistigen Umsetzung des aufgenommenen Bildes. Die Wahrnehmung beruht auf dem Erkennen bekannter Muster oder Formen, die der Mensch im Laufe seines Lebens kennenlernt. Senkrechtluftbilder geben unabhängig vom Maßstab ein für jeden Menschen ungewohntes Bild wieder. Der Vegetationskundler muß feststellen, daß die charakteristischen Merkmale einer Pflanze im Luftbild sehr stark von der Geländeerfahrung abweichen, die von der Schrägsicht geprägt ist. Daher muß er sich für die Luftbildauswertung, wie bei der Artansprache im Gelände, einen Erfahrungsschatz zur Identifikation der Objekte aneignen. Dazu werden erkennbare Strukturen und Farben der Artenzusammensetzung der Vegetation zugeordnet. Diesen Vorgang nimmt man auch „Eichung“. Je besser die Kenntnisse des Kartierers über das beobachtete Gebiet sind, desto mehr Informationen kann er aus dem Luftbild entnehmen (KÜCHLER & ZONNEVELD 1988).

Bilder einer Reihenmeßkammer werden i.d.R. mit Überlappungsbereichen von einem Bild zum nächsten aufgenommen, so daß ein Bildpaar mit einem übereinstimmendem Bildbereich mit Hilfe eines Stereoskops dreidimensional betrachtet werden können, was besonders für die Identifikation von Gehölzen von Bedeutung ist. Darüberhinaus ermöglicht es mittels Okularen eine Vergrößerung bis zum Fünfzehnfachen.

Bei der Auswertung ist weiterhin zu beachten, daß selbst mit optimaler technischer Ausstattung und Durchführung innerhalb eines Luftbildes und im Vergleich von Luftbildern untereinander unvermeidbare Farbdifferenzen auftreten können, die bewirken, daß gleiche Objekte (oftmals nur um Nuancen) unterschiedlich gefärbt sind. Physikalisch bedingt ist etwa der Helligkeitsabfall von der Mitte zu den Ecken hin. Des weiteren können Schwankungen im Filmmaterial oder Farbänderungen durch den veränderten Sonnenstand bei langandauerndem Bildflug auftreten (vgl. auch ALBERTZ 1991). Die visuelle Auswertung muß diese Schwankungen objektbezogen abdecken, um möglichen Fehlinterpretationen entgegenzuwirken.

Die Ergebnisse der Luftbildauswertung oder Luftbildinterpretation sind zunächst abhängig von der Qualität der Luftbilder und ihrem Auflösungsvermögen. Beide werden in erster Linie bedingt durch die Aufnahmetechnik, was in der Grundlagenliteratur (ALBERTZ 1991) ausführlich beschrieben ist. Das Auflösungsvermögen in Abhängigkeit von der Filmkörnigkeit kann beispielsweise mit Hilfe von Linien unterschiedlicher Länge und Breite, die im Gelände ausgelegt werden, abgeschätzt werden. Es darf aber nicht der voreilige Schluß gezogen werden, sämtliche Objekte, die über dem gemessenen Wert liegen, könnten erfaßt werden, während alle kleineren unerkant bleiben. Vielmehr hängt die Erkennbarkeit von Objekten außer von den Eigenschaften des Aufnahmesystems in starkem Maße von den Kontrasten in Farbe und Struktur (ALBERTZ 1991) ab. Eine Hütte auf freiem Feld ist z.B. sehr gut erkennbar, liegt sie aber (unverdeckt) in einem Wald, so kann sie praktisch unsichtbar sein. Auch sehr kleine Objekte sind demzufolge sehr gut erkennbar, wenn sie in gleichförmiger, andersfarbiger Umgebung liegen.

Die Ursachen der unterschiedlichen Strahlungseigenschaften von Oberflächen insbesondere von Vegetation sind in den auf S. 56 genannten Lehrbücher dargestellt und sollen in dieser Arbeit nicht näher diskutiert werden.

3.3.3.2 Vorgehensweise

Als Untersuchungsgebiet wurde das Alberser Zwischenmoor (Abb. 2, S. 7) ausgewählt, da es eine Abfolge der wichtigsten Vegetationsstadien im Zwischen- und Hochmoor vom Braunmoosseggenried, über Torfschlammshenken, Torfmoosseggenried und Hochmoorinitialstadien bis hin zu degradierten Heidestadien beinhaltet. Des weiteren liegen von dem Teilgebiet eine historische und eine aktuelle Vegetationskartierung vor (ILSCHNER 1959, KELLERMANN 1991).

Zum Abgleich der kartierten Vegetation mit den Luftbildern wurden Transekte angelegt, die möglichst alle im Gelände und in früheren Luftbildern erkennbaren Strukturen und Vegetationsstadien schneiden (Abb. 21). Zeitgleich mit den Bildflügen wurde dort jeweils vor Ort die Zusammensetzung der Vegetation aufgenommen, um die tatsächliche Verbreitung von Arten und Artengruppen mit der Abbildung im Luftbild vergleichen zu können. Sie wurden im Abstand von 50 m mit Luftbildmarken (weiße Kunststofftafeln mit einer Größe von 20 cm x 20 cm) gekennzeichnet. Ein Transekt folgt dem des KELLERMANN - Transektes (KELLERMANN 1991, Transektverlauf parallel zum ins Ried führenden Feldweg, Quertransekt 1). Ein anderes liegt nahezu senkrecht dazu und verläuft etwa parallel zur Dietmannser Ach (Längstransekt 1). Von diesem Transekt aus wurden noch zwei weitere Quertransekte in Richtung Dietmannser Ach und Stadtkanal geführt. Ein zusätzliches Längstransekt (2) verläuft in einem Abstand von 150 m parallel zum Längstransekt 1. Eine ähnliche Vorgehensweise wählte auch IHSE et al. (1992), die, allerdings in schwarzweiß Luftbildern des Maßstabes 1:30.000, Veränderungen der Vegetation schwedischer Mooren untersuchte.

Zeitgleich mit den Befliegungen wurde die Vegetation entlang des Transektes im Sinne der „line intercept“ - Methode nach KÜCHLER & ZONNEVELD (1988) kartiert. Das Transekt wird entlang eines ausgelegten und gespannten Maßbandes in homogene Streckenabschnitte untergliedert, auf denen die Deckungsgrad (in Prozent) der Pflanzenarten in einer annähernd senkrechten Projektion geschätzt werden. Die Gliederung in einzelne Schichten (Moosschicht, Krautschichten, Strauch- und Baumschicht), wie sie die Methode nach BRAUN-BLANQUET (1964) vorsieht, spielt für die Abbildung im Luftbild keine Rolle. Sie blieb bei der Aufnahme ebenso unberücksichtigt wie Pflanzen(-teile), welche durch andere Arten oder Streu verdeckt waren oder wie unauffällige Arten mit geringer Deckung, z. B. einzelne *Carex chordorrhiza* - Halme in einem *Carex lasiocarpa* - Bestand. Letztere wurden zwar notiert, eine bewußte Suche nach jeder vorkommenden Art unterblieb aus gleichem Grund. Demgegenüber wurden von Vegetation unbedeckte Flächen nicht nur im Gesamtdeckungsgrad berücksichtigt, sondern es wurde auch festgehalten, worum es sich dabei handelt (i.d.Regel Streu, d.h. abgestorbenes Pflanzenmaterial, unbewachsenen Torf oder offenes Wasser). Veränderungen der Vegetationszusammensetzung wurden sehr kleinteilig, d.h. differenziert bis in den Dezimeter-Bereich entlang des Maßbandes eingemessen.

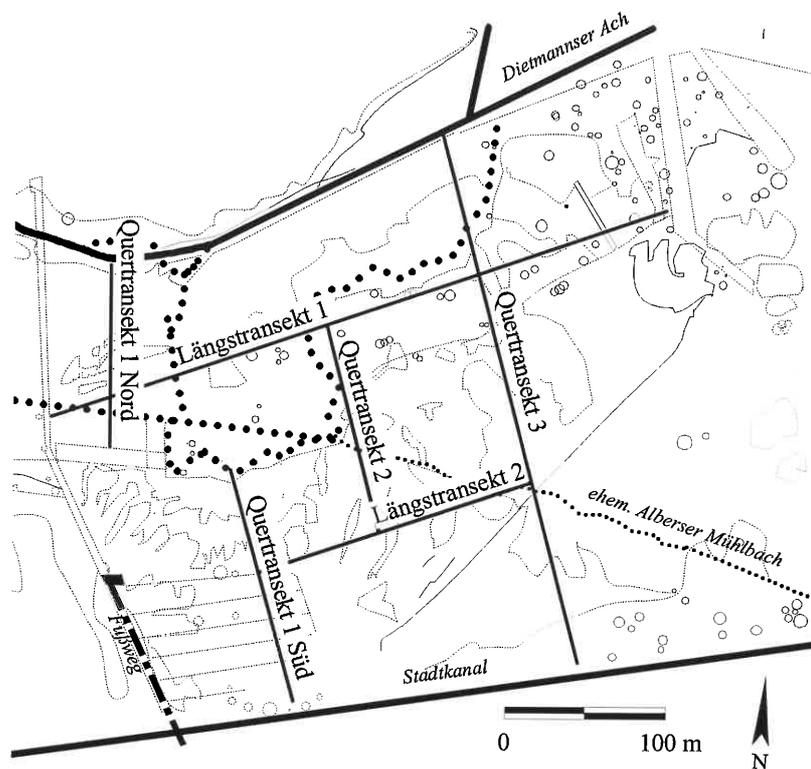


Abb. 21:
Lageplan der Transekte im
Alberser Zwischenmoor

In einem weiteren Schritt wurden die Ergebnisse der Geländearbeit mit den in den Luftbildern erkennbaren Farbdifferenzierungen verglichen. Zum einen sollte dabei festgestellt werden, bis zu welcher Größenordnung Veränderungen in der Vegetationsverteilung im Luftbild wahrgenommen werden können (Kontrolle der Auflösung). Zum anderen wurde überprüft, wodurch, d.h. durch welche Arten in welcher Zusammensetzung und Deckung, die Farbgebung im Luftbild verursacht wird (Eichung).

Dazu wurden die Ergebnisse der Geländekartierung als flächige xy-Graphik dargestellt, in der sich die Deckungsgrade der aufgenommenen Arten auf 100 % ergänzen.

Unabhängig von den Ergebnissen der Geländearbeit wurden die Transekte in den Luftbildern kartiert. Zunächst mußten die in Tab. 8 aufgezeigten Verzerrungen umgangen werden. Dazu wurden Maßstäbe, die in der Länge der jeweiligen Entfernung von zwei Markierungstafeln auf dem Luftbild entsprachen, mit einer 50 m Unterteilung gezeichnet und auf Folie ausgedruckt. Mit Hilfe der Maßstäbe konnte dann eine Kartierung in den verschiedenen Luftbildern erfolgen, wobei entlang der Transekte Änderungen in Farbgebung und Struktur aufgenommen wurden. Die Abfolge der kartierten Grenzen wurde ebenfalls in einer xy-Graphik dargestellt, die Beschreibung des Transektabschnittes wurde tabellarisch aufgelistet. Auf Folie ausgedruckt, konnte so das Ergebnis der Luftbildauswertung mit dem der Geländekartierung zur Überlagerung gebracht werden. Dadurch war es möglich, die für das Aussehen des Luftbildes wesentlichen Bestandteile zu analysieren. Die Vorgehensweise kann heute durch verbesserte Scantechnik und leistungsfähigere Computer erleichtert werden, indem der betreffende Transektausschnitt eingescannt, entzerrt und am Bildschirm den Ergebnissen der Geländearbeit gegenübergestellt wird (vgl. Abb. 22).

ULRICH (1996) führte in der Schlenkenregion des zentralen Haidgauer Schildes einen Vergleich von Geländekartierung und Luftbildabbildung mit vergleichbarer Methodik durch. Die Ergebnisse wurden mit denen im Alberser Zwischenmoor verglichen und dienten der Ergänzung des Interpretationsschlüssels. Auch die dort eingerichteten Transekte wurden dauerhaft markiert.

Der dargestellte Vergleich von Abbildung im Luftbild und Geländekartierung wurde für alle Bildflugvarianten des Jahres 1994 (Tab. 6) durchgeführt. Die Einzelobjekte, welche im Luftbild identifiziert werden können, stellen die kleinsten Einheiten einer Luftbildkartierung dar und sind damit die Grundlage eines Interpretations- oder Kartierschlüssels. Im Rahmen des Monitorings muß dieser Eichungsvorgang reproduziert werden können. Dazu wurden neben der verbalen Beschreibung Bildbeispiele mit Hilfe von Deckfolien archiviert. Damit können künftige Bearbeiter von Wiederholungsuntersuchungen den Interpretationsschlüssel anhand der Luftbild-Originale, die in Schärfe und Farbbrillanz erheblich besser sind als Fotoabzüge, anwenden lernen.

3.3.3.3 Ergebnisse

Vorgehensweise und Ergebnisse des Vergleiches der Luftbildauswertung mit der Geländekartierung soll in Abb. 22 exemplarisch anhand des südlichen Teilstückes des Quertransekts 1 veranschaulicht werden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde auf eine Darstellung der zuerst besprochenen Grenzziehung aus dem Luftbild verzichtet.

Legt man auf die Geländekartierung die aus dem Luftbild entnommenen Grenzen, so stellt man fest, daß selbst im Luftbild 1 : 2.000 (Befliegung 1.6.94) oftmals feinere Grenzen gezogen wurden als im Gelände, manchmal wurde aber auch stärker zusammengefaßt. Dies läßt sich dadurch begründen, daß der Kartierer im Luftbild eine wesentlich bessere Übersicht besitzt als im Gelände. Er kann dadurch leichter entscheiden, ob die Vegetation über die Fläche gleichmäßig heterogen zusammengesetzt ist und man daher zusammenfassen kann. Das Erkennen von Vegetationsmustern ist fast ausschließlich im Luftbild möglich. In der Schlenkenregion des Haidgauer Schildes fällt es sogar schwer im Luftbild identifizierte Strukturen im Gelände aufzufinden. Weitere Unterschiede sind im Detail dadurch verursacht, daß der Kartierer z.B. einzelne Bulte *Eriophorum vaginatum* einzeln kartieren oder aber in den Bestand der Umgebung mit einbeziehen kann (xy mit *Eriophorum vaginatum*). Diese Entscheidungen sind stark subjektiv, wie ein Test erbrachte. Sie werden nämlich selbst vom gleichen Kartierer bei anschließender, nochmaliger Kartierung desselben Abschnittes wieder in ganz anderer Weise getroffen. Daraus entstand beim Vergleich Geländekartierung / Luftbilddaufnahme eine methodische Schwierigkeit: Wird beispielsweise im Gelände ein 10 cm großer *Calluna vulgaris*-Fleck in einen 1 m langen Abschnitt mit einbezogen, so hat *Calluna vulgaris* auf diesem Streckenabschnitt eine Deckung von 10%, bezogen auf den einzelnen Fleck hätte es aber 100%. Im Luftbild hat demgegenüber der Fleck die Farbe dunkelbraun, schließt man ihn in seine Umgebung ein, so ergibt sich z.B. beige mit einem dunklen Punkt. Um Fehlinterpretationen zu vermeiden, wurden deswegen für die Bildinterpretation zunächst nur Transektabschnitte herangezogen, deren Abgrenzung in der Gelände- und Luftbildkartierung übereinstimmen. Die Ergebnisse wurden nachfolgend durch einen direkten Vergleich der Abbildung im Luftbild mit der Geländekartierung, wie er mit Hilfe der Darstellung in Abb. 22 möglich ist, ergänzt.

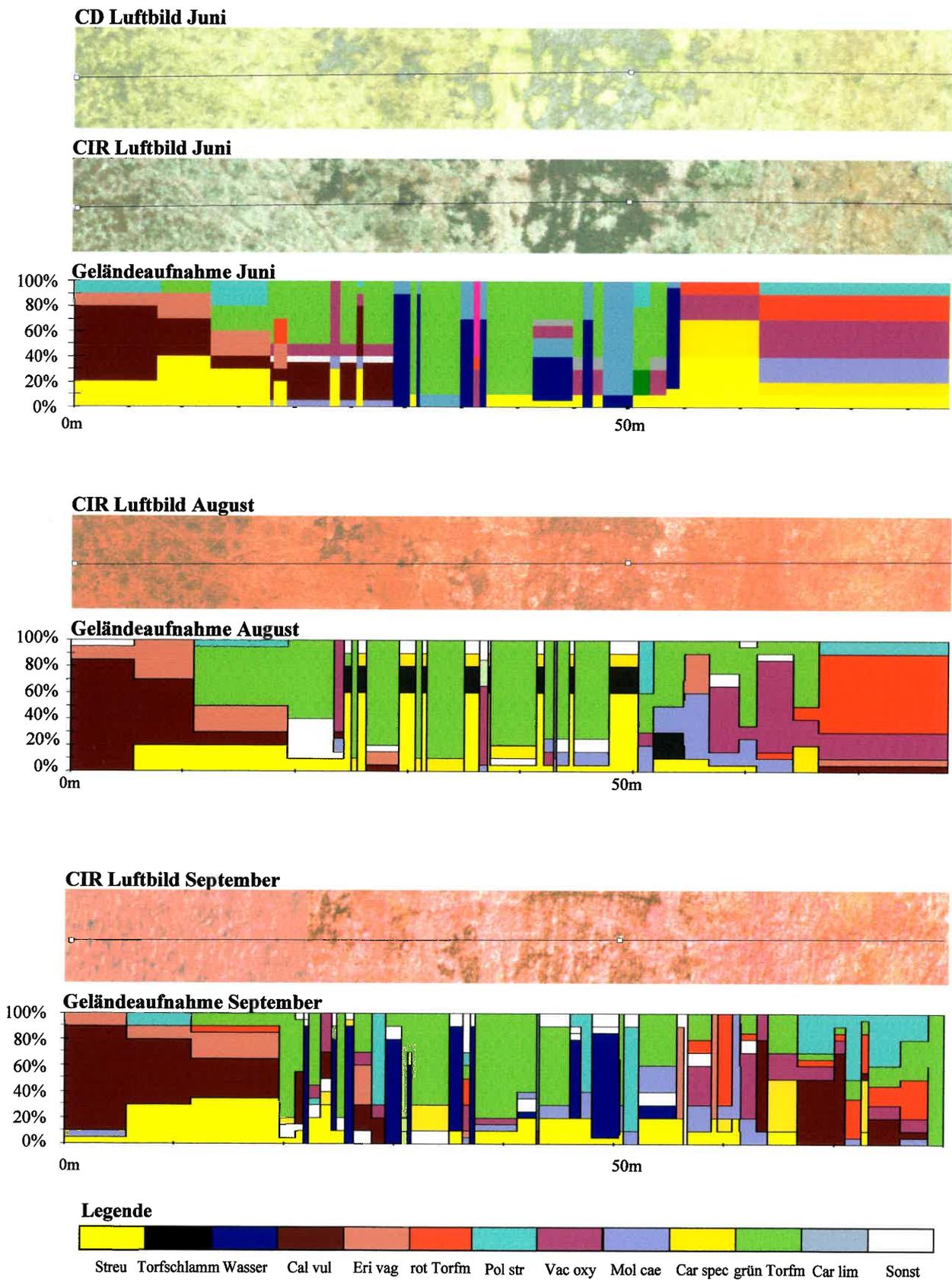


Abb. 22: Abbildung im Luftbild (mit eingezeichnetem Geländetranspekt und Luftbildmarken) im Vergleich zur Geländekartierung (Deckungsgrade) während unterschiedlicher Jahreszeiten

Die Varianten in der Aufnahmetechnik wirkten sich folgendermaßen aus:

- **Filmart:**

Aus Abb. 22 geht deutlich der Unterschied zwischen Color-Dia-Film (CD) und Color-Infrarot-Film (CIR) hervor. Der CD-Film bildet die Farben so ab, wie sie der Mensch wahrnimmt. Infolgedessen ist es einem ungeschulten Betrachter auch in der Senkrechtaufnahme leicht möglich, aus seiner Geländeerfahrung heraus bestimmte Vegetationsbestände anzusprechen. Zur Auswertung eines Color-Infrarot-Filmes ist demgegenüber eine längere Einarbeitungszeit erforderlich. Dafür ist das abgebildete Farbspektrum erheblich weiter und ermöglicht dadurch eine höhere Differenzierung. Bei der Erkennbarkeit von *Vaccinium uliginosum* weist zwar der Farbfilm leichte Vorteile gegenüber dem CIR-Film auf (im ausgewählten Bildausschnitt nicht enthalten). Besonders hervorzuheben ist aber, daß Torfmoose, in ganz besonderem Maße die roten Bultorfmoose, ausschließlich im CIR - Bild erkennbar sind (Abb. 22, Abschnitt 55-68 m).

- **Befliegungszeitpunkt:**

Die Geländekartierung (farbig angelegte Diagramme) gibt sehr deutlich das wechselnde Erscheinungsbild der Vegetation im Laufe des Jahres wieder¹³. Im Frühjahr hat die Streu einen relativ hohen Anteil an der Gesamtdeckung, der im Sommer stark abnimmt und auch im Herbst noch nicht wieder die Höhe der Frühjahrskartierung erreicht. Bei den Kleinseggen (*Carex spec.*) ist demgegenüber ein deutlich gegenläufiges Verhalten zu erkennen: Sie, v.a. auch *Carex limosa*, nehmen von anfänglich noch hohen Deckungsgraden im Frühjahr zum Herbst deutlich ab. Die grünen Torfmoose (dominant i.d.R. *Sphagnum papillosum*) bleiben über die Vegetationsperiode relativ konstant, im Gegensatz zu den roten Torfmoosen (dominant i.d.R. *Sphagnum capillifolium* und *S. magellanicum*), die im Sommer meist am stärksten ins Auge fielen. *Vaccinium oxycoccus* kommt fast ausschließlich zusammen mit roten Torfmoosen vor. Im Herbst spielt es, im Gegensatz zu Frühjahr und vor allem Sommer, nur eine untergeordnete Rolle. Die Verteilung des Wassers ist abhängig vom Niederschlagsreichtum der vorausgehenden Tage. Das Frühjahr und der Herbst waren naß, wie an den zahlreichen wassergefüllten Schlenken zu erkennen ist, der Sommer dagegen sehr heiß. Die Kartierung fand während der langanhaltenden Hitzeperiode statt, weshalb keine einzige Schlenke mehr wassergefüllt war und an manchen Stellen daher der offene Torf zu sehen war.

Auf anderen, hier nicht dargestellten Transekten ist zu erkennen, daß *Eriophorum vaginatum* und auch *Vaccinium oxycoccus* im Sommer oft die Moosdecke abdecken, so daß *Polytrichum strictum* oder auch rote Torfmoose nur noch schwach erkennbar sind. Ein weiterer Grund, warum Torfmoose im Sommer nicht so auffällig sind wie in anderen Jahreszeiten, ist das Auftreten des „Mulcheffektes“. Durch lange Trockenperioden trocknen die obersten Torfmooschichten aus und bekommen dadurch eine bleiche Färbung. Dies wurde insbesondere bei der Sommerkartierung festgestellt. *Calluna vulgaris* und *Molinia caerulea* weisen im Jahresverlauf annähernd gleiche Deckungsgrade auf.

Der Entwicklungszustand der Pflanzenarten in Abhängigkeit von der Jahreszeit schlägt sich ebenfalls sehr stark im Luftbild nieder. In der ersten Junihälfte ist die Vegetation im Luftbild sehr

¹³ Die in den Diagrammen dargestellten Deckungsgrade wurden als senkrechte Projektion, ohne Berücksichtigung verdeckter Pflanzen ermittelt, entsprechen also nicht den Deckungsgraden einer Vegetationsaufnahme nach BRAUN-BLANQUET (1951)

gut differenziert, da artspezifische Farb- und Strukturmerkmale durch den unterschiedlichen phänologischen Zustand verstärkt werden. Manche Arten haben so gut wie keine grünen Organe (*Eriophorum vaginatum*), die Oberfläche ist von abgestorbenem Material bestimmt. Andere treiben gerade aus (*Molinia caerulea*) und weitere Arten sind im Wachstum schon fortgeschritten (Laubbäume, vgl. Abb. 23). Die dadurch entstehenden Farbkontraste erhöhen die Erkennbarkeit von Arten deutlich. Dadurch ist beispielweise Gehölzjungwuchs in Seggenrasen des Zwischenmoores im Frühjahr sehr auffällig. Auch grüne Torfmoosrasen heben sich dann in rosa ab (Abb. 22 10 m- 35 m). Zu dieser Jahreszeit tritt zudem nur selten Wasserstreß auf, so daß eine oberflächliche Austrocknung der Torfmoose und damit blasse Färbung unwahrscheinlicher ist. Bei den roten Torfmoosen wirkt sich das nachteilig auf die Erkennbarkeit aus. Für die grünen Torfmoose ist der Mulcheffekt (S. 10) hingegen von Vorteil, weil sie sich dadurch im Hochsommer als „weiße Wolken“ von den Gräsern abheben. Dies ist besonders zu betonen, da der Hochsommer ansonsten die geringste Farbdifferenzierung aufweist. Die Vitalität und damit die Rotfärbung im CIR bzw. Grünfärbung im CD hat ihren Höhepunkt erreicht. Etwas besser zeigt sich der Herbst, wo durch das Absterben bestimmter Arten bereits wieder zusätzliche Farbdifferenzierungen entstehen.

- **Befliegungshöhe (Maßstab), Abb. 23**

Im Maßstab 1:2.000 ist die Auflösung bereits so hoch, daß *Carex limosa*-Halme in Torfschlammschlenken, einzelne Horste von *Eriophorum vaginatum* auch bei geringen Kontrasten erkannt werden können. Der Überblick ist zudem ausreichend, um großräumige Zusammenhänge, wie z.B. Torfstichmuster, zu erkennen. Farbdifferenzierungen sind sehr gut erkennbar. In noch größeren Maßstäben treten die Strukturmerkmale einzelner Pflanzenindividuen immer stärker in den Vordergrund, Flächenzuordnungen fallen immer schwerer. Die starke Rotfärbung des CIR - Film im M 1: 500 ist nach Auskunft des Schweizer Vermessungsflugdienstes (H. Gautschi, mündlich) technisch begründet, da der Infrarotbereich bei so großen Maßstäben überproportional stark abgebildet wird. Im Maßstab 1:500 gehen selbst kleinflächige Zusammenhänge verloren. So ist beispielsweise die Rasterung des Torfstiches am Stadtkanal (wie im Gelände) nur sehr schlecht zu erkennen, während sie im M 1: 2.000 deutlich in Erscheinung tritt. Dafür sind aber sogar Einzelblätter, -blüten und -halme abgebildet. Im Maßstab 1:5.000 werden klare Grenzen immer unschärfer, die Vegetation ist meist nur noch an Farbmerkmalen differenzierbar.

Der Ergebnisse der Luftbildauswertung im Hinblick auf die Zusammensetzung der Vegetation (Abb. 22) ist der Tab. 7 zu entnehmen, welche die Merkmale der wichtigsten Elemente des Hoch- und Zwischenmoores in den verschiedenen Bildflugvarianten auflistet. Daraus läßt sich folgendes ablesen:

Wie bereits früher dargestellt (S. 60), hängt die Erkennbarkeit von den Kontrasten ab, d.h. inwiefern sich Objekte in Farbe und / oder Strukturmerkmalen gegenüber anderen unterscheiden. Die Auswertungen im Hoch- und Zwischenmoor bestätigen dies. Einzelne Arten lassen sich im Luftbild dann identifizieren, wenn sie durch blaugrüne (z.B. *Vaccinium uliginosum*, *Carex rostrata*, *Phragmites australis*¹⁴), bräunliche (ältere *Calluna vulgaris*), dunkelgrüne (*Polytrichum strictum*), schwärzlich-grüne (*Pinus mugo*) oder rote Farben (Torfmoose) sowie durch horstig / bultigen

¹⁴ *Carex rostrata* und *Phragmites australis* sind wegen ihres Schwerpunktorkommen im Niedermoor nicht in die Tabelle aufgenommen worden.

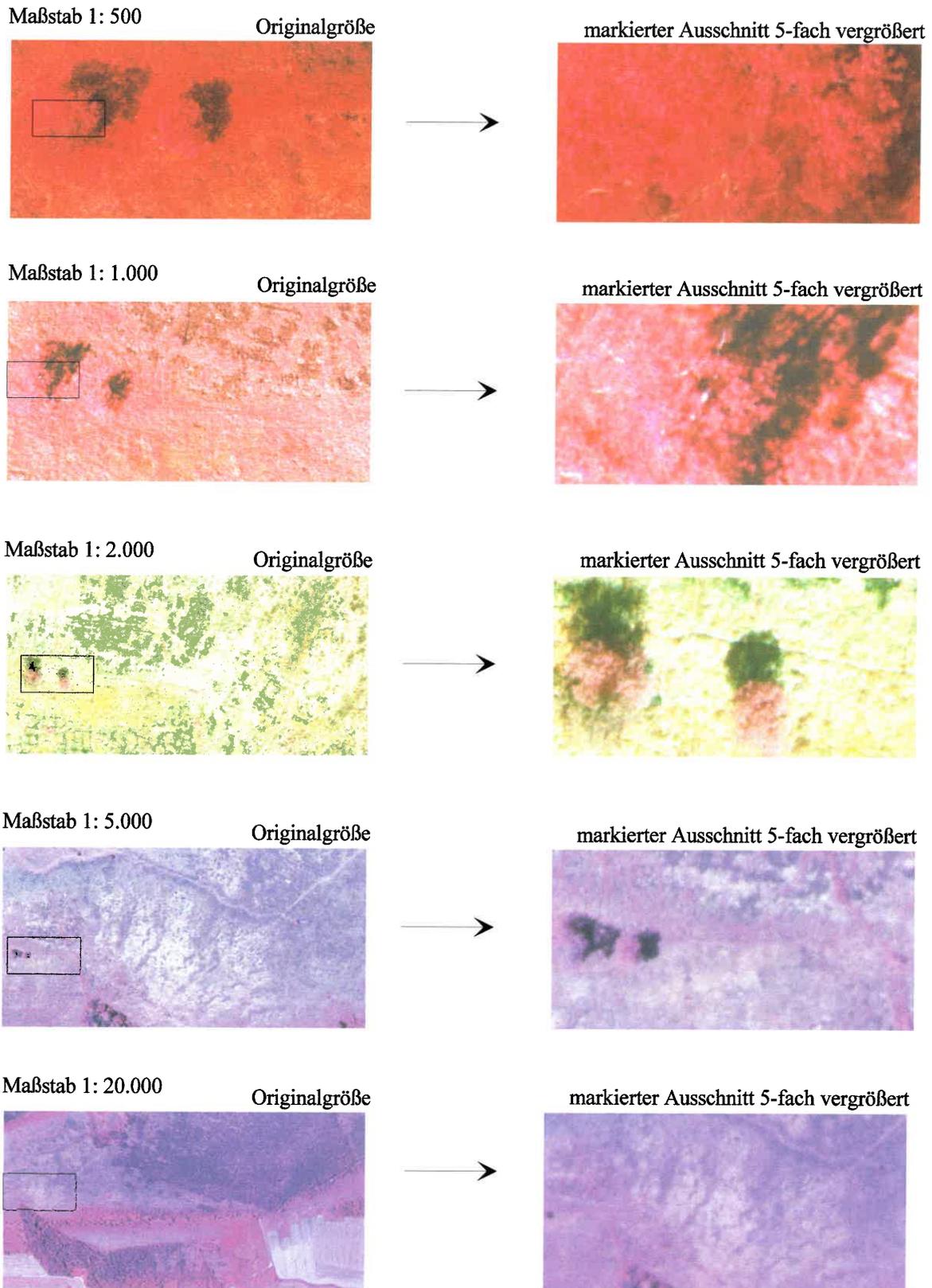


Abb.23: Die Abbildung des Alberser Zwischenmoores in den unterschiedlichen Bildmaßstäben

(*Eriophorum vaginatum*) oder strauch- und baumförmigen Wuchs (Wuchsform von *Pinus mugo*) gekennzeichnet sind. Darüberhinaus heben sich auch Wasserflächen oder Torfschlammshlenken wegen ihrer schwarzen Färbung sehr stark von der Umgebung ab und sind daher schon bei geringer Größe erkennbar. Anders verhält es sich demgegenüber bei Süß- oder Sauergräserbeständen, wie Kleinseggenrasen oder auch nur schwach horstigen Beständen von *Eriophorum vaginatum*, die alle eine ähnlich grüne Färbung und keine ausgeprägten Strukturmerkmale aufweisen. Da in einem solchen Fall eine konkrete Artansprache über das Luftbild nicht erfolgen kann, muß für verwechselbare Arten ein gemeinsamer Überbegriff gewählt werden, für das obige Beispiel „Gräser“.

Tab. 7: Merkmale der wichtigsten Einzelobjekte im Hoch- und Zwischenmoor in den unterschiedlichen getesteten Bildflugvarianten (° Indikatoren gemäß Tab. 5, Nummerierung vgl. Tab. 9)

Einzelobjekt	Maßstab/Filmtyp/ Datum	1:2.000 /CIR/1.6.94	1:2.000 /CD/1.6.94	1:500 /CIR/31.7.94	1:1.000 /CIR/20.9.94
	1	Wasser	matt schwarz, strukturlos	matt schwarz glänzend, strukturlos	matt schwarz, strukturlos
2	grüne, flutende Torfmoose	gleichmäßig intensiv rosa, z.T. von Wasser durchsetzt	hellgrün, z.T. von Wasser durchsetzt	-	gleichmäßig intensiv rosa, z.T. von Wasser durchsetzt
3	wassergefüllte Schlenken bzw. im Sommer austrocknende Schlenken°	matt schwarz, aufgrund teilweise oberflächlicher Streu oder einzelnen Seggenhalmen strukturiert	matt schwarz, aufgrund teilweise oberflächlicher Streu oder einzelnen Seggenhalmen strukturiert	matt schwarz, aufgrund teilweise oberflächlicher Streu oder einzelnen Seggenhalmen strukturiert	matt schwarz, einzelne Seggenhalme oder oberflächliche Streu deutlich erkennbar
4	grüne, nicht flutende Torfmoose°	blaßrosa, ab 60 % sicher erkennbar, zwischen 20 und 60%, v.a. zwischen Seggenrasen mit Fehlern	hellgrün, ab 50% Deckung, jedoch mit Fehlern, da oft auch bei höherer Deckung beige	weißliche Wolken, auch bei höherer Deckung der Krautschicht darunterliegende Moosschicht deutlich erkennbar	rosa Moosdecke, ab 30% Deckung bei gleichzeitig geringer Deckung von <i>Polytrichum strictum</i> (< 20%)
5	rote Torfmoose°	orange, sicher ab 20 % Deckung erkennbar	rostbraun, ab 60% Deckung allerdings nur mit Fehlern erkennbar, bei stärkerer Durchmischung mit anderen Arten beige	rote Mooschicht, nicht von anderen Arten zu trennen	orange, ab 30% Deckung bei gleichzeitig geringer Deckung (<20%) von <i>Polytrichum strictum</i>
6	<i>Eriophorum vaginatum</i>	flechtengrün, wenn horstiger Wuchs gut von <i>Molinia caerulea</i> zu trennen	beige wenn horstiger Wuchs von <i>Molinia caerulea</i> zu trennen	rot, wenn horstiger Wuchs gut von <i>Molinia caerulea</i> zu trennen	rosa, wenn horstiger Wuchs gut von <i>Molinia caerulea</i> zu trennen
7	<i>Calluna vulgaris</i> °	dunkelbraune Kleinbüsche, ab 30 % Deckung	dunkelbeige, dunkelbraune, schwarzgrüne Kleinbüsche, ab 30 % Deckung, bis 60% mit Fehlern (siehe <i>Polytrichum strictum</i>)	dunkler rote Kleinbüsche	braunrote Kleinbüsche, ab 30 % Deckung, nicht von <i>Vacc. uliginosum</i> zu trennen.
8	<i>Vaccinium uliginosum</i> °	intensiv rosa Kleinbüsche, ab 30% Deckung	blaugüne Kleinbüsche, ab 30 % Deckung	streuselkuchenartige, dunkler rote Büsche	siehe <i>Calluna vulgaris</i>
9	<i>Polytrichum strictum</i>	nicht sicher ansprechbar, bei Vergesellschaftung mit roten Torfmoosen durch deren orange überlagert, intensiv rot	dunkelbeige, ab 60% Deckung, 40-60% zu verwechseln mit <i>Calluna vulgaris</i> <60%	rote Mooschicht, nicht von anderen Arten zu trennen	intensiv rot, ab 30% Deckung
10, 11, 12	<i>Pinus spec.</i> °	weinrote Büsche, bereits unter ca. 0,5 m Höhe	dunkelgrüne Büsche, bereits unter ca. 0,5 m Höhe, v.a. im jungen Zustand schlecht von Laubbüschchen zu trennen	dunkelrote Büsche, ab 0,5m Höhe, erst ab einer Höhe von ca. 20cm über der Krautschicht erkennbar	dunkelrote Büsche, ab ca. 0,5m Höhe, erst ab einer Höhe von ca. 20cm über der Krautschicht erkennbar

Fortsetzung Tab. 7

Maßstab/Filmtyp/ Datum Einzelobjekt		1:2.000 /CIR/1.6.94	1:2.000 /CD/1.6.94	1:500 /CIR/31.7.94	1:1.000 /CIR/20.9.94
13	Kleinseggen	beige bis rosa, nur in Schlenken aufgrund der fädigen Struktur erkennbar, sonst mit Eriophorum vaginatum u. Molinia caerulea zu verwechseln	beige, nur in Schlenken aufgrund der fädigen Struktur erkennbar, sonst mit Eriophorum vaginatum u. Molinia caerulea zu verwechseln	rot, in Schlenken ab 10% Deckung wegen der fädigen Struktur fast als Einzelhalme erkennbar	rosa, nur in Schlenken aufgrund der fädigen Struktur erkennbar, sonst mit Eriophorum vaginatum u. Molinia caerulea zu verwechseln
13	<i>Molinia caerulea</i> °	beige bis flechtengrün, bei rasigem Wuchs nur in Schlenken von Kleinseggen, bei horstigem nicht von Eriophorum vaginatum zu trennen	kaum zu trennen, da einheitlich beige, auch Strukturen schlechter erkennbar als im CIR	rot, bei rasigem Wuchs nur in Schlenken von Kleinseggen, bei horstigem nicht von Eriophorum vaginatum zu trennen	rosa rasig, flächige Molinia-Bestände („Pfeifengraswiese“) von Braunschimmer überzogen (Samenstand)
14, 17, 20	<i>Picea abies</i>	dunkelrote, durch sternförmigen Querschnitt erkennbar	dunkelgrün, durch sternförmigen Querschnitt erkennbar	dunkelrote, durch sternförmigen Querschnitt erkennbar	dunkelrote, durch sternförmigen Querschnitt erkennbar
15, 18,	<i>Salix spec.</i> °	rosa Büsche, bereits unter 0,5 m Höhe erkennbar erst durch Polykormonwuchs in höherem Alter von anderen Laubbüschen trennbar	grüne Büsche, bereits unter 0,5 m Höhe erkennbar erst durch Polykormonwuchs in höherem Alter von anderen Laubbüschen trennbar	rote Büsche, erst ab einer Höhe von ca. 20cm über der Krautschicht erkennbar erst durch Polykormonwuchs in höherem Alter von anderen Laubbüschen trennbar	rote Büsche, erst ab einer Höhe von ca. 20cm über der Krautschicht erkennbar erst durch Polykormonwuchs in höherem Alter von anderen Laubbüschen trennbar
16, 19, 21	Laubbüsche° <i>Betula pubescens</i> , <i>Frangula alnus</i>	rosa Büsche, bereits unter 0,5 m Höhe erkennbar Arten nicht trennbar	grüne Büsche, bereits ab 0,5 m Höhe erkennbar Arten nicht trennbar	rote Büsche, erst ab einer Höhe von ca. 20cm über der Krautschicht erkennbar Arten nicht trennbar	rote Büsche, erst ab einer Höhe von ca. 20cm über der Krautschicht erkennbar Arten nicht trennbar
22	Totholz	Gehölze in fahlem grau	Gehölze in fahlem beige-grün	Gehölze in fahlem grau	Gehölze in fahlem grau
23	offener Torf°	schwärzlich, stumpf, wie verbrannt	schwärzlich, stumpf, wie verbrannt	-	schwärzlich, stumpf, wie verbrannt

Durch die Auswahl der entsprechenden Kanäle (blau, grün, rot für Echtfarbe, grün, rot, nahes Infrarot für Color-Infrarot-Darstellung) können am Monitor aus Scannerdaten mit Luftaufnahmen in einem kleineren Maßstab als 1 : 20.000 vergleichbare Bilder erzeugt werden. Die visuelle Auswertung am Bildschirm ist zwar möglich, jedoch wenig sinnvoll, da nur ein Teil der Informationen durch die Beschränkung auf drei der sechs Kanäle genutzt wird und ohnehin beim Einsatz eines flugzeuggestützten Scanners auch Luftbilder angefertigt werden sollten.

3.3.3.4 Methodenbewertung

Die visuelle Auswertung hat Farb-Infrarotbilder vom Frühjahr im Maßstab 1 : 2.000 als beste Bildflugvariante zur Differenzierung der Hoch- und Zwischenmoorvegetation identifiziert. Die wichtigsten Unterschiede zu anderen Varianten sind folgende:

- Rote Torfmoose können im Gegensatz zum Echtfarben-Film eindeutig identifiziert werden. Sie sind bei flächigem Auftreten gleichzusetzen mit den charakteristischen Bulttorfmoosen¹⁵ *Sphagnum magellanicum* und *S. capillifolium*.
- Durch verstärkte Farbkontraste im Vergleich zu späteren jahreszeitlichen Befliegungsterminen sind auch wenig auffällige Arten wie grüne Torfmoose oder Gehölzjungwuchs erkennbar.
- Sie stellen einen guten Kompromiß zwischen größeren Maßstäben dar, in denen zunehmend der räumliche Zusammenhang verloren geht, dafür aber artspezifische Strukturelemente hervortreten und kleineren Maßstäben mit umgekehrtem Effekt. Lagebeziehungen innerhalb des Moores werden gut erkannt, ebenso wie strukturelle Merkmale von Arten.

Tab. 7 zeigt auf, daß die Mehrzahl der im Wurzacher Ried ausgewählten Indikatoren (Tab. 5, S. 42) zu den Objekten gehören, die in den CIR-Luftbildern vom Juni besonders gut identifizierbar sind. Hervorzuheben ist die gute Erkennbarkeit roter Bulttorfmoose. Grüne, nicht flutende Torfmoose, die im Zwischenmoor gleichzusetzen sind mit *Sphagnum papillosum*, sind im Gegensatz dazu nur teilweise sichtbar. Die Verbreitung dieser Art kann daher ausschließlich über das Luftbild nicht sicher ermittelt werden. Allerdings heben sich grüne Torfmoosrasen gegenüber Torfschlammschlenken stark ab, so daß dort sehr wohl ihre Ausbreitung oder ihr Rückgang durch Luftbilder dokumentiert werden kann. *Molinia caerulea* kann nicht von anderen merkmalsarmen Gräsern unterschieden werden. Eine Trennung zwischen Seggenrasen und Pfeifengraswiese ist daher ausschließlich über Luftbilder nicht möglich. In den Zwergstrauchheiden des gestörten Hochmoores kommen dagegen keine anderen Arten vor, mit denen sie verwechselt werden kann. Daher ist der Typ „Gräser“ hier mit *Molinia caerulea* gleichzusetzen. *Pinus mugo* ist über das Luftbild nicht eindeutig von *Pinus sylvestris*, welche im Randgehänge (S. 19) häufig vorkommt, zu trennen. Für das Monitoring ist die Bewaldungsdichte und -ausbreitung durch die Kiefer im allgemeinen von besonderem Interesse. Eine Differenzierung nach Arten besitzt erst nachrangige Bedeutung.

Es läßt sich also feststellen, daß viele ausgewählte Indikatoren in CIR-Luftbildern vom Frühjahr eindeutig, manche auch nur mit Einschränkung identifiziert werden können. Über Luftbilder lassen sich dennoch alle in Tab. 4 zusammengestellten möglichen Entwicklungen im Hoch- und Zwischenmoor beobachten. Ohne zusätzliche Geländeaufnahme ist es aber nicht möglich, Veränderungen im Übergangsbereich vom Basen-Zwischenmoor und Niedermoor, also von Braunmoosseggen- und Pfeifengrasrasen zu erkennen.

Die „Eichung“ oder „Kalibrierung“ der Luftbilder muß für jede Befliegung aufs Neue stattfinden, da aufgrund mangelnder Standardisierungsmöglichkeiten von Luftbildern keine vollständige Übertragbarkeit der Ergebnisse möglich ist (VORETZSCH et al. 1986).

¹⁵ Rotgefärbte Zwischenmoortorfmoose treten i.d.R. so kleinflächig auf, daß sie sich nicht auf die Abbildung der Vegetation im Luftbild auswirken.

3.3.4 Kartierung

3.3.4.1 Einleitung

Unter einer Karte versteht man „die maßstäblich verkleinerte, generalisierte und erläuterte Grundrißdarstellung von Erscheinungen und Sachverhalten der Erde“ (INTERNATIONALE KARTOGRAPHISCHE VEREINIGUNG 1973 zitiert in HAKE 1982). Sie ist ein Modell der Wirklichkeit, da sie es ermöglicht, die zunächst regellose Fülle der Umweltinformationen durch Ordnung und Reduktion faßbar zu machen. Inwieweit sie mit der wirklichen Situation übereinstimmt, hängt in entscheidender Weise von der Modellbildung, also Generalisierung ab, die um so stärker sein muß, je kleiner der Darstellungsmaßstab ist. Neben der eigentlichen Grundrißdarstellung gehören zu einer Karte Angaben zur geographischen Lage (überlagertes Koordinatensystem, Nordpfeil, Maßstab) und die Erläuterung der ausgewählten Inhalte in Form einer Legende (HAKE 1982).

„Eine Pflanzengemeinschaft ist ohne den Raum, den sie besiedelt, nicht denkbar. Sie ist also ihrem Wesen nach eine Erscheinung des geographischen Raumes und ändert sich mit dessen Abwandlungen.“ (ELLENBERG 1956) Eine Vegetationskartierung stellt folglich die Grundlage für die Beschreibung der Vegetation in einem Untersuchungsgebiet dar und hat daher eine Tradition, die weit ins letzte Jahrhundert zurückreicht. Der Zwang zur Generalisierung macht es erforderlich, die Vegetation in Klassen einzuteilen. Vor allem in Europa entwickelten sich unterschiedliche Schulen, die eine Vielzahl von Methoden, insbesondere für kleine Maßstäbe entwickelten (KÜCHLER & ZONNEVELD 1988). Für großmaßstäbliche Karten ist im deutschsprachigen Raum am weitesten die Vegetationskartierung auf floristischer Grundlage nach BRAUN-BLANQUET (1964) verbreitet, welcher entweder die festgelegten Einheiten des pflanzensoziologischen Systems oder lokal ermittelte Vegetationstypen zugrunde liegen.

Auch die Mehrzahl moorkundlicher Gebietsbeschreibungen beinhalten Vegetationskarten. Der kleinräumige Wechsel der Vegetation erschwert oder verhindert allerdings die Kartierung von Pflanzengesellschaften. In den üblichen Kartenmaßstäben (kleiner als 1 : 1.000) ist daher eine weitere Generalisierung zu „Komplexen“ erforderlich (OSVALD 1923, KATZ 1930, NEUHÄUSL 1972), wie es auch LÜTH (1989 a) im Wurzacher Ried vollzog. Bereits in frühesten moorkundlichen Werken wurde in noch größeren Maßstäben versucht, zumindest die Form von Schlenken und Kolken sehr detailliert frei (z.B. FRÜH & SCHRÖTER 1904, HUECK 1925, KÄSTNER & FLÖSSNER 1933) oder mit Hilfe eines Rasters (Overbeck & Straka 1949 zitiert in OVERBECK 1950) abzuzeichnen.

Versuche, Vegetationskartierungen mit vergleichbarer Methode und übereinstimmenden Einheiten, nach vielen Jahren Zeitdifferenz, zu wiederholen, um Vegetationsveränderungen feststellen zu können, wurden, sofern sie nicht auf Dauerbeobachtungsflächen bezogen sind, vergleichsweise selten durchgeführt (z.B. für Feuchtgebiete: BACKEUS 1972, BÖCKER & STÖHR 1995, FRANKL 1996, JENSEN 1976).

In Deutschland wurden erstmals von LUTZ (1951, vgl. S. 19) speziell aus diesem Anlaß erzeugte Luftbilder zur Dokumentation des Zustandes eines Moores, allerdings ohne Umsetzung in eine Karte, verwendet. Eine Kartierung über Fernerkundungsdaten, welche die Vegetation bis auf Artni-

veau differenziert und damit nur vergleichsweise wenig generalisiert, wurde bisher für Wälder (z.B. europäische Baumarten VDI 1990, tropischer Regenwald KÜCHLER & ZONNEVELD 1988) beschrieben. Bei der Kartierung von Mooren aus der Luft, wie sie in den Ländern mit ausgedehnten, unwegsamen Moorkomplexen der nördlichen Hemisphäre betrieben wird, steht die Verteilung von Oberflächenstrukturen und Bewaldungszuständen in kleinen Bildmaßstäben im Vordergrund der Untersuchungen (STOVE & ROBERTSON 1980, IVANOV 1981, RAFSTEDT & ANDERSON 1982, GLASER et al. 1981, FOSTER et al. 1983, GLASER & JANSSENS, 1986, NATURE CONSERVANCY COUNCIL 1988). Neuerdings gibt es auch Ansätze für die Verwendung automatischer Kartierverfahren, wie sie in Kap. 3.3.4.4 näher erläutert werden.

3.3.4.2 Entzerrung und Georeferenzierung

3.3.4.2.1 Einleitung

Fernerkundungsdaten geben zunächst ein verzerrtes Bild der Erdoberfläche wieder. Dies ist zum einen von der Zentralprojektion des Fotos bzw. der Panorama-Verzerrung beim Scanner verursacht, wodurch ebenes, noch stärker aber steiles Gelände, insbesondere zum Bildrand bzw. Abtastrand hin, verzerrt dargestellt wird. Zum anderen ist es eine Folge von Pendelbewegungen des Flugzeuges und gerätespezifischer Abweichungen (z.B. Linsenfehler). Die Transekte im Alberser Zwischenmoor sind mit einer Abweichung von maximal 10 cm (durchhängendes Maßband), im Abstand von 50 m, luftbildsicher markiert. In Tab. 8 wurden die Entfernungen im Gelände und auf dem Luftbild verglichen.

Luftbildmaßstab	Entfernung zweier Luftbildmarken (im Luftbild, in cm)	maximal möglicher Fehler (bezogen auf die Messungen, in %)	maximal möglicher Fehler (bezogen auf 50 m im Gelände)
1 : 500 (10cm = 50m)	9 cm - 10,1 cm	±11 %	±5,5 m
1 : 1.000 (5cm = 50m)	4,45 cm - 5,55 cm		
1 : 2.000 (2,5cm = 50m)	2,3 cm - 2,55 cm		

Tab. 8: Vergleich der Entfernungen zwischen zwei Transektmarkierungen im Gelände (Abstand 50 m) und im Luftbild

Die dokumentierten maximalen Abweichungen von $\pm 11\%$ besagen, daß selbst ein Vergleich von Vegetationsgrenzen, die auf Deckfolien von Luftbildern gleichen Maßstabes, aber unterschiedlicher Jahre eingetragen wurden, nur mit großen Unsicherheiten möglich ist. Dabei ist noch zu berücksichtigen, daß allein die Strichbreite eines sehr feinen Tuschefüllers von 0,18 mm im Maßstab 1 : 2.000 35 cm im Gelände entspricht. Noch anzweifelbarer wird es, wenn die Grenzen von Hand relativ in einen Plan übertragen werden, insbesondere wenn, wie im Wurzacher Ried, langlebige Orientierungspunkte, z.B. Parzellenecken, Wegkreuzungen, Gebäudekanten o.ä., fehlen.

Voraussetzung für eine lagegenaue Kartierung ist daher die Entzerrung des Bildmaterials, die meist mit einer Georeferenzierung (Überführung in das ortsübliche Koordinatensystem) einhergeht.

3.3.4.2.2 Methodenauswahl und Vorgehensweise

Für jede Georeferenzierung und Entzerrung von Fernerkundungsdaten wird eine ausreichende Anzahl von Paßpunkten (ground control data) benötigt, deren Lagekoordinaten bekannt sind. Für Luftbilder sind davon im Überlappungsbereich eines Bildpaares mindestens vier erforderlich, die bei Bildmaßstäben von 1 : 5.000 in der Regel durch Festpunkte des Landesvermessungsamtes abgedeckt werden. Die Paßpunkte müssen zum Zeitpunkt der Befliegung luftbildsicher markiert sein. Im Wurzacher Ried liegen die Festpunkte des Landesvermessungsamtes nur im direkten Umfeld, nicht aber im Gebiet selbst. Sie konnten daher nur als Grundlage für die Entzerrung kleinmaßstäblicher Luftbilder im M 1 : 20.000 herangezogen werden. Für größere Maßstäbe reichte die vorhandene Dichte nicht aus. Um dennoch eine Entzerrung durchführen zu können, wurden folgende Verfahren in Betracht gezogen bzw. ausgewählt:

- **Einmessen von Paßpunkten im Gelände:**

Um eine Grundlage für die Entzerrung großmaßstäblicher Luftbilder im gesamten Wurzacher Ried zu schaffen, wäre das Einmessen und Signalisieren von mindestens 1.500 gleichmäßig verteilten Paßpunkten erforderlich gewesen. Dem standen jedoch die enormen Kosten und das Schutzziel entgegen. In ausgewählten Teilbereichen, die für eine detaillierte Kartierung auf Luftbildbasis von besonderem Interesse sind, wie das Alberser Zwischenmoor, die Schlenkenregion des Haidgauer Schildes, das Haidgauer Torfstichgebiet, wurden daher die in definierten Abständen eingerichteten Transektmarkierungen für eine relative Entzerrung, d.h. ohne Bezug zum örtlichen Koordinatensystem, herangezogen. Die Transektmarkierungen wurden mit Vermessungssteinen oder Magneten dauerhaft markiert, so daß sich auch spätere Bildflüge auf dieses Koordinatensystem beziehen können.

- **Aerotriangulation:**

Beginnend mit den Festpunkten des Landesvermessungsamtes werden fortlaufend für jedes Bildpaar Paßpunkte berechnet. Liegen im Bildausschnitt wieder signalisierte Punkte, so läßt sich der Fehler zwischen den berechneten und den tatsächlichen Koordinaten ermitteln. Dieser wird dann auf die bisher erfolgten Berechnungen verteilt. Das Verfahren wird von Firmen, die auf Photogrammetrie spezialisiert sind, für 100,- DM bis 200,- DM je Bildpaar angeboten, was in großen Bildmaßstäben mit einer Vielzahl von Bildpaaren Kosten in fünfstelliger Höhe verursacht hätte und daher für das Wurzacher Ried nicht finanzierbar war.

- **Verwendung von schwarzweiß Orthophotos des Landesvermessungsamtes:**

Auf diesen Bildern werden Objekte ermittelt, die zweifelsfrei auch auf den zu entzerrenden Luftbildern identifizierbar sind. Die Koordinaten werden dann aus dem Orthophoto gemessen. Diese Vorgehensweise wurde von der beauftragten Firma für die Entzerrung der Scannerdaten verwendet.

Aufgrund der geringen Höhenunterschiede im Wurzacher Ried reichte es aus, die Luftbilder mit Standardfunktionen der Bildverarbeitungssoftware zu entzerren (ERDAS 1992 - 1994). Im anderen Fall hätten Orthophotos erzeugt werden müssen, was ein digitales Höhenmodell und ein Zusatzmodul für die Software vorausgesetzt hätte.

3.3.4.2.3 Umsetzung und Methodenbewertung

Die Georeferenzierung von Luftbildern im M 1 : 20.000 anhand von signalisierten Festpunkten des Landesvermessungsamtes im engeren Umfeld des Wurzacher Riedes wies zunächst große Fehler zwischen 5 und 15 m auf. Als Ursache stellte sich der Umstand heraus, daß viele Festpunkte bis zu 80 m über dem Wurzacher Ried liegen. Dadurch treten reliefbedingte Verzerrungen auf, die im Ried selbst wegen der geringen Höhenunterschiede zu vernachlässigen sind. Um dennoch ohne die Erstellung von Orthophotos zu lagegenauen Ergebnissen zu gelangen, blieben Festpunkte mit mehr als 5 m Höhenunterschied im Vergleich zum Wurzacher Ried unberücksichtigt. Mit den verbleibenden 4 Festpunkten konnte eine Lagegenauigkeit (RMS-Error gemäß ERDAS 1992 - 1994) von etwa 2 m erzielt werden, die für eine Beobachtung großräumiger Veränderung toleriert werden kann (vgl. S. 43).

Die Entzerrung der großmaßstäblichen Luftbilder erbrachte Abweichungen von maximal 20 cm (RMS-Error gemäß ERDAS 1992 - 1994). Die Lagegenauigkeit reicht damit gerade noch zur Beobachtung kleinräumiger Veränderungen in der Vegetation aus. Bei Luftbildern diesen Maßstabes können aber bei gleicher Verfahrensweise erheblich bessere Ergebnisse erzielt werden. Als Ursache für die vergleichsweise hohe Abweichungen v.a. im Alberser Zwischenmoor konnten nicht völlig lotrecht stehende Luftbildmarken auf Holzpflocken identifiziert werden, was zu fehlerhaften Paßpunktkoordinaten führte.

Die Georeferenzierung der Scannerbilder (zur Vorgehensweise ALBERTZ 1991) erfolgte laut Auskunft der ausführenden Firma auf der Basis von Orthophotos des Landesvermessungsamtes, deren Genauigkeit in Abhängigkeit vom Relief mit ca. 2 bis 10 m angegeben wird. Bei Scannern muß man zusätzlich noch mit gerätespezifischen Abweichungen von durchschnittlich 5 bis 6 Pixeln, also bei höchster Auflösung von 5 bis 6 m, rechnen. Dies ergäbe zusammen eine Abweichung von 7 bis 16 m, die im Hinblick auf die Erfordernisse eines Monitorings nicht mehr akzeptabel wären. Eine Überprüfung anhand zuordenbarer Paßpunkte, ergab jedoch, daß eine Lagegenauigkeit von insgesamt 1 bis 2 m wahrscheinlich ist. Die Ursache liegt möglicherweise an den auf die Fläche bezogen geringen Reliefunterschieden. Damit sind auch die vorhandenen Scannerdaten für die Beobachtung großräumiger Veränderungen im Wurzacher Ried geeignet.

3.3.4.3 Manuelle Verfahren

3.3.4.3.1 Kartierschlüssel

Der Kartierschlüssel und die Legende einer Karte sind identisch. Die darin enthaltenen Einheiten sind das Ergebnis einer Generalisierung der realen Umstände. Der Kartierschlüssel muß um so stärker zusammenfassen, je kleiner der Maßstab ist, da ansonsten die Karte aufgrund zu geringer Flächengrößen graphisch nicht mehr umsetzbar oder einfach nicht mehr lesbar ist. Damit steigt aber auch der Interpretationsspielraum des Bearbeiters, wodurch, bezogen auf die Anforderungen eines Monitorings, die Reproduzierbarkeit der Methode sinkt. Dies ist auch der Grund, weshalb vegetationskundliches Monitoring bisher im wesentlichen gleichzusetzen war mit der Wiederholung von Vegetationsaufnahmen in Dauerbeobachtungsflächen. Die wenigen Arbeiten, welche sich mit Wiederholungen von Vegetationskartierungen (in Feuchtgebieten: BACKEUS 1972, BÖCKER & STÖHR 1995, FRANKL 1996, JENSEN 1976, auch LÜTH 1989a zu den Kartiereinheiten von ILSCHNER 1959) befassen, schildern übereinstimmend Probleme hinsichtlich der Auslegung oder Übertragung der Kartiereinheiten auf heutige Verhältnisse und Ansichten. Will man Vegetationskarten für ein Monitoring heranziehen, so muß die Vegetation so detailliert wie möglich differenziert werden. Ausschlaggebend für die Wahl der Einheiten eines Kartierschlüssels ist zunächst die Aussageschärfe, die bei herkömmlichen Geländekartierungen durch den Maßstab vorgegeben wird. Bei einer Kartierung mit Hilfe von Luftbildern ergibt sich die kleinstmögliche Einheit aus der Auflösung der Luftbilder. Diese ist bei den im Wurzacher Ried gewählten Luftbildmaßstäben (minimal 1 : 2.000) so hoch, daß auch in der Krautschicht einzelne Pflanzenindividuen differenziert werden könnten. Aus wissenschaftlicher Sicht wäre das zwar wünschenswert, es läßt sich aber schon allein aus technischen Gründen (die Flächen sind graphisch nicht mehr abgrenzbar), zumindest mit manuellen Verfahren nicht umsetzen. Daher ist auch hier ein Generalisierungsschritt erforderlich.

Die klassische Form der Vegetationskartierung kann bei der Ableitung eines Kartierschlüssels für eine Vegetationskartierung über Luftbilder nicht weiterhelfen. Mit Hilfe von Luftbildern können im optimalen Fall besonders auffällige, nicht unbedingt dominante Arten oder aber in Struktur und Färbung nicht weiter differenzierbare Artengruppen unterschieden werden, nicht aber Vegetationsgesellschaften oder deren, oftmals in nur geringen Deckungsgraden auftretenden Differentialarten.

Grundeinheiten sind die Arten bzw. Artengruppen, die im Luftbild (CIR 1 : 2.000, Junibefliegung) eindeutig zu differenzieren sind (vgl. Tab. 7). Eine Kartierung mit Hilfe dieser Grundeinheiten ergibt die für eine ausschließliche Luftbildkartierung höchstmögliche Aussageschärfe. Sie sind aber nur dann flächig kartierbar, wenn die Art oder Artengruppe im Luftbild monodominant auftritt, d.h. nicht oder nur kaum mit anderen Arten vermischt ist. Im Luftbild erscheinen zahlreiche, in der Realität mit anderen Arten durchmischte Bestände als monodominant, da bestimmte auffällige Merkmale das Erkennen der Begleiter verhindern. Dennoch treten auch im Luftbild so stark durchmischte Bestände auf, daß eine ausschließliche Kartierung von Grundeinheiten unmöglich ist. Es müßte dann jeder erkennbare *Eriophorum vaginatum* - oder Torfmoosbult manuell abgegrenzt werden müßte (zu automatischen Verfahren vgl. Kap. 3.3.4.3.3).

Diese Problematik könnte man dann umgehen, wenn man ausschließlich Dominante kartiert („Soziation“ nach Du Rietz 1921 in ELLENBERG 1956, z.B. grau unterlegte Überschriften im Kartierschlüssel, Tab. 7), was bei annähernd gleichen Deckungsgraden von 2 oder 3 Arten sicher auch zu Abgrenzungsproblemen führen kann. Wesentlich schwerwiegender ist allerdings das Argument, daß eine Art bei unterschiedlichen Standortbedingungen zur Dominanz gelangen kann, was aber nur durch die begleitenden Arten erkannt werden könnte (ELLENBERG 1956). Daher muß im Rahmen einer Erfolgskontrolle versucht werden, soweit wie möglich alle erkennbaren Arten mit ihren Deckungsgraden aufzunehmen.

In Tab. 9 wurde ein Vorschlag für zusammengefaßte Einheiten im Hoch- und Zwischenmoor zusammengestellt. Die Benennung erfolgt nach der dominanten Art, die wesentlichen Begleiter werden nachfolgend in der Reihenfolge der Deckungsgrade aufgelistet. Fehlen Begleiter, so kann die Grundeinheit kartiert werden. Die Tabelle ist beliebig ergänzbar. Ist eine Kartierung der zusammengefaßten Einheiten zu aufwendig, da z.B. jeder kleine *Calluna*-Bult in einer Grünen Torfmooschlenke getrennt werden müßte, wird nicht die durchschnittliche Verteilung der Arten, sondern es werden die zwei zusammengefaßten Einheiten in der Reihenfolge der Häufigkeit angegeben. Im genannten Beispiel ist falsch: 13.4,7,5, richtig: 13.4;7.5. Im Bedarfsfall kann auch das Verteilungsmuster der untergeordneten Einheiten (z.B. fleckenförmig) angegeben werden.

Durch diese Form der Luftbildkartierung ist es möglich, die Vegetation mit einem Maximum an Detailschärfe aufzunehmen. Die zusammengefaßten Einheiten sind in der Regel gut und mit relativ geringer Unsicherheit abgrenzbar. Der Interpretationsspielraum ist aufgrund der geringen Artenzahlen und weitgefaßten Deckungsgradskalen sicher geringer als bei den für Dauerbeobachtung verwendeten Schätzskalen der klassischen Vegetationsaufnahme. Sie eignen sich damit sehr gut für eine Erfolgskontrolle bzw. ein Monitoring.

Im Wurzacher Ried weisen die zusammengefaßten Grundeinheiten eine so hohe Variationsbreite auf, daß sich daraus zunächst eine Karte mit geringer Lesbarkeit ergibt. Um diese zu verbessern, müssen die gewählten Einheiten weiter aggregiert werden. Im folgenden werden dazu, soweit möglich, die im Luftbild erkennbaren Artenzusammensetzungen gemäß ihrer Indikatoreigenschaften der in der Literatur beschriebenen Gliederung von Hoch- und Zwischenmoorvegetation (KAULE 1973, OBERDORFER 1977, POSCHLOD, 1990, LÜTH 1989a) zugeordnet:

Zwischenmoorrasen:

- rasig wachsende Gräser (*Molinia caerulea* oder Seggen) mit grünen Torfmoosen (oder umgekehrt)

Zwischenmoor - Regenerationsstadien in Torfstichen:

- grüne Torfmoose mit Schnabelsegge
- *Eriophorum vaginatum* mit rasig wachsenden Gräsern, *Carex rostrata*, grünen Torfmoosen

Braunmoos - Stufenkomplex:

- Mosaik von Schlenken und grünen Torfmoosrasen z.T. mit rasig wachsenden Gräsern
- Mosaik von Schlenken, grünen Torfmoosrasen z.T. mit rasig wachsenden Gräsern und roten Torfmoosen (beginnende Hochmoorentwicklung)

- Mosaik von Schlenken, grünen Torfmoosrasen z.T. mit rasig wachsenden Gräsern, roten Torfmoosen (beginnende Hochmoorentwicklung) und fleckenförmig verteilter *Calluna vulgaris*
- regelmäßiges Mosaik von Schlenken, grünen Torfmoosrasen und rasig wachsenden Gräsern (Torfstich)
- regelmäßiges Mosaik von Schlenken, grünen und roten Torfmoosrasen und rasig wachsenden Gräsern (Torfstich)

Hochmoortorfmoos - Komplexe

- sehr nasser Hochmoorkomplex: Schlenken und Rasen aus roten und grünen Torfmoosen mit wenig *Eriophorum vaginatum*, wenig *Calluna vulgaris* und ohne Latschen
- Bunte Torfmoosrasen: Rote und grüne Torfmoosrasen ohne Schlenken und sehr geringem Anteil höherer Pflanzen
- nasser Hochmoorkomplex: Rasen aus roten und grünen Torfmoosen mit viel *Eriophorum vaginatum*, wenig *Calluna vulgaris* (<10%) und wenig Latschen (<5%)
- trockener Hochmoorkomplex: aus roten Torfmoosen mit weniger *Eriophorum vaginatum*, mehr *Calluna vulgaris* (<75%) und etwas mehr Latschen
- Hochmoorkomplex mit lichtem Latschen - Bestand: Rasen aus roten Torfmoosen mit *Calluna vulgaris*, *Eriophorum vaginatum* und lichtem Latschen - Bestand
- Bergkiefern - Filz: dichter Latschen- und Spirken-Bestand (40-60%), Rasen aus roten Torfmoosen mit *Calluna vulgaris*, *Eriophorum vaginatum*, *Vaccinium uliginosum*

Moorwald - Stadien:

- Bergkiefern - Moorwald: Latschen - und Spirken - Bestand (40-60%) mit etwas *Betula pubescens* und *Picea abies* und *Vaccinium uliginosum*
- Moorwald mit *Pinus sylvestris*, *Betula pubescens*, *Picea abies* und *Vaccinium uliginosum*

Hochmoor - Degenerationsstadien (i.d.R. mit *Vaccinium uliginosum* und *Molinia caerulea*), i.d.R. Zwergstrauchheide:

- Heidestadium (*Calluna vulgaris* >75%) mit Resten von roten Torfmoosen
- Heidestadium ohne rote Torfmoose
- Heidestadium ohne rote Torfmoose und mit Latschen (<50%)
- *Vaccinium uliginosum* - Stadium (>75%)
- *Vaccinium uliginosum* - Stadium (>50%) und mit Latschen oder Spirken (<50%)
- Frästorf - Gesellschaften (>50% offener Torf)

Pfeifengrasstadien (rasig wachsende Gräser)

- Pfeifengrasheide: rasig wachsende Gräser mit *Vaccinium uliginosum*, *Calluna vulgaris*, *Eriophorum vaginatum*, keine grünen Torfmoose
- mit beginnendem Gehölzaufwuchs
- mit fortgeschrittenem Gehölzaufwuchs

Nr.	Grundeinheiten																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	offene Wassereflächen	grüne, flutende Torfmoose	wassergefüllte bzw. im Sommer austrocknende Schlenken	grüne, nicht flutende Torfmoose	rote Torfmoose	Eriophorum vaginatum bzw. horstförmige Gräser	Calluna vulgaris	Vaccinium uliginosum	Polytrichum strictum	Pinus spec. <1m	Pinus spec. 1-5m	Pinus spec. baumförmig >5m	rasig wachsende Gräser	Picea abies <1m	Salix spec. <1m	Laubgehölze <1m	Picea abies 1-5m	Salix spec. 1-5m	Laubbüsche 1-5m	Picea abies baumförmig > 5m	Laubbäume > 5m	Totholz, Baumstämme	offener Torf
					</																		

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
	Wollgras																							
6.5	Wollgras mit roten Torfmoosen		<5%		<50%	>50%	<5%																	
6.5.7	Wollgras mit roten Torfmoosen und Heide				10-40%	>50%	10-40%																	
6.5.7,10	Wollgras mit roten Torfmoosen, Heide und etw. Latschen				10-40%	>50%	10-40%			<3%														
6.5,10,7	Wollgras mit roten Torfmoosen, Heide und Latschen				10-40%	>50%	10-40%			5-10%														
6.10,5,7	Wollgras mit Latschen, roten Torfmoosen und Heide				10-30%	>50%	10-30%			10-25%														
6.4	Wollgras mit grünen Torfmoosen					>50%	<50%																	
6.4,13	Wollgras mit grünen Torfmoosen und rasigen Gräsern					>50%	10-40%						10-40%											
6.7	Wollgras mit Heide					>50%	<50%																	
6.7,8	Wollgras mit Heide und Rauschbeere					>50%	10-40%			10-40%														
7.5	Heide mit roten Torfmoosen					<50%	>50%																	
7.5,10	Heide mit roten Torfmoosen und etw. Latschen					<49%	>50%			1-10%														
7.10,5	Heide mit Latschen und roten Torfmoosen					<50%	>50%			10-25%														
7.5,6	Heide mit roten Torfmoosen und Wollgras					10-40%	>50%																	
7.5,6,10	Heide mit roten Torfmoosen, Wollgras und etw. Latschen					10-40%	>50%			1-10%														
7.10,5,6	Heide mit Wollgras, Latschen und roten Torfmoosen					10-40%	>50%			10-25%														
7.6	Heide mit Wollgras					<50%	>50%																	
7.6,10	Heide mit Wollgras und etw. Latschen					10-40%	>50%			1-10%														
7.10,6	Heide mit Latschen und Wollgras					10-40%	>50%			10-25%														
7.10,11	Heide mit Latschen und Spirken						>50%			-25%														

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
7.10	Heide mit niederen, dichteren Latschenbestände						>50%			25-50%														
7.11	Heide mit höheren, dichteren Latschen						>50%				25-50%													
7-8	Wollgras/Heidebestände																							
7-8.10	Heide/Wollgrasbestände mit Latschen					50% 45-47%	50% 45-47%			1-10%														
7-8.10	Heide/Wollgras/Latschenbestände					<45%	<45%			10-25%														
	rasig wachsende Gräser (<i>Molinia caerulea</i> und/oder Seggen)																							
13.4,3	rasig wachsende Gräser mit grünen Torfmoosen und Schlenken		>10%	<40%									>50%											
13.4	rasig wachsende Gräser mit grünen Torfmoosen			<50%									>50%											
13.5	rasig wachsende Gräser mit roten Torfmoosen		<40%		>10%		<40%						>50%											
13.16	rasig wachsende Gräser mit Gehölzjungwuchs											<50%												
13.19	rasig wachsende Gräser mit Laubgehölzgebüsch												>50%						<50%					
13.21	rasig wachsende Gräser mit Laubbäumen												>50%											
13.7	rasig wachsende Gräser mit Heide						<50%						>50%											
13.7,5,3	rasig wachsende Gräser mit grünen und roten Torfmoosen, Heide				5-30%	5-30%	5-30%						>50%											
13.7,8	rasig wachsende Gräser mit Heide und Rauschbeere						5-45%	5-45%					>50%											
13.8	rasig wachsende Gräser mit Rauschbeere							<50%					>50%											
	<i>Vaccinium uliginosum</i>																							
8.7	Rauschbeere mit Heide						<50%	>50%																
8.13	Rauschbeere mit rasigen Gräsern							>50%					<50%											
8.7,13	Rauschbeere mit Heide und rasigen Gräsern						10-40%	>50%					10-40%											
8.11	Rauschbeere mit Latschen und Spirken							>50%			<50%													

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
8.12	Rauschbeere mit Spirken							>50%				<50%											
	Pinus mugo																						
11,12.7	dichter Latschen und Spirkenbestand 50-75 %			>1%			25-50%				>50%												
11.8	dichter Latschen und Spirkenbestand 50-75 % mit Rauschbeere							25-50%			>50%												
12.7	dichter Spirkenbestand				>1%		<25%					>75%											
12.8	dichter Spirkenbestand mit Rauschbeere							<25%				>75%											
	Gehölze																						
16.13	Gehölzjungwuchs in Rasen												<50%			>50%							
14	Nadelgehölzjungwuchs																						
14,16	Moorwaldjungwuchs																						
19.13	verbuschte Rasen												<50%										
17	Nadelgebüsch																						
17,19	Moorwaldgebüsch																						
21.13	bewaldete Rasen												<50%									>50%	
25	Nadelwald																						
25,26	Moorwald																						

Tab. 9: Zusammengefaßte Einheiten eines detaillierten Kartierschlüssels für das Wurzacher Ried

Aufgrund der Aggregation verschiedener Einheiten können mit dieser Kartendarstellung nur stärkere Veränderungen visuell ermittelt werden. Sie ist damit im Erscheinungsbild zwar mit den bisher im Wurzacher Ried durchgeführten Vegetationskartierungen (PFADENHAUER et al. 1990, LÜTH 1989a) zu vergleichen, da die Karte aber aus einer detaillierteren Aufnahme aggregiert wurde, ist sie erheblich besser nachvollziehbar und reproduzierbar.

Zum Hervorheben besonders bedeutsamer Sachverhalte oder Entwicklungen kann aus der Kartierung der Grundeinheiten die Verbreitung einzelner ausgewählter Arten oder Strukturen, die entweder als Dominante oder Begleiter kartiert wurden, herausgegriffen werden. Denkbar ist auch eine weitere Untergliederung nach dem Deckungsgrad zwischen subdominanten Arten (25-50%) und Begleitern (<25%). Im Wurzacher Ried sind dies vor allem folgende Grundeinheiten:

Hochmoor:

- Wasserschlenken
- Latschen- und Spirkenbestände

Zwischenmoor:

- Wasserschlenken
- Einheiten mit roten Torfmoosen
- Gehölzaufwuchs jeder Art

Durch besonderes Herausgreifen dieser Grundeinheiten in der Kartendarstellung kann bei einer späteren Wiederholung der Kartierung veranschaulicht werden, wie sich die im Hochmoor besonders erwünschten baumfreien Bereiche und die in den letzten Jahrzehnten rückläufigen wassergefüllten Schlenken entwickeln. Im Zwischenmoor kann festgestellt werden, ob sich die Gefährdung durch rote Torfmoose oder Gehölzaufwuchs weiter verstärkt hat und ob sich die wenigen offenen Schlenkenzonen weiter geschlossen haben.

3.3.4.3.2 Flächenabgrenzung

„Ändert sich die Artenzusammensetzung der Pflanzengemeinschaft auffallend, [...so zieht man dort] die Grenze zwischen den beiden Vegetationseinheiten nach bestem Ermessen. Da der Übergang nicht selten ein ganz allmählicher ist, fällt die Entscheidung dem Anfänger oft nicht leicht.“ (ELLENBERG 1956) Mit diesem Zitat ist das Grundproblem der Vegetationsgrenzen auf den Punkt gebracht. Vegetation ist häufig, sofern sie nicht durch Nutzungen und damit oft Parzellengrenzen geprägt ist, als Kontinuum aufzufassen, in dem eine Vegetationseinheit mehr oder weniger schnell in die andere übergeht. Scharfe, klar definierte Grenzen gibt es nur selten. Auf der anderen Seite ist das wesentliche Merkmal einer Karte aber die Generalisierung, welche eine räumliche Abgrenzung ausgewählter Einheiten erfordert. Daraus resultieren Unsicherheiten, die im Rahmen eines Monitorings soweit wie möglich reduziert werden sollten.

Hueck (1960 zitiert in KÜCHLER & ZONNEVELD 1988) trug dieser Problematik Rechnung, indem er in seiner Vegetationskarte von Venezuela drei Kategorien von Grenzen (akkurat, ziemlich gut, unsicher) mit unterschiedlichen Linientypen darstellte. Die Koordinationsstelle Moorschutz des

Schweizer Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft erarbeitet derzeit eine Methode, um Vegetationsgrenzen im Moor automatisiert, anhand von Grauwertunterschieden zwischen benachbarten Pixeln in eingescannten Luftbildern zu ermitteln (Grünig, Ginzler mündl.). In Abhängigkeit von der Stärke der vorhandenen Kontraste kann ebenfalls zwischen „guten“ und „schlechten“ Grenzen unterschieden werden, wobei letztere von einem Bearbeiter im Gelände überprüft werden müssen.

Die Einschätzung des kartierenden Fachmannes ist bei den genannten Verfahren immer gefragt, weshalb bearbeiterspezifische Unterschiede, die sich insbesondere bei Grenzen in ausgeprägten Übergangsbereichen auswirken, derzeit nicht auszuschalten sind (vgl. auch GROSS & ADLER 1966). Diese Problematik tritt in vielen Wissenschaftsbereichen, aber auch im alltäglichen Leben auf, denn viele Formulierungen umfassen nicht exakte Einschätzungen, wie „Die Schadstoffbelastung ist gefährlich“ oder „Das Wetter ist schön“.

Einstufungen, welche sich nicht exakt abgrenzen lassen, sind seit langem ein Untersuchungsfeld der Entscheidungstheorie, welche die Logik von Alternativentscheidungen untersucht. Klassifikationen, bei denen die Grenzen zwischen den Klassen undeutlich sind, werden dort als „Fuzzy sets“ (unscharfe Reihe) bezeichnet. Die daraus abgeleitete „fuzzy logic“ ist eine mathematische Theorie, mit der versucht wird, nicht exakten Begriffen gerecht zu werden. (HABERÄCKER 1995). Sie wurde bereits in die analytischen Funktionen mancher geographischen Informationssysteme übernommen (IDRISI 1987 - 1995). Die Anwendung in der Vegetationskartierung wurde bisher nicht getestet und wird auch im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter betrachtet. Sie muß in Anbetracht der dafür erforderlichen Untersuchungen und des notwendigen mathematischen Wissens einer separaten Forschungsarbeit vorbehalten sein.

Für das Monitoring im Wurzacher Ried ist es erforderlich, das übliche Kartierverfahren, wie es im ersten Satz zitiert ist, so zu modifizieren, daß die Abgrenzungen der in Kap. 3.3.4.3.1 abgeleiteten Kartiereinheiten von künftigen Bearbeitern möglichst nachvollzogen und reproduziert werden können. Bei einer Auswertung ausschließlich auf der Basis von Luftbildern ist dies wesentlich besser möglich als bei einer Kombination mit Geländeaufnahme, denn die dem Kartierer vorliegenden Basisinformationen werden mit dem Luftbild überliefert. Mit Hilfe des Kartierschlüssels und des Luftbildes kann die Entscheidungsfindung zurückverfolgt werden. Zeigen sich krasse Unterschiede in der Einschätzung, so kann der künftige Bearbeiter die Kartierung auf den historischen Luftbildern mit den gleichen Kriterien wiederholen, mit der die aktuelle Kartierung angefertigt wird. Die Verfahrensweise wird dadurch nachvollziehbar und reproduzierbar. Bearbeiterspezifische Unterschiede können damit ausgeschlossen werden.

Es bleibt allerdings nach wie vor die Unsicherheit, daß jeder Bearbeiter im Verlauf der Kartierung mit wachsender Erfahrung seine Entscheidungsprozesse abwandelt und daher zu einem späteren Zeitpunkt andere Grenzen ziehen würde. Dies muß bei der Interpretation der Karten, insbesondere beim Feststellen von Veränderungen in Übergangsbereichen, berücksichtigt werden.

Um einen lagegenauen Vergleich der Vegetationskarten unterschiedlicher Jahre zu ermöglichen, ist es sinnvoll, sie in ein Geographisches Informationssystem (GIS) zu integrieren. Es dient der Aufnahme aller raumbezogenen Daten der Atmosphäre, der Erdoberfläche und der Lithosphäre und

gestattet eine systematische Erfassung, Aktualisierung, Verarbeitung und Umsetzung der Daten auf der Grundlage eines einheitlichen räumlichen Bezugssystems. (GÖPFERT 1991). Ein großer Vorteil ist, daß die in Kap. 3.3.4.3.1 aufgezeigten Kartendarstellungen mit zusammengefaßten Einheiten oder Verbreitungskarten von Arten in kürzester Zeit mit Hilfe von Datenbankoperationen umgesetzt werden können. Auf nähere Details sei hier nicht eingegangen, sie können den einschlägigen Lehrbücher zu diesem Thema entnommen werden (z.B. BURROUGH 1996, BILL & FRITSCH 1991, BILL 1996).

Bei der Anwendung im Wurzacher Ried hat es sich gezeigt, daß es bei geringen Reliefunterschieden komfortabler ist, die Kartierung auf eingescannten und entzerrten Luftbildern am Bildschirm durchzuführen als über ein optisches Interpretationsgerät wie dem Visopret der Fa. Zeiss. Außerdem können am Bildschirm durch die variable Vergrößerung selbst kleinste Flächen umgrenzt werden, während dies am optischen Interpretationsgerät durch die mechanischen Eigenschaften des Bildwagens eingeschränkt ist.

Luftbilder wurden mit dem Scanner Scanmaker E6 der Fa. Microtek®, der mit einem Diaaufsatz ausgestattet ist, in Rasterdaten überführt. Für die Kartierung wurde die GIS-Software ARC - View® 3.0 verwendet.

3.3.4.3.3 Umsetzung und Methodenbewertung

In Abb. 24 ist exemplarisch die Vegetationskarte des Alberser Zwischenmoores dargestellt. Sie wurde auf der Basis eines CIR-Luftbildes im M 1 : 2.000, welches mit 500 dpi und damit einer Grundauflösung von ca. 10 cm eingescannt wurde, und der in Kap. 3.3.4.3.1 und 3.3.4.3.2 beschriebenen Verfahrensweise erzeugt. Insgesamt wurden 155 Einzelpolygone abgegrenzt (schwarze Linien). Diese wurden anhand der zugehörigen Datenbank, die in Tab. 10 ausschnittsweise veranschaulicht ist, mit Hilfe des aggregierten Schlüssels in größere Flächenverbände zusammengefaßt, so daß daraus eine interpretierfähige Karte entstanden ist. Eine weitere Möglichkeit, die Extraktion von Artenverbreitungskarten, ist Abb. 25 zu entnehmen. Diese Karten besitzen keine absolute Orientierung, also keinen Nordpfeil, da sie zur Entzerrung relativ an den Transekten ausgerichtet wurden. Der Lagefehler der Entzerrung liegt bei ca. 20 cm (vgl. Kap.3.3.4.2.3).

Tab. 10: Ausschnitt aus der Datenbank der in Abb. 24 dargestellten Vegetationskarte des Wurzacher Riedes

Polygonzug- Nummer	Zusammengefaßte Einheiten (Tab. 9)	Aggregierter Schlüssel (S. 76)	Polygonzug- Nummer	Zusammengefaßte Einheiten (Tab. 9)	Aggregierter Schlüssel (S. 76)
1	3.13,4	Braunmoos-Stufenkomplex	9	7,6	Zwergstrauchheide
2	13.4	Zwischenmoorrasen	10	3.4	Braunmoos-Stufenkomplex
3	13.4,16,5	Gehölzentwicklung	11	13,4	Braunmoos-Stufenkomplex
4	13.4,16	Gehölzentwicklung	12	13,4	Zwischenmoorrasen
5	13.4,16,5	Gehölzentwicklung	13	13,4	Zwischenmoorrasen
6	6.4,7	Hochmoorentwicklung	14	13.4,5	Zwischenmoorrasen HM
7	6,7	Zwergstrauchheide	15	13.4,5	Zwischenmoorrasen HM
8	7,6	Zwergstrauchheide	16	3.4,13	Braunmoos-Stufenkomplex

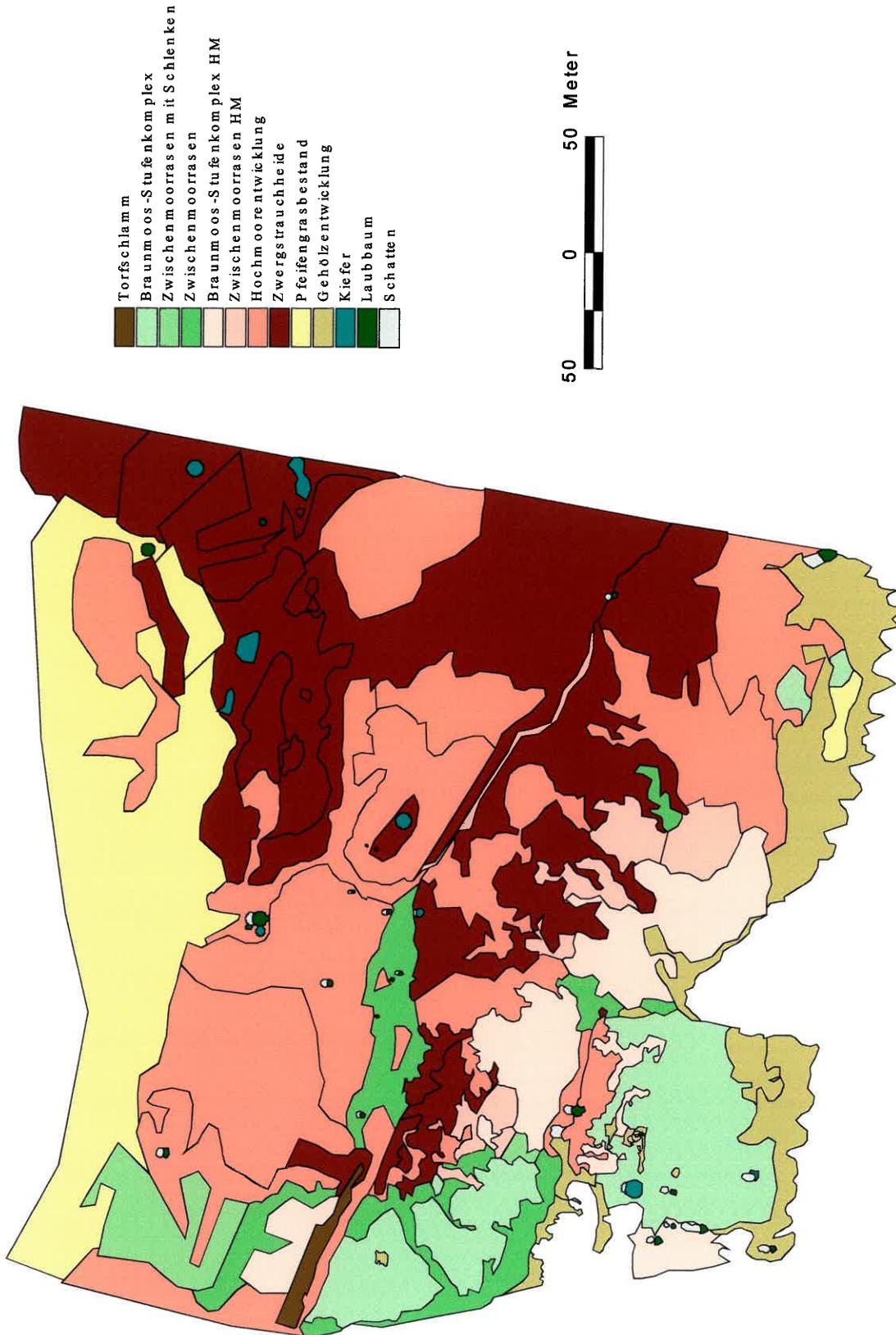
Die Abb. 24 und Abb. 25 sowie der Datenbankausschnitt (Tab. 10) zeigen, daß sich mit dieser Methode die Vegetation vergleichsweise detailliert aufnehmen läßt. Die Kartierung kann beliebig wiederholt und ergänzt werden. Bei der visuellen Interpretation, welche zur Ansprache der Kartiereinheiten erforderlich ist, und bei der räumlichen Abgrenzung der Einheiten bestehen Entscheidungsspielräume, die derzeit methodisch nicht weiter minimiert werden können. Obwohl der technisch bedingte Lagefehler bei maximal 20 cm liegt, ist diese Methode daher nur bei scharfen Grenzen dazu geeignet, kleinräumige Veränderungen zu beobachten. In diesem Fall muß dann aber noch feinteiliger als in Abb. 24 kartiert werden, ev. auf einem Luftbild mit höherer Grundauflösung.

Der Aufwand für die Kartierung ist, absolut gesehen, hoch. Im Vergleich zu traditionellen Vegetationskartierungen aber gering, wenn man Umzeichenvorgänge für die Reinzeichnung, transformierte Darstellungen oder andere Auswertungsschritte berücksichtigt.

Zusätzlich zur Kartierung großmaßstäblicher Luftbilder muß der Aufwand für deren flächendeckende Entzerrung (Kap. 3.3.4.2.2) berücksichtigt werden. Die Methode kann daher nur bei entsprechender Mittelausstattung, die im Wurzacher Ried nicht gegeben ist, flächendeckend umgesetzt werden. Ansonsten muß sie auf einzelne Luftbilder beschränkt bleiben.

Der Methodentest hat aber, unabhängig davon, gezeigt, daß sich der Einsatz eines Geographischen Informationssystems unter Nutzung heutiger anwenderfreundlicher Programme generell für sämtliche raumbezogene, vegetationskundliche Erhebungen im Hinblick auf Zeitaufwand, Darstellungs- und Auswertungsmöglichkeiten nachdrücklich empfiehlt.

Abb. 24:
Vegetationskarte
des Alberser
Zwischenmoores
(HM: mit Hoch-
moorentwicklung)



**Abb. 25: Verbreitungskarte
roter Torfmoose
im Alberser Zwischenmoor**



50 0 50 Meter

3.3.4.4 Kartierung mit einem Bildbearbeitungsprogramm

Mit Hilfe von Bildbearbeitungsprogrammen wie dem Picture Publisher[®] von Micrografx[®] können benachbarte Pixel, die sich in der Farbe ähneln, auf einem eingescannten und entzerrten Luftbild zu einer Fläche zusammengefaßt werden. Der Grad der Farbähnlichkeit kann eingestellt werden. Diese sehr einfache Verfahrensweise ermöglicht das schnelle räumliche Erfassen zusammenhängender, farblich von der Umgebung stark abgesetzter Strukturen¹⁶. Wie am Beispiel der Schlenken im Alberser Zwischenmoor zu erkennen ist, kann es durchaus eine sehr gute Alternative zum Digitalisieren darstellen, das bei sehr kleinteiliger Verteilung zeitaufwendig ist und oftmals nicht in der erforderlichen Genauigkeit durchgeführt wird. Es ist allerdings nicht dazu geeignet, eine flächendeckende Karte zu erzeugen.

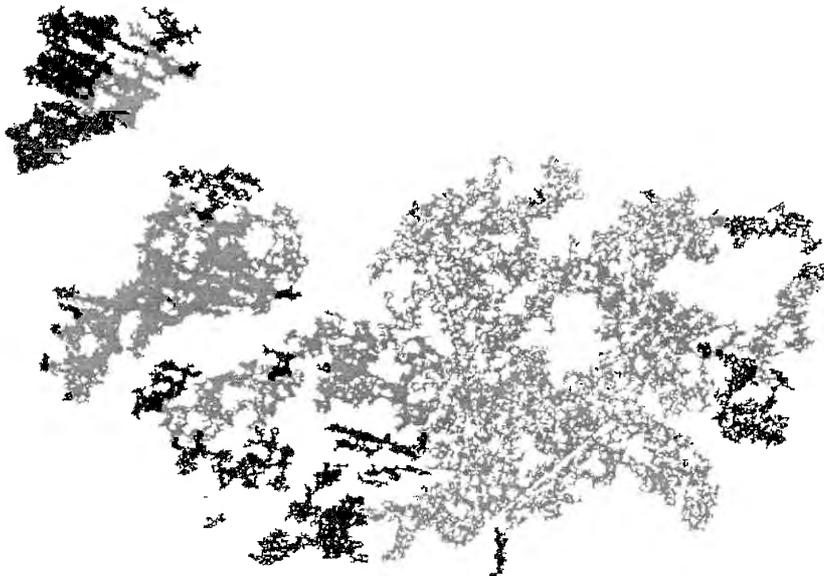


Abb. 26: Torfschlammschlenken im Alberser Zwischenmoor erzeugt mit Hilfe des „Zauberstabes“ der Bildbearbeitungssoftware Picture Publisher[®] von Micrografx[®]

¹⁶ Die deutlich erkennbaren Streifen sind durch den versehentlichen Einsatz einer Pflegeraupe entstanden.

3.3.4.5 Automatische Klassifikationsverfahren und deren Weiterverarbeitung

3.3.4.5.1 Einleitung und Vorgehensweise

Digitale Bilder bestehen in Abhängigkeit von der Auflösung, d.h. der Größe des Einzelpixels und der Gesamtgröße aus einer enormen Datenmenge, die bisher nur in Spezialdisziplinen der Astronomie, der Satellitenbildfernerkundung, der Nachrichtentechnik oder Informatik automatisiert ausgewertet wurden. Die rasante Entwicklung der Computertechnologie hat in jüngster Zeit bewirkt, daß auch Anwender, die auf PC angewiesen sind und keine Programmierkenntnisse besitzen, in der Lage sind, diese Verfahren für ihre Zwecke einzusetzen. Noch zu Projektbeginn im Jahr 1993 stellte der Datenaustausch von Dateien mit Größen von über 1,44 MB am PC ein ernstzunehmendes Problem dar, das Wochen kostbarer Arbeitszeit in Anspruch nehmen konnte. Vor wenigen Wochen wurden standardisierte Geräte zum mehrfachen Bespielen von CD auf den Markt gebracht, die bis zu 17 GB aufnehmen können. Die Verarbeitung großer Datenmengen auf PC durch Angehörige unterschiedlichster Fachdisziplinen eröffnet der Wissenschaft bisher ungeahnte Möglichkeiten der Interpretation und Verknüpfung von digitalen Bildinformationen, die in ihrer ganzen Dimension sicher heute noch gar nicht abgeschätzt werden können (JÄHNE 1989).

Während das automatische Erkennen von bestimmten Objekten aus Luft- oder Satellitenbildern noch am Anfang der Entwicklung steht, hat die digitale Bildverarbeitung oder Bildauswertung vor allem auf dem Gebiet der Analyse multispektraler Daten Erfolge zu verzeichnen. Dieser Bereich, bei dem das menschliche Wahrnehmungsvermögen kaum konkurrieren kann, diente im Rahmen der Fernerkundung bzw. Vegetationskunde bisher vornehmlich zur Auswertung von Satellitenbilddaten (ALBERTZ 1991). Dazu gibt es eine Vielzahl an Literatur, die hier im einzelnen jedoch nicht aufgeführt werden soll, da die geringe Auflösung von max. 10 m eine Anwendung im Rahmen der Aufgabenstellung ausschließt. Für eine höhere Auflösung oder größere Maßstäben (Flugzeugscannerdaten, eingescannte Luftbilder) gibt es nur wenige Beispiele, die sich von der Aufgabenstellung her oder den Ergebnissen nur wenig mit dem Monitoring im Wurzacher Ried vergleichen lassen (WEAVER 1987, SCHNEIDER et al. 1982, KÜBLER et al. 1991, KÜBLER & AMMER 1992, SCHELLING 1995).

Die Multispektralanalyse wurde für das Monitoring im Wurzacher Ried anhand von Flugzeugscannerdaten mit einer Auflösung von 1 m x 1 m sowie 5 m x 5 m und digitalisierten Luftbildern im Maßstab 1 : 20.000, 1 : 5.000 und 1 : 2.000 getestet.

Grundlage einer Multispektralanalyse ist die Feststellung, daß sich Oberflächenarten in ihren Reflexionseigenschaften unterscheiden, d.h. die Sonnenstrahlung wird in den einzelnen Wellenlängenbereichen (Spektralkanälen) unterschiedlich reflektiert. Im Falle des Wurzacher Riedes wurde die Reflexion durch den flugzeuggestützten Scanner in sechs Wellenlängenbereichen, bei Luftbildern durch die drei Farbschichten in drei Spektralkanälen aufgenommen (S. 56).

Die in einem Bild vorkommenden Oberflächenarten werden Objektklassen genannt. Im Idealfall unterscheiden sich diese in ihren spektralen Eigenschaften so stark, daß thematische Kartierungen ohne menschliches Zutun möglich sind. Dies entspricht nicht der Praxis, denn häufig sind die Re-

flexionswerte eng benachbart oder überschneiden sich sogar. Um trotzdem zuverlässige Ergebnisse zu erhalten, sind komplexe Klassifizierungsalgorithmen erforderlich (ALBERTZ 1991).

Zu unterscheiden ist vor allem zwischen unüberwachter und überwachter Klassifikation:

- Bei der unüberwachten Klassifikation kann der Bearbeiter nur auf die Anzahl der zu differenzierenden Klassen Einfluß nehmen. Das Bildverarbeitungsprogramm berechnet dann auf statistischer Basis wie die Klassen von ihren spektralen Eigenschaften her zu trennen sind und ordnet nachfolgend jedes Pixel einer Klasse zu. Die Benennung der Einheiten, d.h. die Zuordnung zu Oberflächenarten, erfolgt durch den Bearbeiter. Für die in dieser Arbeit dargestellte Klassifikation wurde das ISODATA - Clustering verwendet, welches als Standardverfahren gilt (ALBERTZ 1991).
- Bei der überwachten Klassifikation werden dem Computer Vorinformationen geliefert, indem ihm mit Hilfe von Trainingsgebieten (Referenzflächen) die gewünschten Objektklassen in ihren Variationen mindestens einmal vorgegeben werden. Die Ermittlung der Trainingsflächen erfolgte im Falle des Wurzacher Riedes mit visueller Interpretation von Luftbildern, die zeitgleich mit den Flugzeugscannerdaten aufgenommen wurden und mit einem Abgleich im Gelände. Sie werden dann auf dem Bild am Computer in ihrer genauen Abgrenzung digitalisiert oder es wird nur ein zentraler Punkt („seed“) angegeben. Das Programm wählt dann eine festgelegte Anzahl an Pixeln aus, die ihm in seinen spektralen Eigenschaften ähnlich sind und stellt daran die spektralen Charakteristika der Klasse (Signatur) fest.

Nach Eingabe aller Trainingsgebiete wird mit Hilfe der Signaturen jedes Pixel des Gesamtgebietes einer Klasse zugeordnet. Die der Berechnung zugrundeliegenden mathematischen Algorithmen können sich stark unterscheiden, was zu unterschiedlichen Ergebnissen führt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ausschließlich der Maximum-Likelihood-Algorithmus in der Standard-einstellung verwendet, der die Pixel aufgrund einer Wahrscheinlichkeitsberechnung den vorgegebenen Klassen zuordnet. Er ist am weitesten verbreitet, weil er im allgemeinen zu guten Ergebnissen führt (ALBERTZ 1991).

Ein einmaliger Klassifizierungsvorgang reicht in der Regel aber nicht aus, um ein befriedigendes Ergebnis zu erreichen. Vielmehr muß dieser bei modifizierten Trainingsflächen solange wiederholt werden, bis die Klassen mathematischen Kriterien entsprechen oder bis der Bearbeiter entscheidet, daß die entstandene Karte der wirklichen Situation sehr nahe kommt.

Die Bewertung einer Klassifikation kann mit Hilfe von mathematisch bestimmten Schwellenwerten errechnet werden. In einem Rasterbild wird dargestellt, wie weit die Pixel spektral von der Signatur der Klasse entfernt sind, welcher sie zugeordnet wurden. Je größer der Abstand, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit einer Fehlklassifikation. In einem Diagramm, das zeigt, wie die spektralen Abstände in der Gesamtzahl der Pixel verteilt sind, läßt sich ein Schwellenwert festlegen, ab der ein Pixel als falsch klassifiziert einzustufen ist.

Die andere Möglichkeit ist eine Genauigkeitsschätzung durch Vergleich mit zusätzlichen Informationen, i.d.Regel Geländeaufnahmen.

Luftbilder wurden mit dem Scanner Scanmaker E6 der Fa. Microtek[®] in Rasterdaten überführt. Die digitale Auswertung von eingescannten Luftbildern und den flugzeuggestützten Scannerdaten erfolgte an einem Pentium Pro 200 PC mit 64 MB RAM und Windows 95[®] Betriebssystem. Als Software zur digitalen Bildverarbeitung kam das Standardprogramm der digitalen Bildverarbeitung ERDAS[®] Imagine 8.2 zur Verwendung und die Low-Budget Software IDRISI[®] (mit integrierten GIS - Funktionen), die speziell für Anwender konzipiert wurde, welche fachlich nicht der Photogrammetrie oder Fernerkundung angehören.

3.3.4.5.2 Umsetzung und Bewertung der unüberwachten Klassifikation

Um der Problematik der subjektiven Grenzen zu entgehen (vgl. Kap. 3.3.4.3.2), wurden im Rahmen der Methodentests zur „Erfolgskontrolle Moorbioschutz Schweiz“ (KIENAST et al. 1992) der Koordinationsstelle Moorschutz erste Tests zur automatischen, unüberwachten Klassifikation von Luftbildern im M 1 : 5.000 durchgeführt, die auf den ersten Blick hoffnungsvolle Ergebnisse brachten (GRÜNIG et al. 1996).

Um diese Verfahrensweise zu testen, wurde ein CIR-Luftbild (M 1 : 5.000, Befliegung Juli 1996) nach 8 Klassen unüberwacht klassifiziert. Dies entspricht der Vorgehensweise, die durch GRÜNIG et al. (1996) vorgeschlagen wurde. Das Ergebnis ist unbefriedigend (Abb. 27), da sogar Laubwald und Wiese oder Wasser und Spirkenwald einer Klasse zugeordnet wurde. Keine der Abgrenzungen stimmt mit den natürlich vorhandenen Gegebenheiten überein, an denen sich die Verteilung der Vegetation orientiert (vgl. Abb. 29 rechts, Rahmen entspricht dem in Abb. 27 bearbeiteten Ausschnitt: Verlauf des Bachtälchens, Ausdehnung der Hochmoorvegetation etc.). Das Erhöhen der Klassenanzahl auf 20 (rechte Seite Abb. 27) bringt zwar eine Verbesserung des Ergebnisses, eine der Wirklichkeit entsprechende Differenzierung der Stadien kann dennoch nicht erreicht werden. Nachdem auch die unüberwachte, automatische Klassifikation von Scannerdaten keine plausiblen Ergebnisse erbrachte, wurde das Verfahren nicht weiterverfolgt.

3.3.4.5.3 Umsetzung und Bewertung der überwachten Klassifikation von Luftbildern

Eingescannte und entzerrte CIR-Luftbilder im M 1 : 20.000 (Befliegung Juli 1996) ermöglichen das Zusammensetzen eines kostengünstigen, lagegenauen und im Vergleich zu sw-Orthophotos detaillierten, digitalen Gesamtbildes vom Wurzacher Ried. Es bestand die Hoffnung, daß dies auch als Grundlage für eine überwachte automatische Klassifikation dienen und damit erheblich teurere Flugzeugscanneraufnahmen ersetzen kann. Es zeigte sich aber, daß die optischen Verzeichnungen, insbesondere die kontinuierliche Abnahme der Farbsättigung vom sonnenzugewandten zum sonnenabgewandten Rand, vor allem in kleinen Maßstäben so zum Tragen kommen, daß die vom Bildverarbeitungsprogramm zur Eliminierung derartiger Effekte angebotenen Filter nicht in der Lage sind, sie ausreichend auszugleichen. Die Abbildung vergleichbarer Vegetationsbestände ist daher sehr vielfältig. Versucht man dem durch eine Vielzahl von Trainingsflächen, welche die stärksten Farbvarianten erfassen, gerecht zu werden, so kommt es zu massiven Überschneidungen mit anderen Klassen, die übermäßige Fehlklassifikationen zur Folge haben.

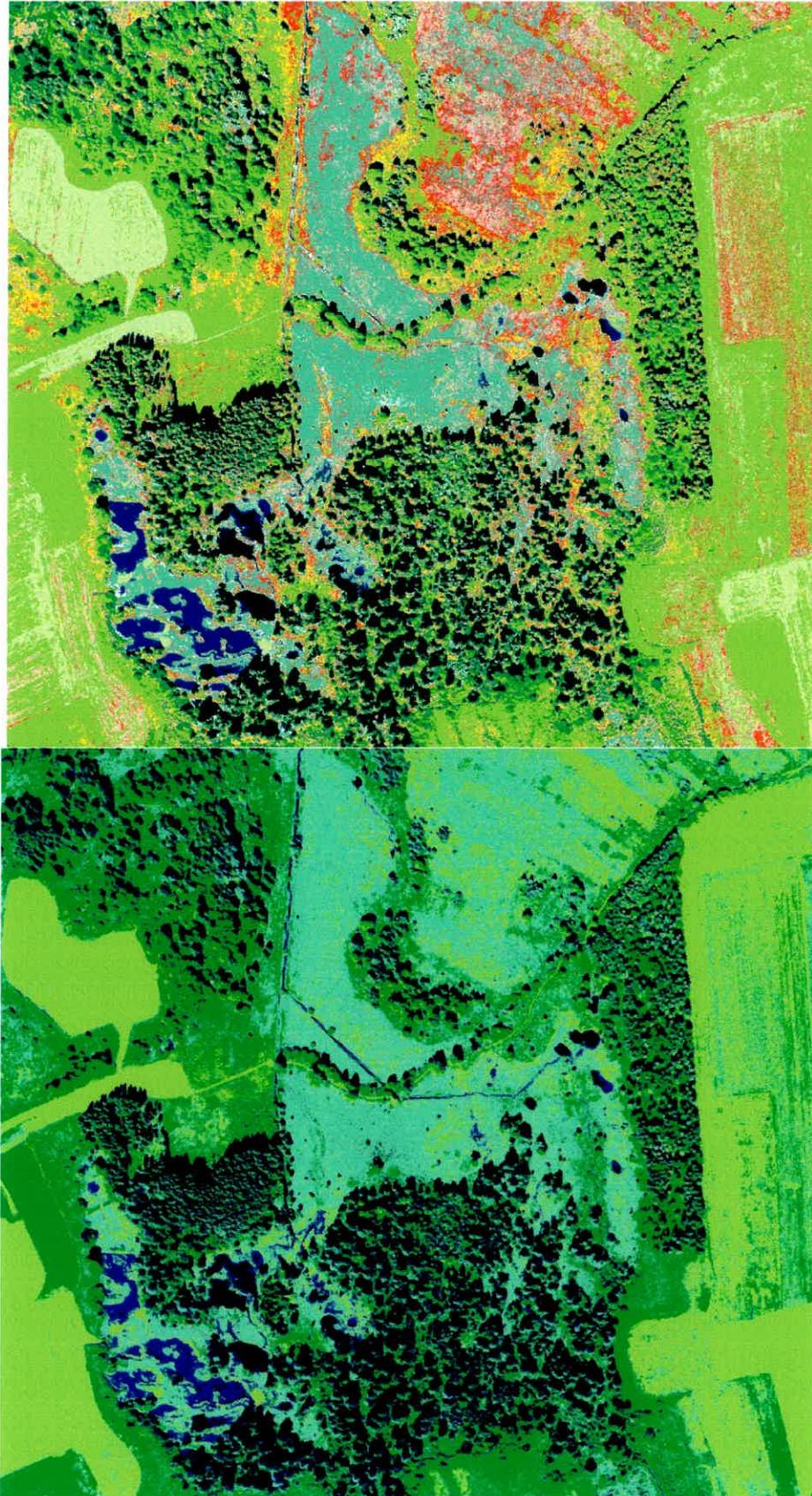


Abb. 27: Ergebnis der unüberwachten Klassifikation eines Bildausschnittes der Haidgauer Quellseen, links 8, rechts 20 Klassen, (Originalmaßstab 1:5.000, Befliegung Juli 1996, Grundaufösung 38 x 38 cm², vgl. GRÜNIG et al. 1996), Farbwahl, Bildausschnitt und tatsächliche Vegetationsgliederung vgl. Abb. 29 rechts.

In Abb. 29 ist anhand eines Ausschnittes aus dem östlichen Rand des Wurzacher Riedes die überwachte Klassifikation von Scannerdaten (Befliegung Juni 1995, 1 m x 1 m Pixelauflösung) im Vergleich zu der eines eingescannten CIR - Luftbildes im M 1 : 20.000 (Befliegung Juli 1996) dargestellt. Die Grundauflösung des Luftbildes wurde durch Einscannen mit 500 dpi Auflösung an die des Flugzeugscanners angepaßt.

Bei beiden Klassifikationen wurden in Lage und Größe nahezu identische Trainingsflächen verwendet. Dennoch ist das Ergebnis beim Luftbild unbefriedigend, da nicht einmal die Abgrenzung von Hoch- und Niedermoorstadien gelungen ist. Die Luftbildklassifikation ist außerdem erheblich inhomogener. Durch die Klassifikation der Scannerdaten wurden demgegenüber große zusammenhängende Flächen erzeugt, weshalb sie trotz der Rasterdarstellung ein kartenähnliches Aussehen aufweist. Als Ursache für die erheblich besseren Ergebnisse ist die doppelte Anzahl an Kanälen beim Flugzeugscanner zu vermuten.

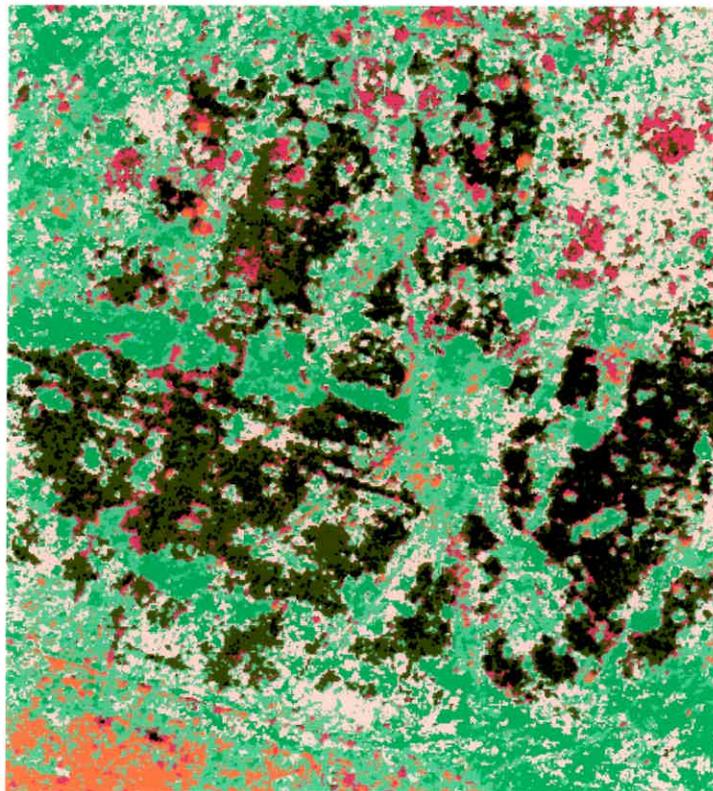
Ein weiterer Test befaßte sich damit, inwieweit mit Hilfe einer automatischen Klassifikation eingescannter, großmaßstäblicher Luftbilder kleinräumige Vegetationsveränderungen nachvollzogen werden können. Dazu wurde ein Bereich der Torfschlammschlenken im Alberser Zwischenmoor auf einem mit 500 dpi (entspricht 10 cm Grundauflösung) eingescannten CIR - Luftbild des Maßstabes 1 : 2.000 (Befliegung Juni 1994) klassifiziert (Abb. 28). Auf der etwa 360 m² großen Fläche wurden für die 6 zu differenzierenden Objektklassen 8 Trainingsflächen vorgegeben. Aus Abb. 28 wird deutlich, wie detailliert die Vegetation mit Hilfe dieses Verfahrens erfaßt werden kann. Bei einer Wiederholungsuntersuchung können folglich kleinräumige Vegetationsveränderungen sowohl inhaltlich als auch räumlich mit hoher Lagegenauigkeit (siehe Kap. 3.3.4.2) flächig nachvollzogen werden, im Fall des Bildbeispiels die Entwicklung der Torfschlammflächen und der Bulttorfmoose.

Der Vergleich mit einem 1 : 5.000 Luftbild gleichen Ausschnittes (Befliegung Juli 1996) zeigte, daß selbst bei hoher Scannerauflösung starke Unschärfen auftreten, die eine genaue Wiedergabe der in der Natur vorhandenen, sehr deutlichen Grenzen unmöglich macht.

Weitere Versuche, Luftbildklassifikationen auf größere Ausschnitte und damit eine höhere Vielfalt der Vegetation auszudehnen, mißlangen. Dieses Ergebnis hatte sich bereits bei der anfangs beschriebenen Klassifikation eines Luftbildes im M 1 : 20.000 abgezeichnet. Auf der einen Seite konnten zwar Varianten einer Objektklasse durch zusätzliche Trainingsflächen erfaßt werden. Dies hatte aber immer Fehlklassifikationen bei anderen Objektklassen zur Folge, da offensichtlich in den drei Kanälen des Filmes spektrale Überschneidungen auftreten. Durch die größeren Kontraste konnte zwar die Vegetation in den Junibildern prinzipiell besser differenziert werden, die beschriebenen Probleme waren aber auch hier nicht zu beheben. Ein Erhöhen der Auflösung beim Scannen führte ebenfalls nicht, wie eigentlich erwartet, zu genaueren Ergebnissen. Vielmehr trat das Gegenteil ein. Zu berücksichtigen ist offensichtlich, daß ein Pflanzenbestand dadurch wesentlich feiner aufgegliedert wird und eine Vielzahl von spektralen Varianten entsteht, die durch eigene Trainingsflächen abgedeckt werden müßten. Wählt man diese, um alle Varianten zu erfassen, räumlich sehr groß, so werden zwangsläufig andere Objektklassen, wie beispielweise kleine Wasser- oder Streuflächen zwischen *Calluna vulgaris*-Individuen, integriert, was zu Klassenüberschneidungen führt. Eine technische Generalisierung, wie sie die Reduzierung der Grundauflösung darstellt, be-

wirkt folglich eher eine Verbesserung der Klassifikationsergebnisse. Dem steht jedoch im Rahmen des Monitorings die Verschlechterung der räumlichen Genauigkeit entgegen.

Die spektralen Eigenschaften von Objektklassen im Luftbild sind offensichtlich trotz der guten visuellen Erkennbarkeit nicht unterschiedlich genug, um gute automatische Klassifikationsergebnisse zu erzielen. Klassifikationen lassen sich folglich nur bei großmaßstäblichen Luftbildausschnitten einsetzen, welche eine geringe Anzahl visuell deutlich voneinander unterschiedener Objektklassen aufweisen. In diesem Fall können, genau eingemessene Lagefestpunkte vorausgesetzt (siehe Kap. 3.3.4.2), kleinräumige Veränderungen lagegenau beobachtet werden. Für die Wahl der Auflösung muß eine Abwägung zwischen räumlichen und inhaltlichen Erfordernissen stattfinden.



M ca. 1 : 500

Legende:

	Calluna vulgaris		Eriophorum vaginatum
	Torfschlamm		rote Torfmoose
	grüne Torfmoose		Torfschlamm mit Gräsern
	grüne Torfmoose mit Gräsern		

Abb. 28: Überwachte automatische Klassifikation eines großmaßstäblichen CIR-Luftbildausschnittes der Torfschlammshlenken im Alberser Zwischenmoor (1 : 2.000, Befliegung Juni 1994, Scanauflösung 500 dpi, Grundauflösung 10 cm)

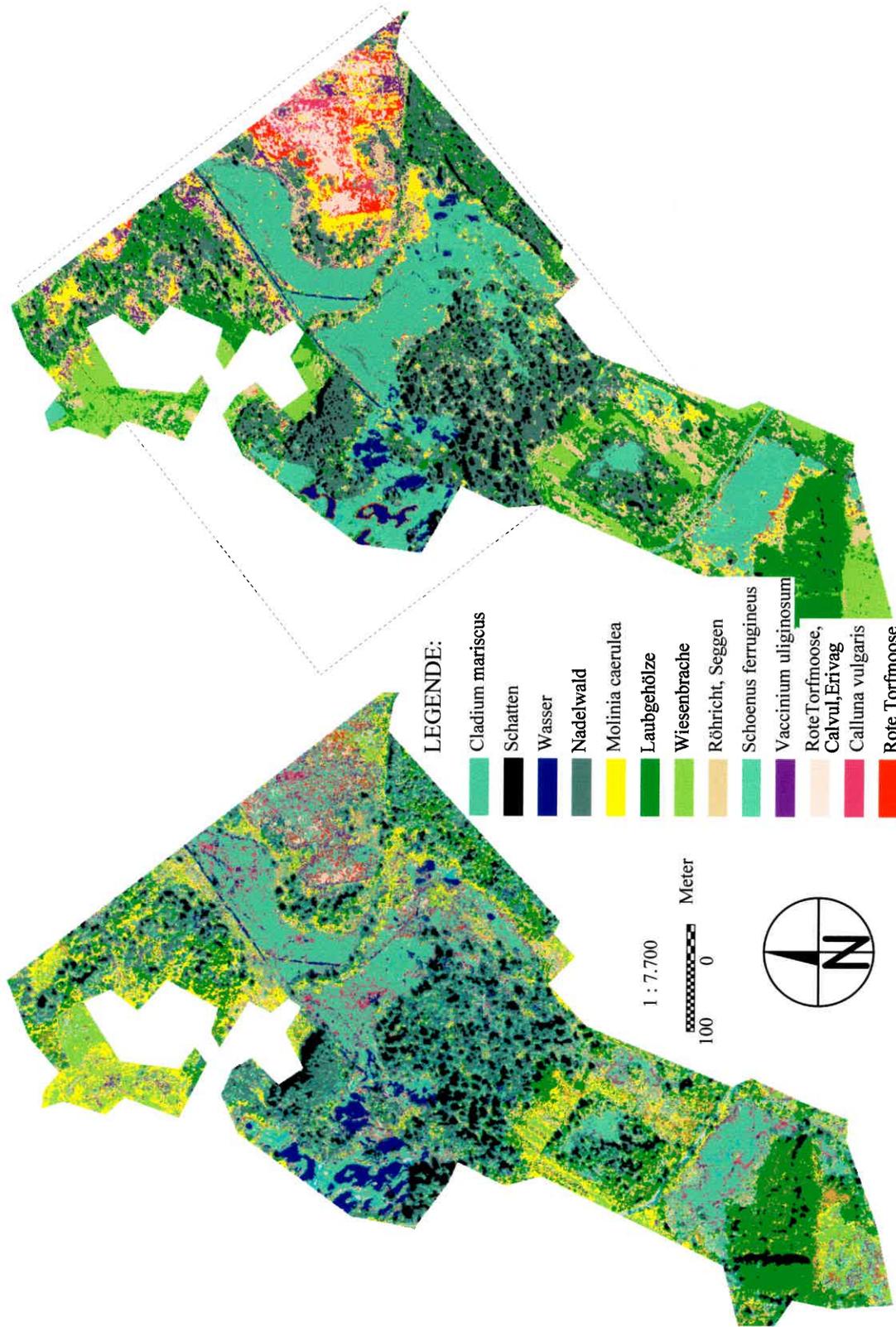


Abb. 29: Gegenüberstellung der überwachten Klassifikation eines eingescannten Luftbildes (M 1 : 20.000) und von Scannerdaten (Grundauffösung jeweils 1m², nahezu identische Trainingsflächen, erzeugt mit „seed“)

3.3.4.5.4 Umsetzung und Bewertung der überwachten Klassifikation von Flugzeugscannerdaten

In Kap. 3.3.4.5.3 wurde bereits gezeigt, daß sich Flugzeugscannerdaten bei gleichen Randbedingungen (Grundauflösung, Trainingsflächen) besser für eine überwachte Klassifikation eignen als Luftbilder.

Um die weiteren Möglichkeiten zu testen, wurden die Daten zunächst in der Variante 5 m x 5 m klassifiziert. Mit nur 26 Trainingsflächen, d.h. einer pro Objektklasse, konnte nach nur wenigen Klassifikationsversuchen eine der Wirklichkeit sehr nahe kommende Vegetationskarte des Wurzacher Riedes erzeugt werden (Abb. 30). Selbst die mitklassifizierten Ortslagen oder die intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen verursachten nur in geringem Umfang Fehlklassifikationen. Großräumige Merkmale der Vegetationsverteilung, wie die Verbreitung roter Torfmoose in den Zwischenmooren ①, die Wasserschlenken ② oder die Ausdehnung der Spirken auf den Hochmoorschilden ③, die Verheidung des Haidgauer Torfstichgebietes ④, aber auch die nur noch geringen Anteile des kalkoligotrophen Niedermoores ⑤ an der gesamten Vegetation oder die Extensivierung im Riedrandbereich ⑥ lassen sich deutlich erkennen. Unterstellt man nur eine geringe Lageabweichung der Scannerdaten von 1 bis 2 Pixeln, so ergibt sich daraus aufgrund der geringen Grundauflösung ein potentieller Lagefehler von 5 bis 10 m, der für ein vegetationskundliches Monitoring aber nicht mehr toleriert werden kann.

Die weitere Auswertung konzentrierte sich daher auf die Klassifikation der Scannerdaten mit einer Grundauflösung von 1 m x 1 m und einem Lagefehler von etwa 2 m (Kap. 3.3.4.2), welche aufgrund der Dateigröße von 400 MB höchste Ansprüche an die PC-Ausstattung stellte. Auch hier wurde, wie schon bei der Luftbildklassifikation (S. 93), die Erwartung, daß eine erhöhte Grundauflösung die Klassifizierung erleichtern würde, nicht erfüllt. Trotz zahlreicher Versuche konnten die Trainingsflächen nicht so ausgewählt werden, daß eine Gesamtkarte des Wurzacher Riedes mittels einer Klassifikation erzeugt werden konnte. Das Reduzieren wie das Hinzufügen von Trainingsflächen führte zu so augenfälligen Fehlklassifikationen, daß schließlich der Entschluß gefaßt wurde, Niedermoor auf der einen Seite (KUHN 1998), Hoch- und Zwischenmoor auf der anderen Seite getrennt voneinander zu klassifizieren. Die in dieser Beziehung übereinstimmenden Ergebnisse bei Luftbildern und Scannerdaten sowie anderen Autoren (DLR 1989) stützen die Vermutung, daß die Ursache in der mit der Grundauflösung steigenden spektralen Vielfalt zu suchen ist, welche mit Hilfe von Trainingsflächen selbst bei sechs Kanälen nur schwer den gewünschten Objektklassen zuzuordnen ist. Möglicherweise könnten Modifikationen in dem zugrundeliegenden mathematischen Algorithmus, der für die geringen Grundaufösungen von Satellitenbilddaten ausgelegt wurde, Verbesserungen bringen.

Die Klassifikation des Hoch- und Zwischenmoores bedurfte einer Vielzahl von Versuchen und gelang schließlich mit 59 Trainingsflächen (Abb. 31), welche sich an den in Kap. 3.3.4.3.1 dargestellten Kartierschlüsseln zur visuellen Luftbildauswertung orientierten. Zur Kartendarstellung wurden die Klassen nach der dominierenden Art zusammengefaßt. Die Klassifikationsqualität wurde in diesem Fall auch mit Hilfe der Schwellenwertbestimmung bewertet. Die daraus resultierenden Ergebnisse stimmten aber in keiner Weise mit den eigenen Beurteilungen überein. So wurden viele Flä-

chen mit roten Torfmoosen als wahrscheinlich fehlerklassifiziert eingestuft, obwohl gerade die roten Torfmoose aufgrund ihrer ungewöhnlichen Färbung zu einer unproblematischen Objektklasse gehört. Von einer weiteren Anwendung dieses Verfahrens wurde abgesehen, zumal der Geländeabgleich generell als der zuverlässigere Weg der Evaluierung angesehen wird (ERDAS 1992 - 1994, ALBERTZ 1991). Ein detaillierter Vergleich mit Geländekenntnis und vor allem Luftbildern zeigte, daß Ähnlichkeiten in der Signatur von dichten *Calluna vulgaris* - Altbeständen und Torfschlamm, sowie von Laubgehölzen und *Vaccinium uliginosum* bestehen, so daß in wenigen Ausnahmefällen Fehlerklassifikationen nicht zu vermeiden waren. Aufgrund der Verkleinerung geht dies nicht aus der Abbildung hervor. In der Klassifikation sind deutlich höhere Spirken ①, die Schlenkenregion mit dominierenden bunten Torfmoosrasen ② und vereinzelt Wasserschlenken ③, Regenerationsstadien mit roten Torfmoosen ④, *Calluna vulgaris* ⑤- und *Vaccinium uliginosum* ⑥ - Zwergstrauchheiden sowie Pfeifengrasheiden ⑦ erkennbar.

Ausschlaggebend für die Qualität der Klassifikation ist die Auswahl der Trainingsflächen. Jede Veränderung derselben, auch wenn es sich nur um wenige Pixel Abweichung handelt, führt zu anderen Gesamtklassifikationen und damit Flächenabgrenzungen. Mit Hilfe der „seed“-Funktion erzeugte Trainingsflächen bringen dabei bessere Klassifizierungsergebnisse als von Hand auf dem Bildschirm abgegrenzte Flächen, da Pixel mit deutlich anderen spektralen Eigenschaften von vornherein ausgeschlossen werden. Der Bearbeiter muß mittels der visuellen Interpretation von Luftbildern und eventuell Geländebegehungen entscheiden, wann die Trainingsflächen so optimiert sind, daß ein realistisches Klassifikationsergebnis entstanden ist. Auch wenn damit das Urteil des Einzelnen erhebliche Bedeutung für das Ergebnis hat, so ist durch diese Methode in jedem Fall gewährleistet, daß die Kriterien für die Vegetationskarte auf der ganzen Fläche in gleicher Weise angewandt wurden. Besonders hervorzuheben ist auch, daß das Ergebnis beliebig reproduzierbar ist, wenn die Trainingsflächen durch die Koordinaten des „seed“-Ausgangspunktes, die gewählte Pixelanzahl und den jeweiligen spektralen Abstand detailliert dokumentiert wurden. Mit Hilfe der in Tab. 11 enthaltenen Informationen kann daher die in Abb. 31 dargestellte Klassifikation auf der Basis der 1 m x 1 m Flugzeugscannerdaten vom Juni 1995 immer wieder erzeugt werden. Die in der Tabelle enthaltene Kurzbeschreibung ermöglicht in Verbindung mit dem zugehörigen Luftbild die Prüfung, ob zum Zeitpunkt einer erneuten Kontrolle die Qualität der Trainingsflächen gleich geblieben ist. In diesem Fall können sie für die Klassifikation der neuen Scannerdaten wiederverwendet werden. Haben sie sich verändert, so müssen neue, in ihren Eigenschaften vergleichbare Flächen ausgewählt werden. Dadurch wird gewährleistet, daß die Flugzeugscannerdaten der Wiederholungsuntersuchung annähernd auf die gleiche Weise klassifiziert werden, so daß ein direkter Vergleich der Ergebnisse möglich ist. Sollten sich die mathematischen Algorithmen so grundlegend geändert haben, daß ein Vergleich der Klassifikationsergebnisse nicht legitim wäre oder verbesserte Ergebnisse zu erwarten sind, ist es möglich, anhand der Originaldaten neu zu klassifizieren. Als Qualitätsmaßstab für die Klassifikation können dann die historischen Luftbilder herangezogen werden.

Auch bei der überwachten Klassifikation von Scannerdaten treten trotz insgesamt großer, gleichartiger Flächen und guter Übereinstimmung mit der Realität einzelne Pixel auf, die eindeutig fehlerhaft zugeordnet wurden. Durch eine Generalisierung können solche Ungenauigkeiten eliminiert werden, so daß die optisch deutlich zusammengehörigen Flächen auch vom Computer als solche erkannt werden. Dies ist die Voraussetzung für eine Umwandlung in eine Vektorgraphik, bei der Flächen

nicht durch eine Summe von Einzelpixeln (Rasterdaten) dargestellt sind, sondern durch ein Polygon, das die Fläche umgrenzt. Diese Form der Darstellung entspricht dem traditionellen Verständnis von einer Karte. Sie führt aber zu einer Verringerung der Detailschärfe, weil dadurch auch tatsächlich vorhandene, kleinflächige Unterschiede in der Vegetation, v.a. Linienstrukturen wie Gräben, Wildwechsel und Trampelpfade aus der Darstellung entfernt werden. Derzeit ist, außer dem einheitlicheren und damit ansprechenderen Aussehen, kein Vorteil dieses Verfahrens im Hinblick auf ein Monitoring zu erkennen.

Zum Aufzeigen von Veränderungen werden die Klassifikationen wie traditionelle Vegetationskarten einander gegenübergestellt oder in einem GIS überlagert und qualitativ visuell bzw. quantitativ ausgewertet. In manchen Raster - GIS wie IDRISI gibt es darüberhinaus auch weitere Analysefunktionen für Zeitserien, die aber im Rahmen dieser Arbeit mangels Vergleichsmaterials nicht auf ihre Verwendbarkeit hin getestet werden konnten.

Die überwachte Klassifikation von Scannerdaten mit einer Auflösung von 1 m x 1 m ermöglicht es folglich, großräumige Veränderungen in der Vegetation der Hoch- und Zwischenmoore inhaltlich wie räumlich hinreichend genau, nachvollziehbar und in hohem Maße reproduzierbar zu dokumentieren. Für die Beobachtung kleinräumiger Veränderungen ist diese Methode aufgrund der zu geringen Auflösung und des daraus resultierenden übermäßig großen Lagefehlers nicht geeignet.

Tab. 11 (S. 101f.): Trainingsflächen der Klassifikation für die Hoch- und Zwischenmoorvegetation des Wurzacher Riedes auf der Basis der Scannerbefliegung von 1995. Nachbarschaft +: 4 Nachbarn, □: 8 Nachbarn; HTSG: Haidgauer Torfstichgebiet

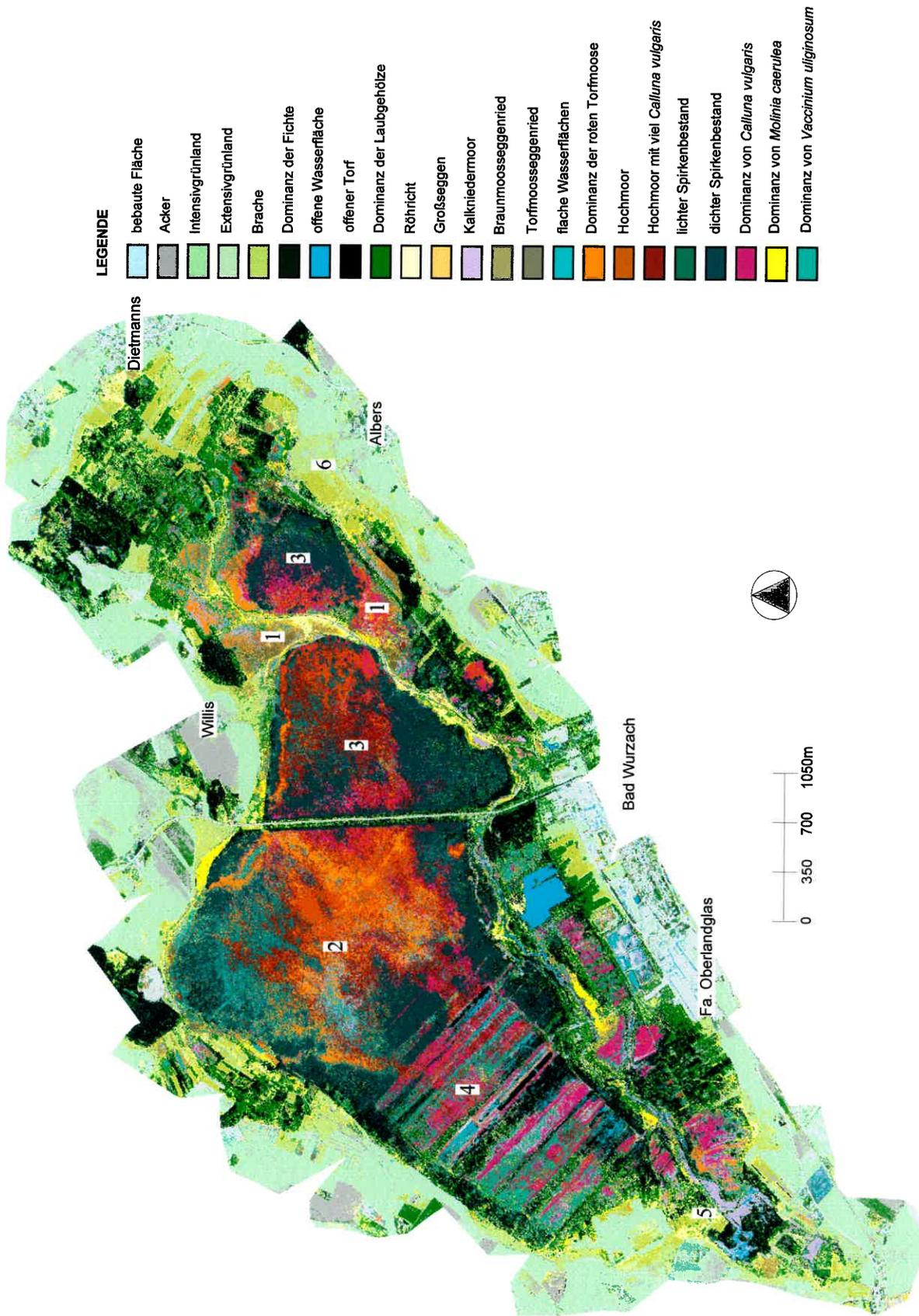
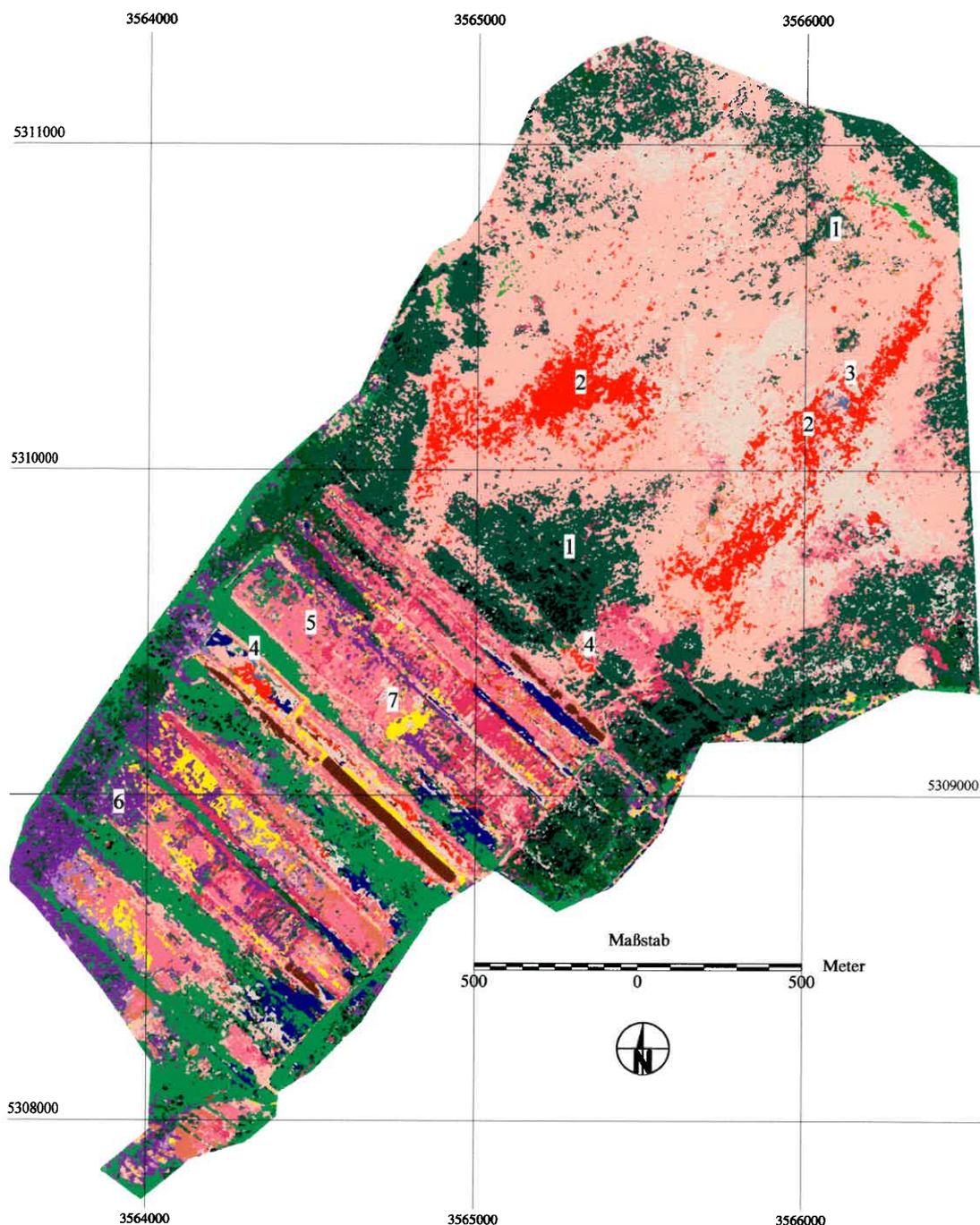


Abb. 30: Flächendeckende überwachte Klassifikation des Wurzacher Riedes auf der Basis von Flugzeugscannerdaten mit 5mx5m Grundauflösung (Befliegung Juni 1995), Ziffern vgl. S. 96



Vegetationskarte des westlichen Haidgauer Riedes

- | | | |
|---|---|---|
| ■ Laubholz | ■ Hochmoor mit viel <i>Cal. vul.</i> | ■ offener Torf |
| ■ grüne Torfmoose | ■ Hochmoor mit wenig <i>Cal. vul.</i> | ■ rote Torfmoose |
| ■ <i>Pinus mugo</i> (baumf.) | ■ <i>Calluna vulgaris</i> | ■ Wasser |
| ■ <i>Vaccinium uliginosum</i> | ■ <i>Molinia caerulea</i> | |

Abb. 31: Ausschnitt des westlichen Haidgauer Riedes aus der Klassifikation der Hoch- und Zwischenmoore des Wurzacher Riedes auf der Basis von Flugzeugscannerdaten mit 1m x 1m Grundauflösung (Befliegung Juni 1995), Ziffern vgl. S. 97

Nr.	Bezeichnung	x - Wert	y - Wert	Pixelanzahl	Spektraler Abstand	Beschreibung
25	BraunmSeg_1	356.7887,875	53.09714,8750	100	+ 10	Braunmoosseggenried (rasige Gräser) im Torfstich des Alberser Zwischenmoor
26	Call_1	356.7903,125	53.09996,875	100	<input type="checkbox"/> 13	dichter, alter Heidebestand im Alberser Zwischenmoor
8	CallErivag_1	356.4545,125	53.09434,875	100	<input type="checkbox"/> 100	Mischbestand aus Call.vulg. und Eri.vag. auf Rücken 5 HTSG
57	CallErivag_2	356.5561,625	53.09497,375	1000	<input type="checkbox"/> 10	Cal.vul. mit Eri.vag. auf Rücken 10 HTSG
51	CallMol_1	356.4628,125	53.08620,875	100	<input type="checkbox"/> 20	Mischbestand aus Cal.vul./Mol.caer. auf Rücken 3 HTSG
53	CallMol_2	356.4018,875	53.08855,375	100	<input type="checkbox"/> 20	Mischbestand aus Cal.vul./Mol.caer. auf Rücken 2 HTSG
7	CallrT_1	356.8088,125	53.10616,875	100	<input type="checkbox"/> 100	ausgedehnte verheideete Hochmoorflächen im großen Alberser Ried
44	CallVacuui_1	356.4472,357	53.08676,625	100	+ 20	Mischbestand Call.vul./Vac.uli. auf Rücken 3 am Rand zu Torfstich 3 HTSG
48	CallVacuui_2	356.4991,125	53.09143,125	100	<input type="checkbox"/> 20	Mischbestand aus Cal.vul./Vac.uli. auf Rücken 5 HTSG
52	CallVacuui_3	356.4171,9375	53.08959,9375	100	<input type="checkbox"/> 20	Mischbestand aus Cal.vul./Vac.uli. auf Rücken 3 HTSG
47	CallVacuuiErivag_1	356.4942,625	53.09143,375	100	<input type="checkbox"/> 20	Mischbestand aus Cal.vul./Vac.uli./Eri.vag. auf Rücken 5 HTSG
30	Erivag_1	356.5235,8125	53.11012,6875	100	<input type="checkbox"/> 20	Eri.vag. in Schneise des ndl. Spirkenrandwald im westl. Haidgauer Ried
39	Erivag_2	356.6146,75	53.09915,525	100	<input type="checkbox"/> 20	Eri.vag.-Bestände auf Wildwechsel zentraler Schlenkenzug/B 465
41	Erivag_3	356.7457,0625	53.10212,9375	100	<input type="checkbox"/> 20	Eri.vag.-Bestände mit etw. roten und grünen Torfm. Im östlichen Haidgauer Ried
45	Erivag_4	356.7646,625	53.10508,625	100	+ 15	Eri.vag. im Ostrand des östlichen Haidgauer Ried
46	Erivag_5	356.5070,25	53.09113,25	100	<input type="checkbox"/> 20	Eri.vag im überfluteten Torfstich 6 HTSG
37	ErivagCall_1	356.4272,0625	53.08701,9375	100	<input type="checkbox"/> 20	Mischbestand Eri.vag./Call.vul.: auf Rücken 2 HTSG
59	ErivagCall_2	356.5554,8125	53.09551,9375	1000	<input type="checkbox"/> 10	Mischbestand aus Cal.vul./Eri.vag. auf Rücken 10 HTSG
58	ErivagCall_3	356.5544,125	53.10777,875	1000	<input type="checkbox"/> 10	Eri.vag. mit Call.vul. am Nordrand des Haidgauer Riedes
19	ErivagrTm_1	356.5350,125	53.11270,375	100	<input type="checkbox"/> 20	Eri.vag. mit roten Torfmoosen in Schneise des nördlichen Spirkenrandwald
23	ErivagrTm_2	356.4220,625	53.09440,375	100	<input type="checkbox"/> 25	Eriophorum vag. mit Wasser und S. cusp. im frischen Torfstich 2 im HTSG
17	gghjung_1	356.8123,6874	53.09929,8125	100	<input type="checkbox"/> 15	Gehölzjungwuchs im Randbereich zum Laubwaldsaum am Stadtkanal
32	grTorfm_1	356.7947,0625	53.09820,4375	100	+ 10	grüne Torfmoosrasen (S. pap.) mit Seggen im Alberser Zwischenmoor
27	grTorfm_2	356.6291,5625	53.10796,6875	100	+ 10	flutende grüne Torfmoose (S. cusp.) in Schlenken unterhalb Iggenau
4	Laub_1	356.6939,75	53.08874,25	100	<input type="checkbox"/> 100	alter, dichter Laubwaldbestand im Kurpark
5	Laub_2	356.6906,75	53.08822,75	100	<input type="checkbox"/> 100	alter, dichter Laubwaldbestand im Kurpark
6	Laub_3	356.8123,25	53.09870,25	100	<input type="checkbox"/> 100	alter Laubwaldsaum am Stadtkanal in Höhe Alberser Zwischenmoor
14	Laub_4	356.7820,9688	53.09952,4688	100	+ 20	einzelne Birke im Alberser Zwischenmoor
36	Molcaer_1	356.4154,7812	53.09098,7187	100	+ 20	Pfeifengrasbestände auf Rücken 3 im HTSG, mit etw. Vac.uli.
31	Molcaer_2	356.4355,125	53.08908,875	100	<input type="checkbox"/> 10	Pfeifengrasbestand in der Mitte des Rückens 4 HTSG
50	Molcaer_3	356.4538,125	53.09117,875	100	<input type="checkbox"/> 20	Pfeifengrasbestand auf Rücken 3

3	offTorf_1	356.4889,625	53.08781,875	100	<input type="checkbox"/> 100	offener Torf auf Frästorffläche des Rückens 4 HTSG
11	offTorf_2	356.5149,0313	53.09395,4688	100	+ 20	Frästorffläche Torfstich 8
22	offTorf_3	356.4601,5625	53.09052,4375	100	<input type="checkbox"/> 20	offener, sehr trockener Torf auf Frästorffläche des Rückens 4 HTSG
12	Picea_1	356.3907,0312	53.09140,5937	100	+ 30	einzelne Fichte am Nordrand des HTSG, Höhe Torfstich 3
42	PinusCallirT_1	356.7580,5625	53.10196,9375	100	<input type="checkbox"/> 20	lichere Latschenbestände mit Call.vul. u. roten Torfmoosen im östl. Haidg. Ried
33	Pinus_1	356.8400,625	53.10241,375	100	<input type="checkbox"/> 100	dichter Spirkenwald im südlichen großen Alberser Ried
34	Pinus_2	356.7799,625	53.10255,375	100	<input type="checkbox"/> 100	Spirkenwald im östlichen Haidgauer Ried (Ostrand)
13	Pinus_3	356.5286,5313	53.09552,0938	100	+ 20	dichter Spirkenbestand am Graben 10 im HTSG
56	PinusErivag_1	356.7011,625	53.09862,875	1000	<input type="checkbox"/> 20	lichere Latschenbestände mit Eri.vag. im östlichen Haidgauer Ried
38	PinusT_1	356.5462,625	53.09768,375	100	<input type="checkbox"/> 20	lichere Latschenbestände mit roten Torfmoosen östlich des Grabens 10 HTSG
10	rotTorfm_1	356.5762,9375	53.09686,0625	100	+ 20	flächige rote Torfmoosrasen im zentralen Schlenkenzug des Haidgauer Rieds
29	rTCall_1	356.7334,8125	53.09936,1875	100	<input type="checkbox"/> 20	roten Torfmoosen, alten Calluna vul.-Beständen, Spirkenwald östl. Haidgauer Ried
1	Schatten_1	356.9441,875	53.11702,875	100	<input type="checkbox"/> 25	Schlagschatten eines dichten Fichtenforstes auf Grünland unterhalb Dietmanns
2	Schatten_2	356.3733,25	53.07540,75	100	<input type="checkbox"/> 25	Schlagschatten eines dichten Fichtenwaldes auf Wiesenbrache Haidgauer Quellseen
15	Schatten_3	356.5239,0625	53.09546,9375	100	<input type="checkbox"/> 10	Schatten innerhalb Spirkenwald im HTSG Randbereich östl. Graben 9
16	Schatten_4	356.8251,3125	53.10184,5625	100	<input type="checkbox"/> 10	Schatten innerhalb Spirkenwald, großes Alberser Ried nahe Alb Zwischenmoor
24	Schlenke_1	356.6111,9375	53.10213,6875	100	+ 13	Wasserschlenke im zentralen Schlenkenzug des Haidgauer Rieds
49	Torfim_1	356.4908,625	53.08818,875	100	<input type="checkbox"/> 20	flutende S. cusp. im frischen Torfstich 5 HTSG
54	Torfschlamml_1	356.7759,625	53.09782,375	1000	<input type="checkbox"/> 19	primäre offene Torfflächen im Alberser Zwischenmoor mit Streu und Seggen
55	Torfschlamml_2	356.7854,0625	53.09793,4375	1000	<input type="checkbox"/> 18	primäre offene Torfflächen im Alberser Zwischenmoor mit Streu und Seggen
18	totbaum	356.5264,8437	53.09248,9062	100	<input type="checkbox"/> 20	toter Baum im überstauten Torfstich 8 (HTSG)
9	Vaculi_1	356.3925,625	53.08993,375	100	<input type="checkbox"/> 100	flächige Vaccinium uliginosum - Bestände auf Rücken 2 des HTSG
35	Vaculi_2	356.3845,625	53.08607,375	100	<input type="checkbox"/> 100	flächige Vaccinium uliginosum - Bestände auf Rücken 1 des HTSG
40	Vaculi_3	356.3868,0312	53.09127,4687	100	+ 20	flächige Vaccinium uliginosum - Bestände, Nordrand HTSG, auf Höhe Rücken 2
43	Vaculi_4	356.4797,375	53.09179,8750	100	<input type="checkbox"/> 20	Rauschbeere auf Rücken 5 im HTSG (stüdl. Schwindelsee)
28	WasfImErivag	356.5225,0625	53.10204,4375	100	<input type="checkbox"/> 20	feuchte bis nasse rote Torfmoosrasen mit Eri.vag., nördl. Freifläche Haidgauer Ried
20	Wasser_1	356.5248,625	53.09260,375	100	<input type="checkbox"/> 20	Wasser im überstauten Torfstich 8 (HTSG)
21	Wasser_2	356.4488,625	53.08371,375	100	<input type="checkbox"/> 30	Wasser im Torfstich 2 des HTSGes

4 Abschließende Diskussion

Methoden für ein Monitoring der Hoch- und Zwischenmoore im Wurzacher Ried müssen hohen Anforderungen in Bezug auf Aussagefähigkeit (Kap. 2.3), Reproduzierbarkeit und Nachvollziehbarkeit sowie Lagegenauigkeit gerecht werden. Außerdem sind eine geringe Betretungsintensität und reduzierte Kosten gefordert (Kap. 3.1). In den Tab. 12 und Tab. 13 sind die wesentlichen Vor- und Nachteile der getesteten Methoden zusammengefaßt.

Tab. 12: Wesentliche Vor- und Nachteile der für das Monitoring der Hoch- und Zwischenmoore im Wurzacher Ried getesteten Luftbildvarianten (Kap. 3.3.2), Erläuterung vgl. Tab. 13

Bewertungs- Luft- bildvariante	Aussagegenauigkeit	Lagegenauigkeit
Maßstab		
größer als 1 : 2.000	- Räumlicher Zusammenhang geht verloren. + Pflanzenindividuen sind erkennbar.	- Entzerrung für die Gesamtfläche des Wurzacher Ried mit geringer Lageabweichung nur mit hoher Betretungsintensität und / oder Kostenaufwand umzusetzen
1 : 2.000	+ Räumlicher Zusammenhang und artspezifische Strukturen sind ausreichend erkennbar.	
kleiner als 1 : 2.000	- Artspezifische Strukturen sind nicht mehr ausreichend erkennbar.	(+ Entzerrung für Gesamtfläche des Wurzacher Riedes mit geringer Lageabweichung ab Maßstab 1 : 20.000 ohne Betretung der Tabuzone und bei geringen Kosten realisierbar)
Filmart		
Color - Dia	- Geringe farbliche Differenzierung; Torfmoose sind nicht erkennbar.	X
Color- Infrarot	+ Hohe farbliche Differenzierung; Rote Torfmoose sind sehr gut erkennbar.	
Befliegungszeitpunkt		
Anfang Juni	+ starke Farbkontraste durch artspezifische phänologische Unterschiede	X
Mitte August	- vergleichsweise einheitliche Färbung durch hohe Vitalität der Blattorgane	
Ende September	(+) leicht verstärkte Farbkontraste durch artspezifische phänologische Unterschiede	

Tab. 12 zeigt auf, daß sich Farb-Infrarotluftbilder vom Frühjahr im Maßstab 1:2.000 am besten dafür eignen, die flächenhafte Entwicklung der in Kap. 2.3 ausgewählten Indikatoren zu beobachten. Als Beispiele seien die Entwicklung der Bewaldung auf den Hochmoorschilden, die Hochmoorregeneration, die Entwicklung von Torfschlammshlenken oder Hochmoorinitialstadien im Zwischenmoor genannt. Ergänzende Informationen können aus großmaßstäblichen Luftbildern und Schrägbildaufnahmen entnommen werden. Allerdings setzen lagegenaue Karten eine Entzerrung

Tab. 13: Wesentliche Vor- und Nachteile der für das Monitoring der Hoch- und Zwischenmoore im Wurzacher Ried getesteten Kartierverfahren
 (+ : gewichtiger Vorteil, - : gewichtiger Nachteil, fett markiert: wesentliche Argumente, welche eine Anwendung im Rahmen des Monitorings für das Wurzacher Ried ausschließen oder zumindest einschränken)

Bewertungskriterien	Aussagegenauigkeit	Nachvollziehbarkeit / Reproduzierbarkeit	Lagegenauigkeit	Betretungsintensität Kostenaufwand
Traditionelle Verfahren				
Kleintransekte (Kap. 3.2.1.1): 10 cm ² Aufnahmeflächen, Ermittlung des Deckungsgrades im Schätzverfahren, graphische Darstellung	<ul style="list-style-type: none"> + Die Indikatoren können detailliert aufgenommen werden. - Aussagen im Bezug auf die Gesamtfläche sind nur bei einer repräsentativen Verteilung möglich. 	<ul style="list-style-type: none"> - Schätzverfahren zur Aufnahme des Deckungsgrades 	<ul style="list-style-type: none"> + bei gutem Erhaltungszustand der Markierungen sehr gut - Wiederauffindbarkeit und dauerhafte Markierung im Moor ist schwierig zu gewährleisten. 	<ul style="list-style-type: none"> - Repräsentative Verteilung würde flächendeckende Betretung erfordern und sehr hohe Kosten verursachen. - graphische Auswertung sehr aufwendig
Großtransekte (Kap. 3.2.2.2): 4 m ² Aufnahmeflächen, Ermittlung des Deckungsgrades im Schätzverfahren, Auswertung als Balkendiagramm	<ul style="list-style-type: none"> + Die Indikatoren können detailliert aufgenommen werden. - Aussagen im Bezug auf die Gesamtfläche sind nur bei einer repräsentativen Verteilung möglich. 	<ul style="list-style-type: none"> - Schätzverfahren zur Aufnahme des Deckungsgrades 	<ul style="list-style-type: none"> + bei gutem Erhaltungszustand der Markierungen sehr gut - Wiederauffindbarkeit und dauerhafte Markierung ist im Moor schwierig zu gewährleisten. 	<ul style="list-style-type: none"> - Repräsentative Verteilung würde flächendeckende Betretung erfordern und sehr hohe Kosten verursachen.
Fernerkundungsverfahren			vgl. Kap. 3.3.4.2	
manuelle Kartierung (Kap.3.3.4.3.3) Abgrenzen homogener Flächen auf eingescannten und entzerrten CIR - Luftbildern im M 1 :2.000, Schätzen der Deckungsgrade im Luftbild, Zuordnung in die verschiedenen Kartierschlüssebenen in einem GIS	<ul style="list-style-type: none"> + Die räumliche Verteilung der wesentlichen Indikatoren kann kartiert werden. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bei der visuellen Interpretation und räumlichen Abgrenzung bleiben Entscheidungsspielräume, deren Art und Umfang aber durch andere Kartierer auf der Grundlage der Basisdaten (archivierte Luftbilder) abgeschätzt werden kann. Ggf. kann die Kartierung nachträglich verändert werden. 	<ul style="list-style-type: none"> + technisch bedingte Lagegenauigkeit sehr hoch + kleinräumiger Vergleich kann auf der Grundlage der Basisdaten (Luftbilder) abgesichert werden 	<ul style="list-style-type: none"> - Kostenaufwand für Kartierung und Entzerrung der Gesamtfläche wäre sehr hoch. - ggf. hohe Betretungsintensität für Paßpunkte messen

Tab. 13 (Fs.)

Bewertungskriterien	Aussagegenauigkeit	Nachvollziehbarkeit / Reproduzierbarkeit	Lagegenauigkeit	Betreutungsintensität Kostenaufwand
Kartierverfahren			vgl. Kap. 3.3.4.2	
Fernerkundungsverfahren/automatische Klassifikation	- ohne Informationswert			
unüberwachte Klassifikation von Flugzeugscannerdaten und Luftbildern (Kap. 3.3.4.5.2)				
überwachte Klassifikation von Luftbildern (Kap. 3.3.4.5.3): Ermittlung von Trainingsflächen mit Hilfe „seed“ - properties	- Die Indikatoren sind nicht sicher zu unterscheiden.	+ nachvollziehbar und in hohem Maße reproduzierbar. Das Klassifikationsergebnis ist zwar bearbeitungsabhängig, es kann jedoch durch einen anderen Kartierer auf der Grundlage der Basisdaten (archivierte Luftbilder) modifiziert werden.	+ technisch bedingte Lagegenauigkeit sehr hoch	- Kostenaufwand für Kartierung und Entzerrung der Gesamtfläche sehr hoch - ggf. hohe Betretungsintensität für Paßpunkte
überwachte Klassifikation von Luftbildausschnitten mit einer geringen Anzahl visuell deutlich unterscheidbarer Objektklassen (Kap. 3.3.4.5.3) Ermittlung von Trainingsflächen mit Hilfe „seed“ - properties	+ Die räumliche Verteilung wesentlicher Indikatoren kann erfaßt werden.	+ nachvollziehbar und in hohem Maße reproduzierbar. Das Klassifikationsergebnis ist zwar bearbeitungsabhängig, es kann jedoch durch einen anderen Kartierer auf der Grundlage der Basisdaten (archivierte Luftbilder) modifiziert werden.	+ technisch bedingte Lagegenauigkeit sehr hoch - Wiederauffindbarkeit und dauerhafte Markierung ist im Moor schwierig zu gewährleisten.	+ durch Beschränkung auf Teilflächen geringe Betretungsintensität und Kosten
überwachte Klassifikation von Flugzeugscannerdaten (Kap. 3.3.4.5.4): Ermittlung von Trainingsflächen mit Hilfe „seed“ - properties	+ Die räumliche Verteilung wesentlicher Indikatoren kann erfaßt werden.	+ nachvollziehbar und in hohem Maße reproduzierbar. Das Klassifikationsergebnis ist zwar bearbeitungsabhängig, es kann jedoch durch einen anderen Kartierer auf der Grundlage der Basisdaten (archivierte Scannerdaten) modifiziert werden.	+ technisch bedingte Lagegenauigkeit für großräumige Veränderungen akzeptabel - Geringe Grundauffösung von maximal 1m ² ist zur Beobachtung kleinräumiger Veränderungen ungeeignet.	+ Kostenaufwand und Betretungsintensität für eine Kartierung der Gesamtfläche ist vergleichsweise gering.

voraus, die bezogen auf die Gesamtfläche für große Maßstäbe zu kosten- und bei Signalisierung flächendeckender Paßpunkte im Gelände zu betretungsintensiv wäre.

Aus Tab. 13 geht hervor, daß es keine Methode gibt, die im Wurzacher Ried sowohl für die Beobachtung der großräumigen als auch der kleinräumigen Veränderungen uneingeschränkt geeignet ist. Letztendlich bietet sich jeweils nur ein Verfahren an:

- Zur Dokumentation kleinflächiger Veränderungen in den Schlenkenzonen der Hoch- und Zwischenmoore ist die überwachte Klassifikation von Ausschnitten großmaßstäblicher Luftbilder geeignet. Sie werden anhand lokaler Geländekoordinaten (Dauermarkierungen) entzerrt. Eine Wiederholung ist bereits im Abstand weniger Jahre sinnvoll, da die schnelle Reaktion von Torfmoosen auf eine veränderte Wasserbilanz innerhalb eines Jahres (vgl. S. 51) aufschlußreiche Ergebnisse in Bezug auf die Entwicklung nach der Wiedervernässung erwarten läßt.
- Die großräumige flächenhafte Entwicklung wird auf der Gesamtfläche mit Hilfe von Flugzeugscannerdaten beobachtet, welche überwacht klassifiziert werden. Nachdem Veränderungen erst nachgewiesen werden können, wenn sie gleichgerichtet auf Flächen von mehreren Quadratmetern Größe stattfinden, ist ein erneuter Scannerflug frühestens nach 10 Jahren sinnvoll.

Die vorgeschlagene Vorgehensweise, welche dem Auftraggeber detailliert und mit genauen Flächenbezügen übermittelt wurde, ist als Minimalprogramm zu verstehen. Weitere Untersuchungen können das Gesamtergebnis absichern und ergänzen. Folgendes wird für das Wurzacher Ried vorgeschlagen:

- Zwischen der überwachten Klassifikation von Flugzeugscannerdaten und der von Luftbildauschnitten besteht ein großer Maßstabssprung. Er kann durch eine manuelle Kartierung von größeren zusammengehörigen Moorteilen auf der Basis von CIR - Luftbildern im M 1 : 2.000 verringert werden, wie sie in Abb. 24 dargestellt ist. Damit wird das frühzeitige Aufdecken von Artverschiebungen in größerem Flächenzusammenhang ermöglicht.
- Torfschlammshlenken im Zwischenmoor wurden als der wesentliche Lebensraum von überregional und auch im Wurzacher Ried hochgradig gefährdeten Pflanzenarten, insbesondere von Glazialrelikten (S. 35) erkannt. In deren bisherigem Verbreitungsgebiet sollten bei den für eine Luftbildkalibrierung und Signalisierung von Paßpunkten erforderlichen Geländebegehungen Florenlisten erstellt werden, um zu überprüfen, ob sich die Bestandsentwicklung, wie prognostiziert, mit der Veränderung der Torfschlammshlenken deckt.

Erfolgskontrollen im Naturschutz werden immer wieder vehement gefordert (z.B. PFADENHAUER et al. 1986, PLACHTER 1990, WEY et al. 1994), aber in der Realität nur wenig umgesetzt. Die Gründe dafür sind sicherlich vielfältig. Beispielsweise steht der vergleichsweise teuren Einrichtung gegenüber, daß wissenschaftlich oder politisch verwertbare Ergebnisse häufig erst nach vielen Jahren, vielleicht erst in der nächsten oder übernächsten Generation zu erwarten sind. Die Ursachen sind zum Teil auch in den Methoden und den daraus resultierenden Kosten zu suchen. Abgesicherte Aussagen waren bisher nur anhand von Dauerbeobachtungsflächen möglich, die, auch auf kleinem Raum betrieben, zeitaufwendig sind und ein hohes Maß an Betretung erfordern. Außerdem wird von

mehr oder weniger repräsentativen Teilflächen auf die Entwicklung in der Gesamtfläche geschlossen. Der Vergleich flächenhafter Untersuchungen, beispielsweise von Vegetations- oder von artspezifischen Verbreitungskarten scheidet oft schon an den Unsicherheiten bezüglich der Lage, da die Einträge relativ zu Orientierungspunkten in Flurkarten, auf wenig differenzierten Orthophotos oder auf Deckfolien über nicht entzerrten und georeferenzierten Luftbildern erfolgten.

Wie der Methodentest aufgezeigt hat, sind Fernerkundungsverfahren mittlerweile soweit entwickelt, daß flächendeckende Veränderungen im Hoch- und Zwischenmoor kostengünstig, nachvollziehbar und lagegenau dokumentiert werden können. Durch den Rückgriff auf die Rohdaten, d.h. Luftbild-Originale oder Scannerdaten können auch neuartige Auswertungsverfahren nachträglich angewandt werden bzw. kann eine Anpassung an den zukünftigen Bearbeiter vollzogen werden. Die Auswertung und Anwendung von digitalen Rasterdaten ist nicht mehr ausschließlich an spezialisierte Fachleute der Photogrammetrie und eine kostenintensive Hard- und Softwareausstattung gebunden. In Verbindung mit Geographischen Informationssystemen können somit raumbezogene Informationen lagerichtig aufgenommen und miteinander verknüpft werden. Im Rahmen dieser Arbeit konnten die vielfältigen Möglichkeiten erst ansatzweise aufgezeigt werden, bei flächenbezogenen vegetationskundlichen Untersuchungen werden sie aber zunehmend an Bedeutung gewinnen (vgl. auch NÜSSER & SCHICKHOFF 1996).

Auch wenn das Repertoire an verfügbaren Methoden dadurch deutlich angewachsen ist, so läßt sich doch kein Standard für die Beobachtung räumlicher Veränderungen in der Vegetation ableiten. Jedes Verfahren weist seine Stärken oder Schwächen auf, die in Abhängigkeit von Größe und Ausstattung des Untersuchungsgebietes, der Zielsetzung der Beobachtung und nicht zuletzt von den finanziellen Mittel unterschiedlich zum Tragen kommen bzw. unterschiedlich gewertet werden müssen. Dies läßt sich anhand anderer aktueller Beispiele für ein vegetationskundliches Monitoring in Feuchtgebieten veranschaulichen:

- Erfolgskontrolle für die Moore in der Schweiz (Grünig, Ginzler, Koordinationsstelle Moorschutz, Schweizer Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), mündl. Mitteilung): Aufgrund der großen Höhenunterschiede in den Moorlandschaften der Schweiz weisen Flugzeugscannerdaten derzeit noch zu große räumliche Abweichungen auf und scheiden folglich für die Anwendung aus. Die meisten Moore sind stark anthropogen überprägt und klein, Betretungen sind demzufolge mit geringer Einschränkung zugelassen. Die technische und personelle Ausstattung ist vergleichsweise hoch. Mit Hilfe digitaler Höhenmodelle, die anhand von signalisierten Festpunkten für jedes Einzelgebiet berechnet werden, können lagegenaue Orthophotos hergestellt werden. Vegetationsgrenzen werden nach einer Generalisierung durch Eingabe von Mindestflächen automatisiert mit Hilfe von Grauwertunterschieden in den CIR-Orthophotos ermittelt, im Gelände überprüft und gegebenenfalls verändert. Die Zusammensetzung der Vegetation wird für die abgegrenzten Flächen ausschließlich im Gelände mit traditionellen Schätzverfahren ermittelt. Für dieses Vorgehen sind Luftbilder vergleichsweise kleiner Maßstäbe ausreichend (ab 1 : 5.000).
- Kartierung der Makrophytenvegetation entlang des Bodenseeufers (SCHMIEDER 1997): Die Untersuchungsflächen sind frei zugänglich, weshalb man sich ebenfalls für eine Entzerrung

mit Hilfe von signalisierten Festpunkten entschied. Eine manuelle Digitalisierung an einem optischen Luftbildauswertungsgerät zeigte sich vergleichsweise unproblematisch, da sich die meist einartigen Pflanzenbestände im Luftbild klar vom Wasser abheben. Die Kartierung der Arten erfolgte vor Ort.

Die Ergebnisse der Methodentests im Wurzacher Ried unterstreichen nachdrücklich, wie entscheidend sich die Methodenauswahl auf die Qualität eines Monitorings auswirkt. Im Vorfeld der eigentlichen Erstaufnahme ist daher eine genaue Prüfung möglicher Verfahren im Hinblick auf die spezifischen Gegebenheiten erforderlich. Zur Eingrenzung des Untersuchungsaufwandes, z.B. der Auswahl von Indikatoren, sind dabei genaue Gebietskenntnisse ebenso unerlässlich wie Einblicke in den Zustand und die Entwicklung vergleichbarer Ökosysteme.

5 Ausblick

Im Verlauf der Untersuchungen offenbarten sich bei vielen Methoden grundsätzliche Schwachstellen, die nicht oder nur teilweise umgangen werden konnten. Speziell im Bezug auf die folgenden Punkte ist zu fragen, ob sich Entwicklungen abzeichnen, die in naher oder ferner Zukunft Verbesserungen bringen werden:

1. Dauerhafte Markierungen: Sowohl bei den traditionellen Verfahren, wie auch teilweise bei Fernerkundungsverfahren kann man auf feste Marken im Gelände derzeit nicht verzichten, weil nur so ein räumlicher Vergleich möglich ist. Es bestehen Mängel hinsichtlich der Auffindbarkeit und der Haltbarkeit. Differentielle GPS (Global Positioning System: Satellitenortung) sind bereits in der Lage, die Koordinaten eines Geländepunktes auf wenige Zentimeter Genauigkeit zu ermitteln. Es ist daher nur eine Frage der Zeit, wann kostengünstige Verfahren zur Verfügung stehen, die das Auffinden von Untersuchungsflächen im Gelände ohne Markierungen ermöglichen werden.
2. Verfügbarkeit von Fernerkundungsdaten: Zahlreiche Satelliten umkreisen die Erde und liefern unablässig eine ungeheure Datenfülle über die Oberfläche unseres Planeten. Neue Aufnahmesysteme lassen auf eine bessere Anwendbarkeit in der Vegetationskunde hoffen. Das 1993 erstmals bei einem Space Shuttle Flug eingesetzte MOMS02 - Erdbeobachtungssystem (MOMS: Modularer optoelektronischer multispektraler Stereoabtaster) weist zwar eine Auflösung von bis zu 4,5 m² auf, es fehlt allerdings ein für die Vegetationsdifferenzierung bedeutsamer Kanal (FRITSCH 1995). Dennoch ist der Trend zu höherer Auflösung deutlich erkennbar. Wie die Methodentests gezeigt haben, wird allerdings eine automatische Klassifikation durch eine bessere Auflösung, vermutlich durch die erhöhte spektrale Vielfalt, eher erschwert. Möglicherweise können die mathematischen Klassifikatoren an die veränderten Rahmenbedingungen angepaßt werden. Ob daran gearbeitet wird und wann Verbesserung zu erwarten sind, muß im Rahmen dieser anwendungsorientierten Arbeit unbeantwortet bleiben.
3. Bei aller Möglichkeit zur Automatisierung sind wirklichkeitsnahe Ergebnisse nur mit sehr genauen Vorgaben durch den Bearbeiter möglich. Das Erkennen von Mustern und komplexen Zusammenhängen, welche die Voraussetzung für eine Generalisierung und das Herausstellen des Wesentlichen darstellen, kann von Computerprogrammen nur in sehr bescheidenem Umfang geleistet werden. Beim Menschen hängen sie nicht nur von der individuellen Begabung, sondern auch von den jeweiligen Erfahrungen und Kenntnissen ab. Nur was man kennt, kann man auch „erkennen“. Diese persönlichen Merkmale schlagen sich in subjektiven Entscheidungen nieder, die gerade bei einem Monitoring, das sicher nicht von denselben Bearbeitern fortgeführt wird, Schwierigkeiten in der Vergleichbarkeit hervorrufen. Die vorgestellten Fernerkundungsverfahren sind insoweit objektivierbar als daß die Kartierungen von künftigen Bearbeitern auf der Basis von Luftbildern und Scannerdaten wiederholt und dadurch bearbeiterspezifische Unterschiede eliminiert werden können. Dies ist ein erheblicher Fortschritt und wird es ermöglichen, Veränderungen wesentlich gesicherter nachzuweisen als dies bisher möglich war. Eine Objektivität im wissenschaftlichen Sinne ist aber auch dadurch nicht gegeben. Nur in weiter Ferne sind diesbe-

zöglich Lösungen in Sicht. Dann etwa, wenn Programme „lernfähig“ werden und ihnen der menschliche Erfahrungshintergrund eingegeben wird, so wie dem Hochleistungsrechner „Deep Blue“, der in diesen Tagen erstmalig den Schachweltmeister Kasparow besiegt hat.

4. Die große Zurückhaltung vieler Ökologen gegenüber Fernerkundungsmethoden resultiert, wie zahlreiche Gespräche ergeben haben, aus einer gewissen Urangst, daß es in Zukunft auch Landschaftsökologie am grünen Tisch geben wird. Die Geländearbeit, welche für die meisten Vertreter unseres Berufsstandes, die Verfasserin schließt sich da nicht aus, eine Frage der Lebensqualität darstellt, würde dann überflüssig sein. Diese Sorge ist unbegründet. Die Fernerkundung kann zwar Betretungen minimieren. Eingehende Gebietskenntnisse sind aber die zwingende Voraussetzung dafür, daß ein Bearbeiter in der manuellen Kartierung wie in der automatischen Klassifikation optimale Ergebnisse erreichen kann. Folglich bleiben sie auch weiterhin ein wesentlicher Faktor für die Beurteilung ökosystemarer Zustände und Entwicklungen.

6 Literatur

- AARIO, L., 1932: Pflanzentopographische und paläogeographische Mooruntersuchungen in N-Satakunta.- Fennia 55: 1-179.
- AGNEW, A. D. Q., G. L. RAPSON, U. T. SYKES & J. B. WILSON, 1993: The functional ecology of *Empodisma minus* (Hook.f.) Johnson & Cutler in New Zealand ombrotrophic mires.- New Phytologist 124: 703-710
- ALBERTZ, J., 1991: Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern.- Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt: 153 S.
- ANDRUS, R. E., 1986: Some aspects of Sphagnum ecology.- Can. J. Bot. 64: 416-426.
- ANL (HRSG.) 1991: Ökologische Dauerbeobachtung im Naturschutz.- Laufener Seminarbeiträge 7: 86 S.
- ANSCHÜTZ, I. & F. GESSNER, 1954: Der Ionenaustausch bei Torfmoosen (*Sphagnum*).- Flora 141: 178-236.
- ARNDT, U., NOBEL, W. & B., SCHWEIZER, 1987: Bioindikatoren. Möglichkeiten, Grenzen und neue Erkenntnisse.- Ulmer, Stuttgart: 388 S.
- BACKEUS, I., 1972: Bog vegetation re-mapped after sixty years.- OIKOS 23: 384-393.
- BAJWA, R., & D. J. READ, 1985: The biology of mycorrhiza in the Ericaceae. IX. Peptides as nitrogen sources for the ericoid endophyte and for mycorrhizal and non mycorrhizal plants.- New Phytologist 101: 459-467.
- BARBER, K. E., 1981: Peat stratigraphy and climatic change.- Rotterdam: Balkema, 219 S.
- BAUMANN, A. & E. GULLY, 1910: Untersuchungen über die Humussäuren. I. Geschichte der Humussäuren.- Mitt. K. Bayr. Moorkulturanstalt 3: 52-123.
- BAUMANN, A. & E. GULLY, 1910: Untersuchungen über die Humussäuren. II. Die freien Humussäuren des Hochmoores. Ihre Natur, ihre Beziehungen zu den Sphagnen und zur Pflanzenernährung.- Mitt. K. Bayr. Moorkulturanstalt 4: 31-156.
- BAUMANN, A. & E. GULLY, 1913: Untersuchungen über die Humussäuren. III, IV.- Mitt. K. Bayr. Moorkulturanstalt 5: 1-134.
- BELLAMY, D. J. & J. RIELEY, 1967: Some ecological statistics of a miniature bog.- OIKOS 18: 33-40.
- BERTSCH, K. & F., 1938: Das Wurzacher Ried.- Veröff. Württ. Landesstelle Naturschutz 14: 59-146.

- BERTSCH, K., 1912: Studien aus der heimischen Flora.- Jh. Verein vaterl. Naturkunde Württ. 68: 3-41.
- BERTSCH, K., 1918: Pflanzengeographische Untersuchungen aus Oberschwaben.- Jh. Verein vaterl. Naturkunde Württ. 74: 69-172.
- BEZIRKSSTELLE FÜR NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSPFLEGE (BNL) TÜBINGEN, 1991: Pflege- und Entwicklungsplan Wurzacher Ried.- Tübingen: 89 S.
- BICK, H., 1982: Indikatoren und Umweltschutz.- Decheniana Beih. 26: 2-5.
- BIERHALS, E., 1988: CIR-Luftbilder für die flächendeckende Biotopkartierung.- Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 5: 77-104.
- BILL, R. & D. FRITSCH, 1991: Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Band 1 Hardware, Software und Daten.- Wichmann, Karlsruhe: 197 S.
- BILL, R., 1996: Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Band 2.- Wichmann, Heidelberg: 369 S.
- BLASY & MADER, 1994: Renaturierung Wurzacher Ried.- Abschlußbericht der Untersuchungsphase. Unveröff. Fachbericht im Auftrag des Landkreises Ravensburg
- BLOCH, D., 1969: Untersuchungen zur Vegetation und Entwicklungsgeschichte des Gründlenrieds(Lkr. Ravensburg) unter besonderer Berücksichtigung des unterirdischen entwässerungssystems.- unveröff. Diplomarbeit der Fakultät für Biologie der Universität Tübingen: 179 S.
- BOATMAN, D. J., GOODE, D. A & P. D. HULME, 1981: The Silver Flowe. III. Pattern development on long loch B and Craigeazle mires.- J. Ecol. 69: 897 - 918.
- BÖCKER, R. & M. STÖHR, 1995: Vegetations-Zeitserien im Tegeler Fließtal (Berlin).- Schr. Vegetationskunde, Sukopp-Festschrift 27: 239-248.
- BÖCKER, R., GRENIUS, R. PLATEN, R., LINDER, W. & N. SCHACHT, 1991: Monitoring für die Naturschutzgebiete von Berlin.- Natur und Landschaft 66: 436-438.
- BÖCKER, R. (Hrsg.), 1997: Erfolgskontrolle im Naturschutz am Beispiel des Moorkomplexes Wurzacher Ried.- Ulmer, Stuttgart, Agrarforschung in Baden-Württemberg 28: 336 S.
- BRAUN-BLANQUET, J., 1964: Pflanzensoziologie.- 3. Aufl., Springer, Wien, New York: 865 S.
- BREHM, K., 1970: Kationenaustausch bei Hochmoorsphagnen: Die Wirkung von an den Austausch gebundenen Kationen in Kulturversuchen.- Beitr. Biologie Pflanzen 47: 91-116.
- BREHM, K., 1971: Ein Sphagnum Bult als Beispiel einer natürlichen Ionen-Austauschersäule.- Beitr. Biologie Pflanzen 47: 287-312.
- BURGEFF, H., 1961: Mikrobiologie des Hochmoores.- Fischer, Stuttgart: 197 S.

- BURKS, G. F. & R. C. WILSON, 1939: A vegetation inventory from aerial photographs.- Photogrammetric Engineering V, 1: 30-42.
- BURROUGH, P. A., 1996: Principles of geographical informations systems for land resources assessment.- Monographs on soil and land resources survey, Oxford University Press, Oxford.
- CASPARIE, W. A., 1969: Bult- und Schlenkenbildung in Hochmoortorf.- Vegetatio XIX: 146-147.
- CLYMO, R. S. & P. M. HAYWARD, 1982: The Ecology of Spagnum, in: (Hrsg. A. J. E. SMITH) Bryophyte ecology, Chapman and Hall, London: S. 229-289.
- CLYMO, R. S., 1963: Ion exchange in Sphagnum and its relation to bog ecology.- Annals of Botany 27: 309-324.
- DAU, H. C., 1823: Neues Handbuch über den Torf, dessen Natur, Entstehung und Wiedererzeugung.- Hinrichsche Buchhandlung, J. C. Leipzig.
- DEUSCHLE, A. & P. POSCHLOD, 1994: Monitoring feiner Veränderungen in Moorkomplexen- Mikrokartierung von Vegetationsmosaik-Komplexen.- Hohenheimer Umwelttagung 26: 253-262.
- DEUTSCHES BERGBAUMUSEUM (Hrsg.), 1986: Luftaufnahmen aus geringer Flughöhe.- Bochum, Internationale Gesellschaft für Photogrammetrie u. Fernerkundung, 1-135.
- DLR, 1989: Untersuchung und Kartierung von Waldschäden mit Methoden der Fernerkundung.- Abschlußdokumentation. Mory + Meier, Garching.
- DU RIETZ, G. E., 1954: Die Mineralbodenwasserzeigergrenze als Grundlage einer natürlichen Zweigliederung der nord- und mitteleuropäischen Moore.- Vegetatio 5/6: 571-585
- EDWARDS, P. J., MAY, R. M. & N. R. WEBB, 1993: Large-scale ecology and conservation biology.- Blackwell Scientific Publications, Oxford: 375 S.
- EHMER-KÜNKELE, U., 1983: Pflanzensoziologische und ökologische Untersuchungen im Schönramer Filz (Oberbayern).- Ber. ANL 7.
- ELLENBERG, H., 1956: Grundlagen der Vegetationsgliederung. I. Teil: Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde.- Ulmer Verlag, Stuttgart: 136 S.
- ELLENBERG, H., 1982: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht.- Ulmer Verlag, Stuttgart: 989 S.
- ENDLICHER, W. & H. GOSSMANN, 1986: Fernerkundung und Raumanalyse.- Wichmann, Karlsruhe: 163 S.
- FOSTER, D. R., KING, A. G., GLASER, P. H. & H. E. WRIGHT jr., 1983: Origin of string patterns in boreal peatlands.- Nature 306: 256-258.

- FRANKL, R., 1996: Zur Vegetationsentwicklung in den Rottauer Filzen (südliche Chiemseemoore) im Zeitraum von 1957-1992.- Bayreuther Institut Terrestrische Ökosystemforschung 37: 222 S.
- FRITSCH, D., 1995: MOMS - Eine deutsche Entwicklung auf dem Weg zum permanenten weltweiten Erdbeobachtungssystem?.- Geo-Informationssysteme 8, 2: 1-2.
- FRÜH, J. & C. SCHRÖTER, 1904: Die Moore der Schweiz mit Berücksichtigung der gesamten Moorfrage.- Beitr. Geol. Schweiz, Francke, Bern: 750 S.
- GAMS, H. & S. RUOFF, 1929: Geschichte, Aufbau und Pflanzendecke des Zehlausbruches.- Schr. phys.-ökon. Ges. Königsberg 66, 1: 1-214.
- GIES, T. 1972: Vegetation und Ökologie des Schwarzen Moores (Rhön) unter besonderer Berücksichtigung des Kationengehaltes.- Diss. Bot. 20, Vaduz: 184 S.
- GILLER, K. E. & B. D., WHEELER, 1986: Past peat cutting and present vegetation patterns in an undrained fen in the Norfolk broadland.- J. Ecol. 74: 219-247.
- GLASER, P. H. & J. A. JANSSENS, 1986: Raised bogs in eastern North America: transitions in landforms and gross stratigraphy.- Can. J. Bot. 64: 395-415.
- GLASER, P. H., G. A. WHEELER, E. GORHAM & H. E. WRIGHT, 1981: The patterned mires of the red lake peatland, northern Minnesota: vegetation, water chemistry and landforms.- J. Ecol., 69: 575-599
- GOLDSMITH, B., 1991: Vegetation monitoring.- in: (Hrsg. GOLDSMITH, B.) Monitoring for conservation and ecology.- Chapman and Hall, London: 77-86.
- GÖPFERT, W., 1991: Raumbezogene Informationssysteme.- Wichmann, Karlsruhe: 318 S.
- GÖTTLICH, K. H. 1968: Moorkarte von Baden-Württemberg. Karte und Erläuterungen zum Blatt Bad Waldsee L 8124.- Landesvermessungsamt Baden-Württemberg (Hrsg), Stuttgart: 73 S.
- GRAHAM, R. & R. E. READ, 1986: Manual of aerial photography.- Butterworth, London: 346 S.
- GREEN, B. H., 1968: Factors influencing the spatial and temporal distribution of *Sphagnum imbricatum* Hornsch. ex. russ. in the British Isles.- J. Ecol. 56: 47-58.
- GREMER, D., 1991: Die Vegetationsentwicklung im Torfstichgebiet des Haidgauer Rieds (Wurzacher Ried) in Abhängigkeit von Abbauweise und Standort nach dem Abbau.- unveröff. Diplomarbeit Inst. für Landeskultur und Pflanzenökologie d. Universität Hohenheim: 124 S.
- GREMER, D. & P. POSCHLOD, 1991: Die Vegetationsentwicklung im Torfstichgebiet des Haidgauer Rieds (Wurzacher Ried) in Abhängigkeit von Abbauweise und Standort nach dem Abbau.- Verh. Ges. Ökologie 20: 315-324.

- GROSS, C.-P. & P. ADLER, 1962: Reliability of area mapping by delineation in aerial photographs.- Arch. Intern. Photogr. 14: 1-5.
- GROSS, H., 1913: Ostpreußens Moore mit besonderer Berücksichtigung ihrer Vegetation.- Schr. phys.-ökon. Ges. Königsberg 53: 183-263.
- GROSSE-BRAUCKMANN, G., 1962: Zur Moorgliederung und -ansprache.- Z. Kulturtechnik 3: 6-29.
- GRÜNIG, A., MARTI, K., WALDIS, R. (Red.), 1996: Erfolgskontrolle Moorbiotopschutz Schweiz. Teil Wirkungskontrolle.- Interner technischer Schlußbericht zum Pilotprojekt „Methodentests 1994 bis 1995“. Bern, Koordinationsstelle Moorschutz, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL): 256 S, unveröff.
- HABERÄCKER, P., 1995: Praxis der Digitalen Bildverarbeitung und Mustererkennung.- Carl Hanser, München, Wien: 350 S.
- HAKE, G., 1982: Kartographie. I. Allgemeines, Erfassung der Informationen, Netzentwürfe, Gestaltungsmerkmale, topographische Karten.- Walter de Gruyter, Berlin, New York: 342 S.
- HÄNGGI, A., 1989: Erfolgskontrollen in Naturschutzgebieten.- Natur und Landschaft 64: 143-146.
- HILDEBRANDT, G., 1986: Möglichkeiten der Biotopkartierung durch Luftbildinterpretation. In: (Hrsg. ENDLICHER, W. & H. GOSSMANN) Fernerkundung und Raumanalyse.- Wichmann, Karlsruhe: 19-41.
- HILDEBRANDT, G., 1996: Fernerkundung und Luftbildmessung: für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. Wichmann, Heidelberg.
- HUECK, K., 1928: Die Vegetation und Oberflächengestaltung der Oberharzer Hochmoore.- Beitr. z. Naturdenkmalpflege 12: 153-213.
- HUTCHINGS, M. J., 1991: Monitoring plant populations: census as an aid to conservation.- in (Hrsg. GOLDSMITH, B.) Monitoring for conservation and ecology.- Chapman and Hall, London: 61-76.
- IDRISI 1987-1995: User's guide.- Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis.
- IHSE, M., MALMER, N. & G. ALM, 1992: Remote sensing and image analysis for study of small changes of vegetation and microtopography, applied on mires in Southern Sweden.- in: (Hrsg. BRAGG, O. M. et al.) Peatland Ecosystems and Man: An Impact Assessment.- British ecological society/International peat society, Jyväskylä, Finland: 283-286.

- ILSCHNER, G., 1959: Die Pflanzengesellschaften des Wurzacher Riedes. Zur Systematik, Ökologie und Kenntnis des Vegetationsgefüges von Moorgesellschaften.- Diss. Univ. Tübingen. 207 S.
- INGRAM, H. A. P., 1981: Hydrology.- in: (Hrsg. GORE, A. J. P.) Mire, Swamps, Bog, Fen and Moor (Ecosystems of the world 4a).- Elsevier, Amsterdam: 67-158.
- INGRAM, H. A. P., 1992: Introduction to the ecohydrology of mires in the context of cultural perturbation.- in: (Hrsg. BRAGG, O. M. et al.) Peatland Ecosystems and Man: An Impact Assessment.- British ecological society/International peat society, Jyväskylä, Finland: 67-93.
- IVANOV, K. E., 1981: Water movement in mirelands.- Academic Press, London: 276 S.
- JÄHNE, B., 1989: Digitale Bildverarbeitung.-Springer, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokio: 348 S.
- JENSEN, U., 1993: Die Moore des Hochharzes.- Naturschutz Landschaftspflege Niedersachsen 15.
- JOHNSON, L. C. & A. W. H. DAMMAN, 1991: Species controlled Sphagnum decay on a south Swedish raised bog.- OIKOS 61: 234-242.
- JOHNSON, L. C., DAMMAN, A. W. H. & N. MALMER, 1990: Sphagnum macrostructure as an indicator of decay and compaction in peat cores from an ombrotrophic south swedish peat-bog.- J. Ecol., 78: 633-647.
- KÄSTNER, M. & W. FLÖSSNER, 1933: Die Pflanzengesellschaften des westsächsischen Berg- und Hügellandes. II. Teil: Die Pflanzengesellschaften der erzgebirgischen Moore- Veröff. Landesverein Sächs. Heimatschutz.
- KATZ, N. J., 1930: Zur Kenntnis der Moore Nordosteuropas.- Beih. Bot. Centralblatt 46: 297-294.
- KATZ, N. J., 1931: Zur Kenntnis der oligotrophen Moortypen des europäischen Rußlands.- Beih. Bot. Centralblatt 47 : 177-210.
- KAULE, G., 1973: Typen und floristische Gliederung der voralpinen und alpinen Hochmoore Süddeutschlands.- Veröff. Geobot. Inst. Stift. Rübel 51: 127-143.
- KAULE, G., 1974: Die Übergangs- und Hochmoore Süddeutschland und der Vogesen.- J. Cramer, Braunschweig, Diss. Bot., 27: 348 S.
- KELLERMANN, S., 1991: Standortkundliche Charakterisierung der Vegetation entlang eines Transekts im östlichen Bereich des Wurzacher Rieds.- unveröff. Diplomarbeit am Institut für Landeskultur und Pflanzenökologie, Universität Hohenheim: 104 S.
- KIENAST, F., WILDI, O. & M. HUNZIKER, 1992: Das Moorlandschaftsinventar der Schweiz - eine statistische Analyse der Bewertungsmethodik.- Natur und Landschaft 67: 271-275.

- KOHLER, A., POSCHLOD, P., SCHUCKERT, U., GREMER, D., DEUSCHLE, A., RAHMANN, H., JANSEN, W., FOK, P., KOCH, M. & J. THAM, 1994: Wissenschaftliche Begleituntersuchung der Wiedervernässungsmaßnahmen innerhalb des Renaturierungsprojekts Wurzacher Ried.- unveröff. Abschlußbericht im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg, Universität Hohenheim: 339 S.
- KORTE, F., 1987: Lehrbuch der Ökologischen Chemie. Grundlagen und Konzepte für die ökologische Beurteilung von Chemikalien.- Thieme, Stuttgart, New York: 353 S.
- KÖSTLER, E., BUCHWALD, R. & P. POSCHLOD, 1991: Bibliographie: geobotanische Dauerbeobachtung.- ANL Laufener Seminarbeiträge 7: 73-86.
- KRAUSE, W., 1955: Pflanzensoziologische Luftbildauswertung. in: Tüxen, R. (ed.): Angewandte Pflanzensoziologie. Arbeiten aus der Zentralstelle für Vegetationskartierung 10: 57 S.
- KRISAI, R., 1973: Seit wann wächst die Bergkiefer (*Pinus mugo*) auf den Hochmooren im Alpenraum.- Veröff. Geobot. Inst. Stift. Rübel 51: 154-157.
- KÜBLER, K. & U. AMMER, 1992: Der Einsatz von Fernerkundungsverfahren zur automatisierten Klassifizierung von Biotoptypen.- Natur und Landschaft 67: 50-55.
- KÜBLER, K., COENRADIE, B. & P. REINARTZ, 1991: Auswertung von Fernerkundungsdaten zur Erkennung von Biotoptypen in Feuchtgebieten.- unveröff. Manuskript der DLR Oberpfaffenhofen und des Lehrstuhles für Landnutzungsplanung und Naturschutz der LMU München: 7 S.
- KÜCHLER, A. W. & I. S. ZONNEVELD, 1988: Vegetation mapping.- Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 426 S.
- KUHN, G., 1998: Erprobung von Fernerkundungsverfahren für ein vegetationsökologisches Monitoring am Beispiel des Wurzacher Riedes.- Diss. TU München/Weihenstephan in Vorbereitung.
- LIKENS, G. E. (Hrsg.), 1987: Long-term studies in ecology.- Springer, New York: 214 S.
- LILLESAND, T. M. & R. H. KIEFER, 1979: Remote sensing and image interpretation.- John Wiley, New York: 576 S.
- LINDSAY, R. & S. ROSS, 1994: Monitoring of ecological change in wetlands in middle europe.- Bot. Arbeitsgem. Oberösterreich. Landesmuseum: 69-92.
- LORIS, K. & GREMER, D., 1991: Ökophysiologische Messungen zur Ökologie der hochmoortypischen Moose *Sphagnum magellanicum*, *Sphagnum capillifolium* und *Polytrichum strictum* im Haidgauer Ried (Wurzacher Ried).- unveröff. Ergebnisse eines Praktikums, Inst. f. Botanik, Univers. Hohenheim.

- LÜDI, W., 1930: Die Methoden der Sukzessionsforschung in der Pflanzensoziologie.- in: (Hrsg. ABERHALDEN, E.) Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden.- Abt. XI, Teil 5, H. 3: 527-728.
- LÜTH, M., 1989a: Die Pflanzengesellschaften des Wurzacher Riedes.- unveröff. Gutachten im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg, Tübingen:90 S.
- LÜTH, M., 1989b: Vorkommen und Verbreitung der Pflanzen im Wurzacher Ried.- unveröff. Gutachten im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg, Tübingen: 40 S.
- LUTZ, J. L., 1951: Die Umgestaltung der Loisach-Kochelsee-Moore durch den Menschen, im Luftbild gesehen.- Jb. Ver. Schutz Alpenpfl. Tiere 16: 75 -84.
- LUTZ, J. L., 1956: Spirkenmoore in Bayern.- Ber. Bayer. Bot. Ges. 31: 58-69.
- MAXIN, J., 1991: Untersuchung zum Anwendungspotential der analytischen Photogrammetrie für die Dauerbeobachtung in Luftbildern.- Diss. Univ. Freiburg 1991
- METSAVAINO, K. 1931: Untersuchungen über das Wurzelsystem der Moorpflanzen.- Ann. Bot. Soc. Zool.-Bot. Fenn. Van. 1 (1): 417 S.
- MICHELS, C., ALBERS, H.-J. & P. SCHÜTZ, 1996: Effizienzkontrolle von Maßnahmen zur Hochmoorrenaturierung.- LÖBF-Mitt. 4/96: 26-33.
- MOORE, P. D. & D. J. BELLAMY, 1974: Peatlands.- Paul Elek, London: 214 S.
- MOORE, P. D., 1984: European mires.- Academic press, London: 365 S.
- MUHLE, H. & P. POSCHLOD, 1989: Konzept eines Dauerbeobachtungsflächenprogramms für Kryptogamengesellschaften.- Ber. ANL 13: 59-76.
- MÜLLER, K. 1973: Ökologische und vegetationsgeschichtliche Untersuchungen an Niedermoorpflanzen-Standorten des ombrotrophen Moores unter gesonderer Berücksichtigung seiner Kolke und Seen in NW-Deutschland.- Beitr. Biol. Pflanzen, 49: 147-235.
- NATURE CONSERVANCY COUNCIL, 1988: The Flow Country. The peatlands of Caithness and Sutherland.- Northminster House, Peterborough: 174 S.
- NEUHÄUSL, R., 1972: Subkontinentale Hochmoore und ihre Vegetation.- Prag, Academia: 119 S.
- NICK, K. J., 1986: Aussichten der Entwicklung von wiedervernäßten Torfabbauf Flächen.- Natur und Landschaft 61: 48-50.
- NÜSSER, M. & U. SCHICKHOFF, 1996: Traditionelle Methoden der Vegetationsgeographie im Wandel: Potentiale und Limitierungen der digitalen Verarbeitung vegetationsbezogener Datensätze.- Die Erde, 127: 93-112.

- OBERDORFER, E., 1977: Süddeutsche Pflanzengesellschaften. Teil 1: Fels- und Mauergesellschaften, alpine Fluren, Wasser-, Verlandungs- und Moorgesellschaften.- 2. Aufl., Fischer, Jena: 311 S..
- OSVALD, H., 1923: Die Vegetation des Hochmoores Komosse.- Almqvist & Wiksells Boktryckeri-A.-B, Uppsala, Svenska Växtsociologiska Sällskapets Handlingar I: 420 S.
- OSVALD, H., 1925: Die Hochmoortypen Europas.- Veröff. Geobot. Inst. Stift. Rübél 3: 707-723.
- OSVALD, H., 1950: The raised bog Komosse. 7.Int.Bot.Congr. Stockholm, Excursion guides. Section PHG. A II b 2 (First part). Uppsala: 707-720.
- OVERBECK, F. & H. HAPPACH, 1956: Über das Wachstum und den Wasserhaushalt einiger Hochmoorsphagnen.- Flora 144: 335-402.
- OVERBECK, F., 1950: Die Moore.- Das Känozoikum in Niedersachsen, 4. Abt., Veröff. Niedersächs. Amt Landesplanung Statistik, A1 Bd.3 4.Abt.
- OVERBECK, F., 1975: Botanisch-geologische Moorkunde.- Wachholtz, Neumünster: 719 S.
- PAUL, H. & S. RUOFF, 1927: Pollenstatistische und stratigraphische Mooruntersuchungen im südlichen Bayern. I. Teil.- Ber. Bayer. Bot. Ges. 19: 84 S.
- PAUL, H. & S. RUOFF, 1932: Pollenstatistische und stratigraphische Mooruntersuchungen im südlichen Bayern. II. Teil.- Ber. Bayer. Bot. Ges. 20: 264 S.
- PAUL, H., 1908: Die Kalkfeindlichkeit der Sphagna und ihre Ursache, nebst einem Anhang über die Aufnahmefähigkeit der Torfmoose für Wasser.- Mitt. K. Bayr. Moorkulturanstalt 2: 63-118
- PFADENHAUER, J. & KINBERGER, M., 1985: Torfabbau und Vegetationsentwicklung im Kulbinger Filz (Region Südostbayern).- Ber. ANL 9: 37-44.
- PFADENHAUER, J., KRÜGER, G.-M. & E. MUHR, 1990: Ökologisches Entwicklungskonzept Wurzacher Ried.- unveröff. Gutachten im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg, TU München/Weihenstephan: 304 S.
- PFADENHAUER, J., POSCHLOD, P. & R. BUCHWALD, 1986: Überlegungen zu einem Konzept geobotanischer Dauerbeobachtungsflächen für Bayern. Teil 1, Methodik der Anlage und Aufnahme. Ber. ANL 10: 41-60.
- PLACHTER, H., 1991: Biologische Dauerbeobachtung in Naturschutz und Landschaftspflege.- Laufener Seminarbeiträge 7: 7-29.
- PODBIELOWSKI, Z., 1960: Zarastanie Dolow Potorfowych - The developement of vegetation in peat pits.- Mon. Bot. 10, 1: 1-142 (polnisch, deutsche Zusammenfassung).

- POSCHLOD, P., 1988: Vegetationsentwicklung ehemaliger Torfabbauggebiete in Hochmooren des bayrischen Alpenvorlandes.- *Tuexenia* 8: 31-53.
- POSCHLOD, P., 1990: Vegetationsentwicklung in abgetorften Hochmooren des bayerischen Alpenvorlandes unter besonderer Berücksichtigung standortkundlicher und populationsbiologischer Faktoren.- *Bornträger*, Stuttgart, Diss. Bot. 152: 331S..
- PRESS, M. C., WOODIN, S. J. & J. A. LEE, 1986: The potential importance of an increased atmospheric nitrogen supply to the growth of ombrotrophic sphagnum species.- *New Phytologist* 103, 45-55.
- PUUSTJÄRVI, V., 1955-56: On the cation exchange capacity of peats and on the factors of influence upon its formation.- *Acta Agriculture Scandinavica* 6: 410-449.
- RAFSTEDT, T. & L. ANDERSSON, 1982: Flygbildstolkning av myrvegetation.- *Naturvardsverket report*: 1-97.
- RATCLIFFE, D. A. & D. WALKER, 1958: The silver flows, Galloway, Scotland.- *J. Ecol.* 46: 407-445.
- REID, E., MORTIMER, G. N., LINDSAY, R. A. & B. A. THOMPSON, 1993: Blanket bogs in Great Britain: an assessment of large-scale pattern and distribution using remote sensing and GIS.- in (Hrsg. EDWARDS, P. J., MAY, R. M. & N. R. WEBB) *Large-scale ecology and conservation biology*.- Blackwell Scientific Publications, Oxford: 375 S.
- ROWELL, T. A., 1988: *The peatland management handbook*.- Natur Conservancy Council, Peterborough.
- RUDOLPH, H. & VOIGT, J. U., 1986: Effects of $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ on growth and metabolism of *Sphagnum magellanicum*.- *Physiol. Plant.* 66: 339-343.
- RYDIN, H. & R. S. CLYMO, 1989: Transport of carbon and phosphorus compounds about *Sphagnum*.- *Proc. R. Soc. Lond.* 37: 63-84.
- RYDIN, H., 1985: Effect of water level on desiccation of *Sphagnum* in relation to surrounding *Sphagna*.- *OIKOS* 45: 374-379.
- SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL, 1989: *Lehrbuch der Bodenkunde*.- 12. Aufl., Enke, Stuttgart: 442 S.
- SCHELLING, K., 1995: GIS-gestützte Auswertung von Fernerkundungsdaten zur Bestimmung von Moorzustand und -nutzung am Beispiel Goldenstedter Moor.- *Dtsche. Ges. Photogrammetrie Fernerkundung (DGPF)*, Göttingen: 76-81.

- SCHERFOSE, V., BÜRGER, K., KLÄR, C., NICLAS, G., SAUERBORN, J., STEER, U. & Z. ZVOLSKY, 1994: Naturschutzgroßprojekte des Bundes.- *Natur und Landschaft* 69 (7/8): 291-299
- SCHMIDT, W., 1974: Bericht über die Arbeitsgruppe für Sukzessionsforschung auf Dauerflächen der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde.- *Vegetatio* 29: 69-73.
- SCHMIEDER, K., 1997: Littoral zone - GIS of Lake Constance: A useful tool in lake monitoring and autecological studies with submersed macrophytes.- *Aqu. Bot.* im Druck.
- SCHNEIDER, S., 1974: *Luftbild und Luftbildinterpretation*.- Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- SCHNEIDER, S., 1984: *Angewandte Fernerkundung. Methoden und Beispiele*.- Vincentz, Hannover.
- SCHNEIDER, W., P. HEISELMAYER & H. PLANK, 1982: Rechnerunterstützte objektivierte Vegetationskartierung aus Farb-Infrarot-Luftbildern, dargestellt am Beispiel der Umgebung des Glocknerhauses.- MAB Kartenband "Hohe Tauern", Veröff. Öster. MAB-Programm, Band 7: 61-78.
- SCHÖNWIESE, C., 1995: *Klimaänderungen. Daten, Analysen, Prognosen*.- Springer, Berlin: 224 S.
- SCHOUVENAARS, J. M., 1988: The impact of water management upon groundwater fluctuations in a disturbed bog relict.- *Agricultural Water Management* 14: 439-449.
- SCHOUVENAARS, J., 1992: Hydrological characteristics of bog relicts in the engbertsdijkswenen after peat-cutting and rewetting.- in: (Hrsg. BRAGG, O. M. et al.) *Peatland Ecosystems and Man: An Impact Assessment*.- British ecological society/International peat society, Department of biological sciences, University of Dundee in association with: International Peat Society, Jyväskylä, Finland: 125-132.
- SCHUBERT, R., 1991: *Bioindikation in terrestrischen Ökosystemen*. Fischer, Stuttgart: 338 S.
- SCHUCKERT, U., POSCHLOD, P. & J. PFADENHAUER, 1992: Torfstich im Niedermoor - ein Beitrag zum Arten- und Biotopschutz?.- *TELMA* 22: 253-265.
- SCHWINEKÖPER, K., SCHÜLE, E. & W., KONOLD, 1990: *Nutzungsgeschichte des Wurzacher Rieds*.- unveröff. Gutachten im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg, Univ. Hohenheim.
- SCHWINEKÖPER, K., 1997: *Historische Landschaftsanalyse in der Landschaftsökologie*.- Ber. Inst. Landschafts- Pflanzenökologie Univ. Hohenheim, Beih. 2: 285 S, 41 S. Anhang.
- SCHWINEKÖPER, K., E.-M. SCHÜLE & W. KONOLD; 1991: *Die Nutzungsgeschichte des Wurzacher Rieds*.- *Verh. Ges. Ökologie* 20: 291-300.

- SPELLERBERG, I., F., 1991: Monitoring ecological change.- Cambridge University Press, Cambridge: 334 S.
- STEBING, L. & O. SCHWANTES, 1981: Ökologische Botanik.- Quelle und Meyer, Heidelberg, UTB 888: 408 S.
- STOVE, G. C. & R. A. ROBERTSON, 1980: Entwicklung von photogrammetrischen und Fernerkundungs-Verfahren zur Vermessung von Mooren und der Landnutzung in Schottland.- TELMA 10: 67-81.
- SUCCOW, M. & L. JESCHKE, 1990: Moore in der Landschaft.- Deutsch, Thun, Frankfurt/Main: 268 S.
- SUCCOW, M., 1988: Landschaftsökologische Moorkunde.- Borntraeger, Berlin-Stuttgart: 340 S.
- SUKOPP, H., SEIDEL, K. & R. BÖCKER, 1986: Bausteine zu einem Monitoring für den Naturschutz.- Ber. ANL 10: 27-39.
- THAM, J. & U. SCHUCKERT, 1997: Sukzessionsstadien in Torfstichen und ihre Bedeutung für den Naturschutz am Beispiel Wurzacher Ried.- Hohenheimer Umwelttagung 28, im Druck.
- TROLL, C., 1939: Luftbildplan und ökologische Bodenforschung.- Z. Ges. Erdk. Berlin 7/8: 16-298.
- TWENHÖVEN, F. L., 1992: Untersuchung zur Wirkung stickstoffhaltiger Niederschläge auf die Vegetation von Hochmooren.- Mitt. Arb. Geobotanik Schleswig-Holstein Hamburg 44: 171 S.
- ULRICH, K., 1996: Grundlage für ein luftbildgestütztes Monitoring der Hochmoorschlenken im Wurzacher Ried.- unveröff. Diplomarbeit am Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie der Univ. Hohenheim: 117 S.
- USHER, M. B., 1991: Scientific requirements of a monitoring programme.- in: (Hrsg. GOLDSMITH, B.) Monitoring for conservation and ecology.- Chapman and Hall, London: 15-32.
- VAN EIMERN, J. & H. HÄCKEL, 1979: Wetter- und Klimakunde.- Ulmer, Stuttgart: 269 S.
- VDI (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE), 1990: Interpretationsschlüssel für die Auswertung von CIR-Luftbildern zur Kronenzustandserfassung von Nadel- und Laubgehölzen - Fichte, Buche und Eiche. VDI-Richtlinien 3793, Blatt 2.
- VERRY, E., 1981: Hydrologie nicht entwässerter Moore in den Lake States, U.S.A. - TELMA 11: 65-83.
- VITT, D. S., CRUM, H. & J. A. SNIDER, 1975: The vertical zonation of Sphagnum species in hummock-hollow complexes in northern Michigan.- Mich. Bot. 14: 190-200.

- VORETZSCH, A., HERMS, P. & G. HARTMANN, 1986: Standardisierung von CIR-Luftbildern - Gegenwärtiger Stand der Möglichkeiten.- Forst-Holzwirt 16: 420-426
- WAGNER, C., 1994: Zur Ökologie der Moorbirke *Betula pubescens* EHRH. in Hochmooren Schleswig-Holsteins unter besonderer Berücksichtigung von Regenerationsprozessen in Torfstichen.- Mitt. Arbeitsgem. Geobotanik Schleswig-Holstein Hamburg 47: 183 S.
- WALKER, D. & P. M. WALKER, 1961: Stratigraphic evidence of regeneration in some Irish bogs.- J. Ecol. 49: 169-185.
- WALTER, H. & H. LIETH, 1964-1967: Klimadiagramm - Weltatlas.- Fischer, Jena.
- WALTER, H., 1986: Allgemeine Geobotanik.- Ulmer, Stuttgart: 279 S.
- WEAVER, R. E., 1987: Spectral separating of moorland vegetation in airborne Thematic Mapper data.- Int. J. Remote Sensing 8: 43-55.
- WEY, H., HAMMER, D., HANDWERK, J. & A., SCHOPP-GUTH, 1994: Möglichkeiten der Effizienzkontrolle von Naturschutzgroßprojekten des Bundes.- Natur und Landschaft 69: 301-307
- WIENEKE, F., 1987: Der Einfluß der räumlichen Dimension der Daten auf die Einsatzmöglichkeit photographischer Fernerkundung für landschaftsökologische Untersuchungen.- Geomethodica 12: 57-90.
- WOLFF-STRAUB, R., VERBÜCHELN, G., GENSSLER, L. & H. KÖNIG, 1996: Biomonitoring.- LÖBF-Mitt. 4/96: 12-18.
- ZOBEL, M., 1988: Autogenic succession in boreal mires - a review.- Folia Geobot. Phytotax. 23: 417-445.
- ZOLLER, H. & P. SELLDORF, 1989: Untersuchungen zur kurzfristigen Sukzession von Torf- und Braunmoosgesellschaften in einem Übergangsmoor aus den Schweizer Alpen.- Flora 128: 127-151.

Aus unserem Verlagsprogramm:

**Schriftenreihe Agrarwissenschaftliche
Forschungsergebnisse**

Christine Volm

Aquatrische Modellsysteme

*Vergleich von aquatischen Modellsystemen unterschiedlicher
Größe und Ausstattung mit einem durch landwirtschaftliche Nutzung
beeinflussten Stehgewässer*

Hamburg 1997 / 210 Seiten / ISBN 3-86064-640-0

Richard Gertken

**Analyse sektoraler und regionaler Entwicklungen der
Schweineproduktion in Nordrhein-Westfalen**

Bestimmungsfaktoren, Strukturen und Tendenzen

Hamburg 1996 / 216 Seiten / ISBN 3-86064-448-3

Nicol Stockfisch

**Strohabbau durch Mikroorganismen und Regenwürmer
in zwei Bodenbearbeitungssystemen**

Hamburg 1996 / 185 Seiten / ISBN 3-86064-613-3

Jörgen Ringenberg

**Analyse urbaner Gehölzbestände am Beispiel der Hamburger
Wohnbebauung**

Hamburg 1994 / 216 Seiten / ISBN 3-86064-219-7

Werner Skirde (Hrsg.)

**Ergebnisse Landschaftsbaulicher Forschung an der Justus-Liebig-
Universität Gießen**

Hamburg 1993 / 210 Seiten / ISBN 3-86064-032-1

