

**Möglichkeiten der Abgrenzung intensiver und extensiver Landnutzung  
mittels multitemporaler ERS-Radaraufnahmen  
in einem mitteleuropäischen Testgebiet**

**D i s s e r t a t i o n**

zur Erlangung des akademischen Grades doctor rerum naturalium  
(Dr. rer. nat.)

vorgelegt dem Rat der Chemisch-Geowissenschaftlichen Fakultät der  
Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Dipl. Geogr. Bernd Schieche  
geboren am 12. März 1964 in Göttingen

Jena 2003

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit zur Auswertung von ERS-Radardaten wurde im Rahmen des zweiten Announcement of Opportunity (ERS-AO2) mit dem Projekttitel „Monitoring of intensive and extensive land use with multitemporal ERS and LANDSAT/TM datasets in the district of Goettingen (Lower Saxony)“ der ESA angefertigt.

Das finanziell vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) geförderte Projekt begann im April 1995 am Geographischen Institut der Universität Göttingen, Abt. Kartographie & Fernerkundung unter Leitung des inzwischen pensionierten Herrn Prof. Dr. J. Spönemann. Zu diesem Zeitpunkt war der Verfasser der vorliegenden Arbeit dort als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig.

Notwendige Erfahrungen im Umgang mit Radaraufnahmen konnten bereits als Mitarbeiter im Rahmen der 1994-er SIR-C/X-SAR-Mission am Institut für Hochfrequenztechnik der DLR in Oberpfaffenhofen unter der Leitung von Herrn Dr. J. Nithack und Frau Dr. C. C. Schmullius gesammelt werden.

Nach Rückkehr ans Institut Ende 1994 erfolgte hierauf aufbauend die Gründung einer Arbeitsgruppe „Radarfernerkundung“, mit der auch ab 1996 einige Veröffentlichungen zu dem Themengebiet der Radarfernerkundung herausgebracht werden konnten.

Das Team zur Erfassung sämtlicher Felddaten innerhalb des Projektes bestand während der zahlreichen ERS-Überflüge 1995 und 1996 zusätzlich aus fünf Diplomanden: P. Hurlemann – Klassifikationen, H. Schepp – Bodenfeuchte & Hangneigung, I. Janßen – GIS & DGM, M. Klingsöhr – J-ERS und S. Erasmi – Frühabschätzung. Außerdem wurden die Gelände- und Laborarbeiten von zwei wissenschaftlichen Hilfskräften (N. Etzrodt & H. Hoffmann) unterstützt.

Darüber hinaus wurde die Arbeitsgruppe zu den ERS-Befliegungsterminen durch das Personal des landwirtschaftlichen Versuchsgutes der Universität (Reinshof) sowie durch Mitarbeiter (M. Wildenhayn) des Studienzentrums für Landwirtschaft und Umwelt, Göttingen für die Aufnahme weiterer pflanzen- und bodenspezifischen Parameter ergänzt.

Der Schwerpunkt des Projektes lag sowohl auf der vollständigen Kartierung unterschiedlicher Nutzungen als auch auf der Erfassung detaillierter Pflanzen- und Bodenparameter. Die Forschungsarbeiten beschäftigten sich dementsprechend mit einer regionalen, ganzheitlichen Klassifikation der landwirtschaftlichen Nutzung. Darüber hinaus wurden in Bezug zu den zentralen Fragestellungen vor allem Untersuchungen hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen dem Radarrückstreukoeffizienten zu verschiedenen Aufnahmezeitpunkten während und außerhalb der Vegetationsperiode und zu verschiedenen Boden- und Pflanzenparametern durchgeführt.

Zusammen mit Herrn S. Erasmi und Herrn Prof. Dr. J. Spönemann wurde auch der DLR-Abschlußbericht angefertigt. Allen Personen, die am Projekt beteiligt waren, gilt mein Dank für die Zusammenarbeit und die fachliche Unterstützung.

Mein besonderer Dank gilt jedoch Frau Prof. Dr. C. C. Schmullius der Abteilung Fernerkundung des Institutes für Geographie der Friedrich-Schiller-Universität zu Jena, die Mitte 2001 überaus freundlich die weitere Betreuung und den Abschluß der Arbeit übernahm. Darüber hinaus danke ich Herrn Dr. habil. V. Hochschild von der Abteilung Hydrologie in Jena, der mich freundschaftlich beriet und dazu motivieren konnte, die Arbeit zusätzlich zur beruflichen Belastung zu einem guten Ende zu führen.

Ebenfalls gilt mein Dank meinen Mitstreitern bei der Fa. GEG, besonders Herrn I. Janßen, der mir neben wertvollen Diskussionen den zeitlichen Freiraum verschaffte, die Arbeit abzuschließen.

Letztlich gilt mein Dank meinen Eltern, meinen Schwiegereltern und ganz besonders meiner Frau, die mich unnachgiebig zur Fertigstellung bewegen konnten.

## Inhalt:

I.	VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN .....	III
II.	VERZEICHNIS DER TABELLEN .....	VI
III.	VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN .....	IX
<b>1.</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
1.1	Aufgabenstellung .....	2
1.2	Ausgangssituation .....	3
<b>2</b>	<b>UNTERSUCHUNGSGEBIETE .....</b>	<b>5</b>
2.1	Untersuchungsgebiet Landkreis Göttingen .....	5
2.2	Testgebiet Reinshof .....	6
<b>3</b>	<b>DATENGRUNDLAGEN.....</b>	<b>8</b>
3.1	Felderhebungen.....	8
3.1.1	Agronomische Daten .....	11
3.1.2	Meteorologische Daten .....	12
3.2	Digitales Bildmaterial .....	14
3.2.1	Satellitendaten.....	14
3.2.2	Ergänzungsdaten.....	17
<b>4</b>	<b>SYSTEMPARAMETER ALS FAKTOREN DER RADARRÜCKSTREUUNG ....</b>	<b>18</b>
4.1	Einfallswinkel .....	18
4.2	Frequenz und Wellenlänge .....	20
4.3	Polarisation .....	21
<b>5</b>	<b>METHODEN DER AUFBEREITUNG DES SATELLITENBILDMATERIALS.....</b>	<b>22</b>
5.1	Geo-Kodierung / Ko-Registrierung .....	22
5.2	Ermittlung des Rückstreuoeffizienten $\sigma^0$ .....	23
5.3	Radiometrische Reliefkorrektur.....	25
5.4	Speckle-spezifische Filterung der Satellitenbilder .....	27
5.5	Datenreduktion .....	29
5.5.1	Synthetische Bildkanäle.....	29
5.5.2	Skalierung .....	29
<b>6</b>	<b>FAKTOREN UND PROZESSE DER RADARRÜCKSTREUUNG VON LANDWIRTSCHAFTLICH GENUTZTEN OBERFLÄCHEN .....</b>	<b>31</b>
6.1	Dielektrizitätskonstante .....	31
6.2	Volumenstreuung.....	32
6.3	Temporäre Faktoren.....	34
6.3.1	Bodentemperatur.....	35
6.3.2	Niederschläge .....	36
6.3.3	Bodenfeuchte .....	36

6.4	Saisonale Faktoren.....	38
6.4.1	Bodenrauigkeit.....	38
6.4.2	Reihenrichtung.....	40
6.4.3	Pflanzendecke.....	42
<b>7</b>	<b>MULTIPLE KORRELATIONSANALYSE ZWISCHEN RÜCKSTREUKOEFFIZIENTEN <math>\sigma^0</math> UND VERSCHIEDENEN PFLANZEN- UND BODENPARAMETERN.....</b>	<b>46</b>
7.1	Analyse intensiv genutzter Flächen inkl. Rotationsbrachen.....	47
7.2	Ergebnis der Regressionsanalyse intensiv genutzter Flächen inkl. Rotationsbrachen.....	51
7.3	Statistische Analyse extensiv genutzter Flächen.....	52
7.4	Ergebnisse und Diskussion der statistischen Analysen extensiv genutzter Flächen.....	59
<b>8</b>	<b>VISUELLE INTERPRETATION DER RADARDATEN.....</b>	<b>61</b>
8.1	Landkreis Göttingen.....	61
8.2	Testgebiet Reinshof.....	62
<b>9</b>	<b>ANALYSE DES SATELLITENBILDMATERIALS.....</b>	<b>64</b>
9.1	Temporalsignaturen des Rückstreuoeffizienten $\sigma^0$ .....	64
9.1.1	Methodik.....	64
9.1.2	Vergleich der Temporalsignaturen für extensive und intensive Formen landwirtschaftlicher Nutzung.....	65
9.1.2.1	Abgrenzung extensiver und intensiver Landnutzung.....	65
9.1.2.2	Temporalsignaturen von Winterraps.....	67
9.1.2.3	Temporalsignaturen von Winterweizen und -gerste.....	67
9.1.2.4	Temporalsignaturen von Zuckerrüben und Mais.....	69
9.1.2.5	Temporalsignaturen von Sommergetreide.....	71
9.1.2.6	Temporalsignaturen von Grünland.....	72
9.1.2.7	Temporalsignaturen von Stilllegungen.....	74
9.1.3	Frühabschätzung landwirtschaftlicher Nutzung.....	76
9.1.4	Mehrfähriger Vergleich der Temporalsignaturen.....	79
9.1.5	Ergebnisse der Auswertung der Temporalsignaturen.....	81
9.2	Klassifikation der Satellitenbilder.....	84
9.2.1	Klassifikationsablauf.....	84
9.2.2	Einschränkungen der Klassifikationsbereiche.....	86
9.2.2.1	Überlagerungs- und Schattenbereiche.....	86
9.2.2.2	Nicht-agrarische Flächen.....	87
9.2.2.3	Abgrenzungsergebnisse.....	90
9.2.3	Klassifikationsansätze.....	90
9.2.3.1	Monotemporaler Ansatz.....	91
9.2.3.2	Multitemporaler Ansatz.....	92
9.2.3.3	Frühabschätzung landwirtschaftlicher Nutzung:.....	95
9.2.3.4	Mehrfähriger Klassifikationsansatz.....	100

9.2.4	Klassifikation für den Landkreis Göttingen .....	101
9.2.4.1	Validierung anhand der Kontrollgebiete .....	102
9.2.4.2	Validierung anhand der amtlichen Statistik .....	103
9.2.4.3	Ergebnisse und Diskussion der Klassifikationsansätze .....	104
<b>10</b>	<b>DISKUSSION DER ERGEBNISSE AUS DER AUFBEREITUNG UND AUSWERTUNG DES SATELLITENBILDMATERIALS .....</b>	<b>107</b>
10.1	Bewertung des Informationsgehaltes der ERS-SAR-Daten für die Abgrenzung extensiver und intensiver landwirtschaftlicher Nutzung .....	107
<b>11</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....</b>	<b>111</b>
11.1	Zusammenfassung .....	111
11.2	Ausblick .....	112
<b>12</b>	<b>QUELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>116</b>
12.1	Literatur .....	116
12.2	Karten .....	129
12.3	Internetressourcen .....	130
<b>13</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>131</b>
13.1	Anhang A – Geländefotos und Abbildungen .....	131
13.2	Anhang B – Tabellen .....	151

## ABBILDUNGEN:

Abb. 2-1:	Landkreis Göttingen (Maßstab ca. 1:400.000).	5
Abb. 2-2:	Lage des Testgebietes Reinshof (Maßstab ca. 1:70.000).	7
Abb. 3-1:	Landkreis Göttingen mit Lage der Testgebiete.	8
Abb. 3-2:	Landnutzungskartierung für das Testgebiet Reinshof, oben: 1994/95; unten: 1995/96.	9
Abb. 3-3:	Dreistufige Felderhebungen im Testgebiet Reinshof.	11
Abb. 3-4:	NOAA-AVHRR 01.06.95 (links) und NOAA-AVHRR 07.03.96 (rechts), Quelle: DFD/DLR.	13
Abb. 3-5:	Skizze zur Lage des Testgebietes Reinshof in verschiedenen Bildrahmen.	14
Abb. 3-6:	ERS-1-Farbkomposite (Roter Kanal=01.06.95; grüner Kanal=27.04.95; blauer Kanal=06.07.95) bei absteigender ERS-Umlaufbahn des Landkreises Göttingen.	16
Abb. 3-7:	ERS-1-Farbkomposite (Roter Kanal=02.04.95; grüner Kanal=16.07.95; blauer Kanal=07.05.95) bei aufsteigender ERS-Umlaufbahn des Landkreises Göttingen.	16
Abb. 3-8:	Landsat/TM-Farbkomposite (Echtfarbdarstellung; Kanal 3/2/1) des Landkreises.	17
Abb. 4-1:	Systemparameter als Einflussfaktoren der Radarrückstreuung (erstellt nach HENDERSON et al. 1998).	18
Abb. 4-2:	ERS Bahnparameter bei SAR Image Mode (aus: ESA 1993:23).	19
Abb. 4-3:	Einfallswinkel der ERS-Radarwellen und Grauwertkodierung der „Range“-Bereiche im GIM.	19
Abb. 4-4:	Beispiele linearer Gleich- und Kreuz-Polarisation (aus: ENDLICHER 1982).	21
Abb. 5-1:	Auswirkungen der Exposition und Hangneigung am Beispiel der Verlaufssignaturen von Rapsschlägen bei absteigender Satellitenbahn.	25
Abb. 5-2:	Geometrische Konstellation von SAR-Sensor und Reflexionsoberfläche (verändert nach HOFFMANN 1998: 16).	26
Abb. 5-3:	Scattergramm für zweistufige Filterung (5*5-Gamma-MAP; 5*5-Mean).	28
Abb. 5-4:	ERS-1-Bildausschnitt (Testgebiet Reinshof, 16.05.1996), ungefiltert (links) und nach Anwendung des zweistufigen Filterverfahrens (rechts).	28
Abb. 5-5:	Skalierte und nicht-skalierte Grauwerte entlang einer Profillinie	30
Abb 6-1:	Brechung einer Welle ( $V$ ) an der Grenze zweier Medien mit unterschiedlichen Dichte ( $\theta$ =Einfallswinkel, $\theta_a$ =Ausfallswinkel, $\theta_i$ =Brechungswinkel der eindringenden Welle ( $V_i$ ), (WEIMANN, 1996:19).	31
Abb. 6-2:	Zeitliche Faktoren der objektspezifischen Beeinflussung des Rückstreukoeffizienten $\sigma^0$	34
Abb. 6-3:	Abhängigkeit des Rückstreukoeffizienten $\sigma^0$ von der Bodentemperatur.	35
Abb. 6-4:	Schneebedeckung zum Überflugtermin (ww-053.2, 01.02.96), Foto: ERASMI 1996).	36
Abb. 6-5:	RB-053.1, 19.10.95 (Links) und RB-053.1, 07.03.96 (Rechts); Foto: Erasmi.	37
Abb. 6-6:	Verlauf des Rückstreukoeffizienten $\sigma^0$ in Bezug zur Bodenfeuchte (RB-53.1)	37
Abb. 6-7:	Bodenrauigkeit des Zuckerrübenschlages No. 66, Foto: 27.04.1995.	38
Abb. 6-8:	Geometrische Konfiguration zwischen Radarsensor und Feld (BEAUDOIN et al. 1990: 887; verändert).	40
Abb. 6-9:	Reihenrichtung des Zuckerrübenschlages No. 66, Foto: 07.05.1995.	40
Abb. 6-10:	Zusammenhang zwischen Azimuthwinkel $\beta$ und Rückstreukoeffizienten $\sigma^0$ für Zuckerrübenschlägen	41

Abb. 6-11: Zusammenhang zwischen Azimuthwinkel $\beta$ und Rückstreukoeffizienten $\sigma^{\theta}$ für Winterweizenschlägen .....	41
Abb. 6-12: Beitrag der Rückstreuung landwirtschaftlicher Pflanzen über einer Bodenoberfläche (verändert nach: ULABY 1986:1856). .....	43
Abb. 6-13: Wachstumsstadien (Evaluation Code) von Winterweizen (FRAHM 1993).....	44
Abb. 6-14: Wachstumsstadien (Evaluation Code) von Winterraps (FRAHM 1993). .....	44
Abb. 6-15: Verlauf der Rückstreukoeffizienten bei unterschiedlichem Bedeckungsgrad extensiver Flächen. ....	44
Abb. 7-1: Korrelation zwischen Biomasse (%) und Rückstreukoeffizient extensiv genutzter Schläge bei 11 Aufnahmetermen; n=5. ....	53
Abb. 7-2: Ergebnisse der multiplen Korrelation von feuchter Biomasse, trockener Biomasse (in %) und Wuchshöhe für extensiv genutzte Schläge bei 11 Terminen; n=5. ....	54
Abb. 7-3: Bestimmtheitsmaß $r^2$ von extensiven Schlägen (n=5) zwischen $\sigma^{\theta}$ und feuchter Biomasse ( $\text{g}/\text{m}^2$ ); links: Termin 20.06.1995, rechts: Termine 20.06. & 06.07.1995. ....	56
Abb. 7-4: Bestimmtheitsmaß $r^2$ von extensiven Schlägen (n=5) zwischen $\sigma^{\theta}$ und Wuchshöhe (cm); links: Termin 20.06.1995, rechts: Termine 20.06. & 06.07.1995. ....	57
Abb. 7-5: Multiple Korrelationen von trockener Biomasse ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) und Pflanzenwassergehalt (in %) mit dem Rückstreukoeffizienten $\sigma^{\theta}$ bei extensiv genutzten Schlägen; n=5, 7 Aufnahmetermine.....	58
Abb. 8-1: Multitemporale Farbkomposite des Testgebietes Reinshof (8 km x 8 km), roter Kanal: 01.06.95; grüner Kanal: 27.04.95; blauer Kanal: 06.07.95.....	62
Abb. 9-1: Verlauf der Mittelwerte des Rückstreukoeffizienten $\sigma^{\theta}$ für die Hauptnutzungsklassen (1995).....	66
Abb. 9-2: Verlauf des Rückstreukoeffizienten $\sigma^{\theta}$ für Raps (RA), (1995). ....	67
Abb. 9-3: Verlauf des Rückstreukoeffizienten $\sigma^{\theta}$ für Wintergerste (WG) und Winterweizen (WW) in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium (1995). ....	68
Abb. 9-4: Verlauf des Rückstreukoeffizienten $\sigma^{\theta}$ für Zuckerrübe (ZR), (1995). ....	69
Abb. 9-5: Verlauf des Rückstreukoeffizienten $\sigma^{\theta}$ für Mais (MA) und Zuckerrüben (1995). ....	70
Abb. 9-6: Verlauf der Rückstreukoeffizienten $\sigma^{\theta}$ für Hafer (HA), Sommerweizen (SW) und Sommergerste (SG), (1995).....	71
Abb. 9-7: Verlauf des Rückstreukoeffizienten $\sigma^{\theta}$ für Grünland (1995).....	72
Abb. 9-8: Verlauf des Rückstreukoeffizienten $\sigma^{\theta}$ für Rotationsbrachen (1995), Fotos oben vom Schlag Phacelia No. 84 zum 27.04., 02.06., 20.06. und 19.10.95.....	74
Abb. 9-9: Verlauf des Rückstreukoeffizienten $\sigma^{\theta}$ für die Hauptnutzungsklassen (1995/'96). ....	76
Abb. 9-20: WG-041 (23.11.95 - links) und WW-053.2 (23.11.95 - rechts).....	77
Abb. 9-11: Verlauf des Rückstreukoeffizienten $\sigma^{\theta}$ für Zuckerrübe und Hafer (1995/'96). ....	78
Abb. 9-12: Verlauf des Rückstreukoeffizienten $\sigma^{\theta}$ für Winterweizen (ww) und Wintergerste (wg); (1995/'96). ....	78
Abb. 9-13: Verlauf des Rückstreukoeffizienten $\sigma^{\theta}$ für Grünlandflächen (1995/'96). ....	79
Abb. 9-14: Verlauf des Rückstreukoeffizienten $\sigma^{\theta}$ für die Hauptnutzungsklassen (1995; 5 Termine). ....	80
Abb. 9-15: Verlauf des Rückstreukoeffizienten $\sigma^{\theta}$ für die Hauptnutzungsklassen (1996; 5 Termine). ....	80

Abb. 9-16: Achsen der Hauptcharakteristika zur radarspezifischen Einteilung landwirtschaftlicher Pflanzen. ....	82
Abb. 9-17: Flußdiagramm für den Klassifikationsablauf. ....	85
Abb. 9-18: ERS-1 GTC02-Produkt (GIM) mit Überlagerungs- und Schattenbereichen (rot), Landkreis Göttingen (07.03.96). ....	87
Abb. 9-19: Verlauf des Rückstreukoeffizienten $\sigma^0$ für Waldflächen und landwirtschaftliche Nutzung. ....	88
Abb. 9-20: Streudiagramm des Merkmalsraumes für Agrar- und sonstige Flächen. ....	89
Abb. 9-21: Kartierung und Klassifizierung der Landnutzung im Testgebiet Reinshof 1995. .....	94
Abb. 9-22: Streudiagramm für verschiedene Kulturpflanzen im zweidimensionalen Merkmalsraum. ....	97
Abb. 9-23 a b c: Synthetische Bildkanäle aus ERS-SAR-Bildern (5 Eingabebilder). ....	98
Abb. 9-24: Klassifikationsergebnisse für den Ausschnitt der Klassifikationsbasis (Zeitreihe vom 19.10.95 bis 16.05.96). ....	99
Abb. 9-25: Klassifikationsergebnis LK Göttingen (ERS-1, 9 Termine 1995). ....	101

## ABBILDUNGEN IM ANHANG:

- Abb. A1: Feld No. 41/72: Intensive Nutzung - Winterweizen (*Triticum aestivum*).
- Abb. A2: Feld No. 77: Intensive Nutzung - Wintergerste (*Hordeum vulgare*).
- Abb. A3: Feld No. 174: Intensive Nutzung - Winterroggen (*Secale cereale*).
- Abb. A4: Feld No. 42: Intensive Nutzung - Winterraps (*Brassica napus*).
- Abb. A5: Feld No. 66: Intensive Nutzung - Zuckerrübe (*Beta vulgaris*).
- Abb. A6: Feld No. 263: Intensive Nutzung - Mais (*Zea mays*).
- Abb. A7: Feld No. 76.2: Intensive Nutzung - Hafer (*Avena sativa*).
- Abb. A8: Feld No. 53.1: Intensive Nutzung - Sommerweizen (*Triticum aestivum*).
- Abb. A9: Feld No. 265: Extensive Nutzung - Stillelegung (*Phacelia tanacetifolia*).
- Abb. A10: Feld No. 84.1: Extensive Nutzung - Stillelegung (*Phacelia tanacetifolia*).
- Abb. A11: Feld No. 53.2: Extensive Nutzung - 1 jähr. Stillelegung Leguminose (RL).
- Abb. A12: Feld No. 54.1: Extensive Nutzung - 1 jähr. Stillelegung Leguminose (RL).
- Abb. A13: Feld No. 268: Extensive Nutzung - Dauerbrache Leguminose (DB).
- Abb. A14: Feld No. 312: Extensive Nutzung - Dauerbrache begrünt (DB).
- Abb. A15: Feld No. 2 Ost: Extensive Nutzung - Wiese (Wi).
- Abb. A16: Feld No. 133: Extensive Nutzung - Weide (We).
- Abb. A17: ERS-Aufnahme vom 06.07.1995 mit überlagerten Schlaggrenzen (DGK5) und Nutzung, Ausschnitt 2km x 2km.
- Abb. A18: Multitemporale ERS-Farbkomposite (R: 01.06.95, G: 27.04.95, B: 06.07.95) mit überlagerten Schlaggrenzen (DGK5); Ausschnitt 4km x 4km.
- Abb. A19: ERS-GIM vom 10.08.1995, maskiert mit den Grenzen des Landkreises Göttingen, zur absteigende Umlaufbahn invertiert „beleuchtet“.
- Abb. A20: Karte (DGK5 Blatt: 4525/05) der automatisch ermittelten Hangneigungsklassen, überlagert mit Schlaggrenzen; untersuchte Rapsschläge weiss umkreist.
- Abb. A21: Karte (DGK5 Blatt: 4525/05) der automatisch ermittelten Expositionsbereiche, überlagert mit Schlaggrenzen; untersuchte Rapsschläge weiss umkreist.

## II. VERZEICHNIS DER TABELLEN

Tab. 2-1:	Flächennutzungsstatistik des Landkreises Göttingen 1995 und 1996.....	5
Tab. 2-2:	Landwirtschaftliche Nutzung im Landkreis Göttingen und im Testgebiet Reinshof (1995). .....	7
Tab. 3-1:	Flächenstatistik des Testgebiets Reinshof für das Wirtschaftsjahr 1994/ 95. ..	10
Tab. 3-2:	Flächenstatistik des Testgebiets Reinshof für das Wirtschaftsjahr 1995/ 96. ..	10
Tab. 3-3:	Witterungsverhältnisse zu ausgewählten Überflugterminen . .....	12
Tab. 3-4:	Bodentemperatur [°C] vor und während der ERS-Überflüge (5 cm Tiefe) .....	13
Tab. 3-5:	Niederschläge [mm] vor (kumulativ) und während der ERS-Überflüge.....	13
Tab. 3-6:	Verwendete ERS-1-Daten (Quelle: ESA-EURIMAGE 1996).....	15
Tab. 4-1:	Buchstabenbezeichnung und Wellenlänge der wichtigsten Radarfrequenzen (verändert nach: SKOLNIK et al. 1990); Frequenz des ERS-1/2 <b>fett</b> hervorgehoben).....	20
Tab. 6-1:	Generelle Werte der Dielektrizitätskonstanten von Materialien (nach RAMO & WHINNERY, aus HENDERSON et al. 1998). .....	32
Tab. 6-2:	Rückstreuwerte bei unterschiedlichem Bodenbedeckungsgrad im Vergleich von nicht begrünter Schwarzbrache (No. 271n) und Dauerbrache (No. 268)..	45
Tab. 7-1:	Parameter der Landnutzung für die Regressionsanalyse.....	47
Tab. 7-2:	Einfache lineare Korrelationskoeffizienten zwischen $\sigma^0$ und verschiedenen Parametern. ....	48
Tab. 7-3:	Multipler Korrelationskoeffizient zwischen $\sigma^0$ und verschiedenen Parametern für Raps.....	48
Tab. 7-4:	Multipler Korrelationskoeffizient zwischen $\sigma^0$ und verschiedenen Parametern für Wintergetreide.....	49
Tab. 7-5:	Multipler Korrelationskoeffizient zwischen $\sigma^0$ und verschiedenen Parametern für Sommergetreide. ....	49
Tab. 7-6:	Multipler Korrelationskoeffizient zwischen $\sigma^0$ und verschiedenen Parametern für Zuckerrübe. ....	50
Tab. 7-7:	Multipler Korrelationskoeffizient zwischen $\sigma^0$ und verschiedenen Parametern für Rotationsbrache.....	50
Tab. 7-8:	Einfacher lineare Korrelationskoeffizienten zwischen $\sigma^0$ und verschiedenen Parametern extensiv genutzter Flächen; 11 Termine.....	52
Tab. 7-9:	Multiple, lineare Korrelationskoeffizienten zwischen $\sigma^0$ und diversen Parametern sämtlicher untersuchter Flächen extensiver Nutzung zu 11 Terminen; n=5. ....	53
Tab. 7-10:	Einfache, lineare Korrelationskoeffizienten zwischen $\sigma^0$ und verschiedenen Parametern extensiver Schläge bei 5-7 ERS-Terminen.....	55
Tab. 7-11:	Messwerte sowie einfache Korrelationen zwischen Rückstreukoeffizient, pflanzlicher Biomasse und Wuchshöhe von fünf extensiv genutzten Schlägen zu zwei ausgewählten ERS-Aufnahmetermen. ....	56
Tab. 7-12:	Multiple, lineare Korrelationskoeffizienten zwischen $\sigma^0$ und diversen Parametern sämtlicher untersuchter Flächen extensiver Nutzung zu sieben ERS-Terminen; n=5.....	57
Tab. 7-13:	Multipler Korrelationskoeffizient bei 7 ERS-Aufnahmetermen zwischen $\sigma^0$ und verschiedenen Parametern für Grünland, n=5. ....	58
Tab. 7-14:	Abschlußergebnis der multiplen Regressionsanalyse bei sieben ERS- Aufnahme-terminen für die Parameter feuchte Biomasse, trockene Biomasse und Bedeckungsgrad in %, n=5. ....	59

Tab. 8-1:	Farbton, Nutzung und mögliche Ursachen der Reflexion von ausgewählten Landwirtschaftsflächen im Testgebiet Reinshof. ....	63
Tab. 9-1:	Rückstreukoeffizienten $\sigma^{\theta}$ extensiver Landnutzung: Dauergrünland/Dauerbrache.....	73
Tab. 9-2:	Rückstreukoeffizienten $\sigma^{\theta}$ extensiver Landnutzung (Rotationsbrache). ....	75
Tab. 9-3:	Die Hauptcharakteristika zur radarspezifischen Einteilung landwirtschaftlicher Pflanzen. ....	82
Tab. 9-4:	Flächenstatistik des Landkreises Göttingen (1995) für nicht-agrarische Flächen. .....	90
Tab. 9-5:	Ergebnisse der monotemporalen Klassifikation (Klassifikationsbasis 1995). .	91
Tab. 9-6:	Klassifikationsgenauigkeiten multitemporaler ERS-SAR-Daten für das Testgebiet (drei Überflugtermine; 1995). ....	93
Tab. 9-7:	Klassifikationsgenauigkeiten von Landsat/TM und ERS-SAR (Klassifikationsbasis 1995).....	95
Tab. 9-8:	Übersicht der Gesamtklassifikationsgenauigkeiten $R_G$ für die untersuchten Bildkombinationen. ....	96
Tab. 9-9:	Fehlermatrix für multitemporale Klassifikationen (1995/'96). ....	96
Tab. 9-10:	Fehlermatrix für synthetische Kanäle (1995/'96).....	97
Tab. 9-11:	Genauigkeiten der Klassifikation für 1995 und 1996.....	100
Tab. 9-12:	Zeitreihen für die Landnutzungsklassifikation des Landkreises Göttingen. ..	102
Tab. 9-23:	Ergebnisse der Klassifikation für das Kontrollgebiet Weende-Nord. ....	102
Tab. 9-34:	Ergebnisse der Klassifikation des Landkreises Göttingen.....	104
Tab. 11-1:	Übersicht über wichtige aktuelle und zukünftige Weltraum-Sensoren (aus KUNTZ 2001; aktualisiert und ergänzt).....	114

## TABELLEN IM ANHANG:

- Tab. B1: Meßwerte der Pflanzenparameter, der Niederschläge, der Bodenfeuchte, der Hangneigung und der Exposition von Feld 2 ost (Wiese).
- Tab. B2: Meßwerte der Pflanzenparameter, der Niederschläge, der Bodenfeuchte, der Hangneigung und der Exposition von Feld 2 west (Wiese).
- Tab. B3: Meßwerte der Pflanzenparameter, der Niederschläge, der Bodenfeuchte, der Hangneigung und der Exposition von Feld 133 (Weide).
- Tab. B4: Meßwerte der Pflanzenparameter, der Niederschläge, der Bodenfeuchte, der Hangneigung und der Exposition von Feld 268 (Dauerbrache).
- Tab. B5: Meßwerte der Pflanzenparameter, der Niederschläge, der Bodenfeuchte, der Hangneigung und der Exposition von Feld 265 (Rotationsbrache).
- Tab. B6: Meßwerte der Pflanzenparameter, der Niederschläge, der Bodenfeuchte, der Hangneigung und der Exposition von Feld 312 (Dauerbrache).
- Tab. B7: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 46 (Zuckerrübe) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.
- Tab. B8: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 42 (Raps) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.
- Tab. B9: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 41 (Winterweizen) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.
- Tab. B10: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 38 (Wintergerste) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.
- Tab. B11: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 26 (Hafer) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.
- Tab. B12: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 53.1 (Sommerweizen) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.
- Tab. B13: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 84.2 (Sommergerste) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.
- Tab. B14: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 47 (Rotationsbrache) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.
- Tab. B15: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 37 (Rotationsbrache) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.
- Tab. B16: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 44 (Rotationsbrache) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.
- Tab. B17: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 53.2 (Rotationsbrache) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.
- Tab. B18: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 54.1 (Rotationsbrache) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.
- Tab. B19: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 84.1 (Phacelia/Rot.brache) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.
- Tab. B20: Erster Teil der Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse extensiv genutzter Schläge bei 11 Aufnahmeterminen; n=5.
- Tab. B21: Zweiter Teil der Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse extensiv genutzter Schläge bei 11 Aufnahmeterminen; n=5.
- Tab. B22: Erster Teil der Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse extensiv genutzter Schläge bei 7 Aufnahmeterminen; n=5.
- Tab. B23: Zweiter Teil der Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse extensiv genutzter Schläge bei 7 Aufnahmeterminen; n=5.

### III. VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN

ASAR	Advanced Synthetic Aperture Radar (Radarsensor des ENVISAT)
Asc.	Ascending (aufsteigender Orbit des ERS)
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer (optischer Satellitensensor)
C-Band	Bezeichnung einer bestimmten Radarfrequenz (ca. 5,6 cm Wellenlänge)
dB	Dezibel
Desc.	Descending (absteigender Orbit des ERS)
DGK 5	Deutsche Grundkarte (Maßstab 1:5.000)
DGM 5	Digitales Geländemodell (Maßstab 1:5.000)
DHM	Digitales Höhenmodell
DLR	Deutsches Zentrum f. Luft- und Raumfahrt
DLR-HF	Institut für Hochfrequenztechnik der DLR, Oberpfaffenhofen
D-PAF	Deutsche Prozessierungs- und Archivierungseinrichtung
DWD	Deutscher Wetterdienst
EASI/PACE	Bildverarbeitungssystem der Fa. PCI
EC	Evaluation Code (Entwicklungsstadium landwirtschaftlicher Pflanzen)
ENVISAT	Environmental Satellite (Europäischer Radarsatellit)
ERS	European Remote Sensing Satellite
ESA	European Space Agency
ESRIN	Earth Research Institute (Forschungseinrichtung der ESA)
GHz	Giga Hertz (Maßeinheit der Antennenfrequenz)
GIM	Geocoded Incidence angle Mask
GIS	Geographisches Informations System
GPS	Geo Positioning System (Satellitengestützte Positionsbestimmung)
GTC	Geocoded Terrain Corrected (Produktspezifikation von ERS Daten)
HH	Antennenkonfiguration (horizontale Sendung u. Empfang polarisierter Wellen)
INTEX	Testflächen des Studienzentrums für Landwirtschaft und Umwelt
IRS	Indian Remote Sensing Satellite (optischer FE-Satellit der Inder, A-D)
J-ERS-1	Japanese Earth Resource Satellite (Radar- und Optiksensoren)
JRC	Joint Research Centre (Forschungszentrum der Europäischen Kommission)
LANDSAT/TM	Satellit und Sensor (Thematic Mapper) einer U.S. Satellitenreihe (1-7)
L-Band	Bezeichnung einer Radarfrequenz (ca. 23,5 cm Wellenlänge)
MARS	Monitoring Agriculture by Remote Sensing (Projekt der Europäischen Union zur Erfassung der Landwirtschaft mittels Fernerkundung)
MByte	Megabyte (ca. 1 Mio. Byte - Maßeinheit für digitale Daten)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (amerikanische Behörde)
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
PAF	Processing and Archiving Facility
Pixel	Picture Element, Rasterzelle eines digitalen Bildes
PRI	Precision Range Image (Produktspezifikation von ERS Daten)
Radar	Radio Detection And Ranging
RADARSAT	Kanadischer Radarsatellit
RMS	Root Mean Square (mittlere quadratische Abweichung)
SAR	Synthetisches Aperture Radar
SARA	System zur Automatischen Relief Analyse
SIR	Shuttle Imaging Radar
SIR-C/X-SAR	Radar-Shuttle Missionen (Missionen: 04 & 09/1994) mit multifrequenten (L, C, X) und multipolarisierten Radarantennen
SLC	Single Look Complex (Produktspezifikation von ERS-SAR-Daten)
SPOT	System Probatoire d' Observation de la Terre (französische Satellitenreihe, 1-5)
SRTM	Shuttle Radar Topographic Mission (Mission 02/2000 zur globalen DHM-Erstellung)
VV	Antennenkonfiguration (vertikale Sendung u. Empfang polarisierter Wellen)
X-Band	Bezeichnung einer bestimmten Radarfrequenz (ca. 9,6 cm Wellenlänge)

## 1. Einleitung

Die zivile Fernerkundung mittels satellitengestützter Mikrowellensensoren bietet operationell seit 1991<sup>1</sup> die Möglichkeit, unabhängig von Wetterbedingungen und tageszeitlicher Beleuchtung, großflächig Gebiete nahezu zeitgleich abzubilden. Im Vorfeld dieser ERS-Mission gab es bereits zahlreiche flugzeuggestützte Kampagnen<sup>2</sup> in Europa, um hinsichtlich der Erfassung der Land- und Wasserflächen eine leistungsfähige Antennenkonfiguration zu bestimmen (u. a. ESA 1988, 1992 & 1995, MASCLE et al. 1994, BAYER et al. 1995, BORGEAUD et al. 1995, LIN et al. 1995, PALOSCIA et al. 1995, SANGIOVANNI et al. 1995, TACONET et al. 1994, WEVER et al. 1995).

Die Auswahl des C-Band mit VV-Polarisation ist bei der Vielfalt der Aufgaben ein Kompromiß. Dabei ist die Beschränkung der Radarantenne auf nur ein Band und nur eine Polarisation durch den hohen Energieverbrauch eines solchen Systems und die großen Datenraten, die zu den Bodenempfangsstationen übertragen werden müssen, begründet.

Mittels Radarsystemen sind heutzutage landwirtschaftliche Flächeninventuren, Vitalitätsbestimmungen und teilweise Ertragsabschätzungen durchführbar. Dies wurde seitens der U.S. Amerikaner schon in den siebziger Jahren durch intensive Untersuchungen mittels flugzeuggestützter Radarsensoren auf den Gebieten des Pflanzenmonitorings und der Bodenfeuchtekartierung erkannt<sup>3</sup>. Als Folge der ansprechenden Ergebnisse auf dem Gebiet der Radarfernerkundung startete bereits 1978 der erste zivile U.S. Radarsatellit, gefolgt von zwei Spaceshuttle-Kampagnen<sup>4</sup>.

Auch optische Fernerkundungssysteme (z. B. LANDSAT, SPOT, IRS) haben im operationellen Einsatz bereits gezeigt, dass sie für landwirtschaftliche Fragestellungen einsetzbar sind. Probleme ergeben sich allerdings in Zentraleuropa bei ca. 50% Bewölkungsrate durch die Wetterabhängigkeit dieser Systeme. BORMANN stellte bereits 1980 fest, dass gerade die fernerkundungsgestützte Analyse des Agrarraumes bezüglich der Klassifizierung von Brache-, Weide- und Kulturland eine zeitliche Auflösung von drei Monaten verlangt. Das Identifizieren von Feldkulturen und deren Flächenanteile oder von Bodenbedingungen ist mit einer Aufnahme pro Monat zu bewerkstelligen. Zum Erkennen von Pflanzenwachstum und -schäden wird sogar eine wöchentliche Wiederholungsrate vorausgesetzt. Zur Lösung dieser Anforderungen kann ein regelmäßig verfügbares, wetterunabhängiges Fernerkundungssystem - wie das SAR-Instrument des ERS - beitragen.

Innerhalb der vorliegenden Arbeit wird das Potenzial von ERS-Radaraufnahmen zur Erfassung und Differenzierung landwirtschaftlicher Nutzung untersucht. Die Aufnahme der Oberfläche mit Hilfe von Sensoren im Mikrowellenbereich bietet hierbei zwei entscheidende Vorteile:

- (1) Radarwellen können die Wolkendecke ungehindert durchdringen und liefern auch bei ungünstigen Witterungsverhältnissen wie z. B. Starkregen, ein durch die Atmosphäre kaum beeinträchtigtes Abbild der Oberfläche.

---

<sup>1</sup> Start des Europäischen Radarsatelliten ERS-1.

<sup>2</sup> Convair-580 (1981); AGRISAR (1986); AGRISCATT (1987 & 1988) und MAC-Europe (1991).

<sup>3</sup> HARALICK et al. (1970); ULABY et al. (1976).

<sup>4</sup> SEASAT mit L<sub>HH</sub>-Konfiguration; ebenso SIR-A (1981) und SIR-B (1984).

- (2) Vor allem ist die gemessene Strahlungsintensität im optischen und infraroten Bereich abhängig von den Pflanzenparametern Biomasse und Wassergehalt. Radarsensoren hingegen reagieren empfindlich auf Veränderungen der Oberflächengeometrie und der Feuchtigkeit. Sie sind deshalb geeignet, zusätzliche Informationen über die Oberflächenstruktur von landwirtschaftlich genutzten Flächen bereitzustellen.

## **1.1 Aufgabenstellung**

Primäres Anwendungsgebiet der Fernerkundung in der Landwirtschaft ist gegenwärtig das Erkennen und Erfassen der angebauten Fruchtarten. Richtungsweisende europäische Arbeiten zur Differenzierung der Hauptanbaufrüchte in Europa mittels ERS-Radaraufnahmen wurden bereits u. a. von WOODING et al. (1993), ROQUES et al. (1994), DEMIRCAN et al. (1993), BOUMAN & HENK (1992), LEMOINE et al. (1995), HARTL et al. (1995, '94, '93) sowie von KOHL et al. (1994a, 1994b, 1994c) vorgelegt.

Als Hauptproblem erweist sich dabei immer wieder die Vielfalt der am Radarecho beteiligten Parameter bei den unterschiedlichen Nutzungen (BIRD et al. 1993). Im Untersuchungsgebiet sind Winterweizen, Wintergerste, Zuckerrüben und Winterraps die dominierenden Anbaufrüchte. Sommergetreide, Winterroggen, Mais und Kartoffeln spielen eine untergeordnete Rolle.

Darüber hinaus steht schon seit einigen Jahren die Ertragsabschätzung im Mittelpunkt des Interesses bei der Auswertung von Fernerkundungsdaten für landwirtschaftliche Fragestellungen (HAMACHER et al. 2001, HAWLITSCKA et al. 2001, KIDD et al. 1999, KÜHBAUCH 1999, LEMOINE et al. 1997). Dies konnte jedoch für die vorliegende Arbeit aufgrund mangelnder räumlicher, zeitlicher und spektraler Auflösung des zu untersuchenden Datenmaterials nicht realisiert werden.

Statt dessen liegt ein Hauptaspekt der Untersuchung, über den bisherigen Umfang der Fernerkundungsarbeiten im landwirtschaftlichen Bereich hinausgehend, in einem möglichen Einsatz von Radardaten zur Überwachung von Flächenstillegungen für die Zwecke der EU-Förderpolitik<sup>5</sup>. Aus diesem Grunde wurden insbesondere extensiv genutzte landwirtschaftliche Flächen innerhalb der Untersuchungen bewertet.

Bereits seit 1988 wird vom Statistischen Amt der Europäischen Union das MARS-Projekt (Monitoring Agriculture with Remote Sensing) zur quantitativen Abschätzung von landwirtschaftlicher Nutzung (Größe, Zustand, Ertrag) in den Mitgliedsstaaten betrieben. Ziel des MARS-Projektes ist eine Verbesserung der Agrarstatistik mit Hilfe von Fernerkundungstechniken (MARS-STAT) und - im Rahmen der EU-Agrarreform von 1992 – die Nutzung von Fernerkundungsdaten und -methoden zur Durchsetzung der agrarpolitischen Maßnahmen der EU (MARS-CAP).

Gegenwärtig beschäftigen sich sämtliche Landwirtschaftsministerien sowohl der Bundesländer als auch der anderen EU-Staaten zzgl. der Beitrittsländer mit der Umsetzung der EU-VO 1593/00<sup>6</sup>, um Anträge auf Ausgleichszahlungen für Kulturpflanzen mittels Fernerkundung und Geoinformatiossystemen (GIS) für Antragsteller zu vereinfachen und seitens der Agrarverwaltung schneller und umfangreicher zu kontrollieren. Ein prinzipieller Vorteil der Fernerkundung liegt hierbei sowohl in der schnellen, großflächigen Erfassung als auch in der lagegenauen Zuordnung der Daten. Durch Verknüpfung mit flächenbezogenen Informationen und Agrardatenbanken über Geographische Informationssysteme können Inventuren vorgenommen und Veränderungen seitens der Nutzung und der Bewirtschafter schnell erfaßt werden.

---

<sup>5</sup> Verordnung (EWG) Nr. 3508/1992.

<sup>6</sup> Verordnung (EG) Nr. 1593/2000.

An dieser Stelle können satellitengestützte aktive Radarsysteme aufgrund der bereits erwähnten Vorteile durch die Unabhängigkeit von Tageszeit und Bewölkung gegenüber optischen Sensoren einen wichtigen, termingerechten Beitrag zur Differenzierung vor allem von extensiver Nutzung leisten.

Die Ziele der Untersuchung sind in diesem Kontext:

- Entwicklung von operationellen Verfahren und Methoden zur digitalen Bildverarbeitung von multitemporalen ERS-Radardaten als Grundlage weiterer Auswertungen,
- Differenzierung der landwirtschaftlichen Nutzung insbesondere von Formen extensiver Nutzung - nämlich Grünland (Wiese, Weide, Dauerbrache) und einjährige Stilllegungen - durch eine multitemporale Analyse des Radarrückstreuoeffizienten  $\sigma^0$ ,
- Erstellung eines Klassifikationsverfahrens zur ausreichend genauen Abgrenzung der Hauptnutzungsarten innerhalb des Testgebietes und im Landkreis Göttingen mittels multitemporaler ERS-Daten im Hinblick auf eine mögliche Verwendung für Aufgaben der Agrarstatistik und Kontrollverfahren auf Länderebene und
- Implementierung der Fernerkundungsdaten in ein Geographisches Informationssystem zur Verknüpfung mit digitalen großmaßstäbigen Karten und Zusatzinformationen für die schlagspezifische, multitemporale Auswertung im Rahmen der Fragestellung.

## **1.2 Ausgangssituation**

Die Auswertung von ERS-Radardaten im Rahmen des zweiten Announcement of Opportunity (ERS-AO2) begann im April 1995 am Geographischen Institut der Universität Göttingen, Abt. Kartographie & Fernerkundung. Unterstützt wurde die Arbeitsgruppe durch das Personal des landwirtschaftlichen Versuchsgutes der Universität (Reinshof) sowie Mitarbeiter des Studienzentrums für Landwirtschaft und Umwelt, Göttingen, die im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojektes (INTEX) für die Aufnahme der pflanzen- und bodenspezifischen Parameter gewonnen werden konnten.

Um sämtliche Parameter, welche die Radarrückstreuung an landwirtschaftlicher Nutzung beeinflussen, erfassen zu können, wurde das Untersuchungsgebiet an die Testflächen des Studienzentrums Landwirtschaft und Umwelt und des Versuchsgutes Reinshof angelehnt. Zusätzliche Aspekte, die für die Auswahl des zentralen Untersuchungsgebietes sprachen, waren die unmittelbare Nähe zur Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes und die Lage sowohl innerhalb des ebenen Leinetalgrabens als auch am Anstieg des Grabenrandes zur Schichtstufe des Göttinger Waldes. Weitere Vorteile waren die kurze Entfernung des durchführenden Institutes zum Testgebiet sowie die Diversität der Nutzung (Wald, intensive und extensive Landwirtschaft, Siedlungen, Verkehrswege, Wasserflächen) innerhalb des Testgebiets. Um die Ergebnisse auf eine größere Fläche auszuweiten und gleichzeitig statistisch überprüfen zu können, wurde als räumlich abgegrenzte Einheit der Landkreis Göttingen ausgewählt.

Die Aufmerksamkeit bei der Felderhebung lag sowohl auf der vollständigen Kartierung unterschiedlicher Nutzungen als auch auf der Erfassung detaillierter Pflanzen- und Bodenparameter. Die Erfassung von Ernteerträgen bei den Marktfrüchten hinsichtlich der möglichen Verwendung der Datensätze für Voraussagen blieb innerhalb der vorliegenden Arbeit unberücksichtigt.

Die Forschungsarbeiten beschäftigten sich dementsprechend mit einer regionalen, ganzheitlichen Klassifikation der landwirtschaftlichen Nutzung. Darüber hinaus dienten die Felderhebungen in Bezug zum Titel des Projektes und zu den zentralen Fragestellungen

aber vor allem den Untersuchungen hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen dem Radarrückstreukoeffizienten zu verschiedenen Aufnahmezeitpunkten während und außerhalb der Vegetationsperiode und verschiedenen Boden- und Pflanzenparametern.

Damit waren folgende Arbeitsschritte verbunden:

- Geokodierung und Ko-Registrierung der ERS-Datensätze,
- Berechnung des Radarrückstreukoeffizienten  $\sigma^0$ ,
- Erstellung eines Verfahrens zur digitalen Filterung der Radardaten,
- Skalierung der 16 Bit-Originaldaten,
- Generierung synthetischer Informationen aus den Originaldaten mittels arithmetischer Operationen,
- Analyse des Radarrückstreukoeffizienten  $\sigma^0$ , unterteilt in
  - Permanente Faktoren: Hangneigung, Exposition und Bodenart,
  - Saisonale Faktoren: Bestandeshöhe, Vegetationsbedeckung, Biomasse, Pflanzenwassergehalt, Pflanzengeometrie, Bodenrauhigkeit und Reihenrichtung sowie
  - Temporäre Faktoren: Niederschläge und damit verbunden die aktuelle Bodenfeuchte.
- Temporale Signaturanalyse der Radarrückstreukoeffizienten für landwirtschaftliche Nutzung, insbesondere extensive Nutzung, in unterschiedlichen Betrachtungszeiträumen,
- Ableitung typischer Reflexionssignaturen aus den Reflexionscharakteristika der einzelnen Nutzungsformen und
- Konsolidierung der Ergebnisse aus der Analyse des Radarrückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  durch Klassifikationen des Testgebietes und des gesamten Untersuchungsraumes (Landkreis Göttingen); Validierung anhand von Kontrollgebieten und der amtlichen Statistik.

Die Radarbildauswertung erfolgte, unter Berücksichtigung der potentiellen Anwendbarkeit des Datenmaterials, sowohl auf regionaler als auch auf Feldebene. Hierzu standen innerhalb des Landkreises mehrere ausgewählte Testgebiete zur Verfügung.

## 2 Untersuchungsgebiete

### 2.1 Untersuchungsgebiet Landkreis Göttingen

Als Untersuchungsgebiet wurde als statistisch erfaßbare Einheit der Landkreis Göttingen, landschaftlich zwischen Harz und Solling gelegen, ausgewählt. Er liegt im Süden des Bundeslandes Niedersachsen (vgl. Abb. 2-1).

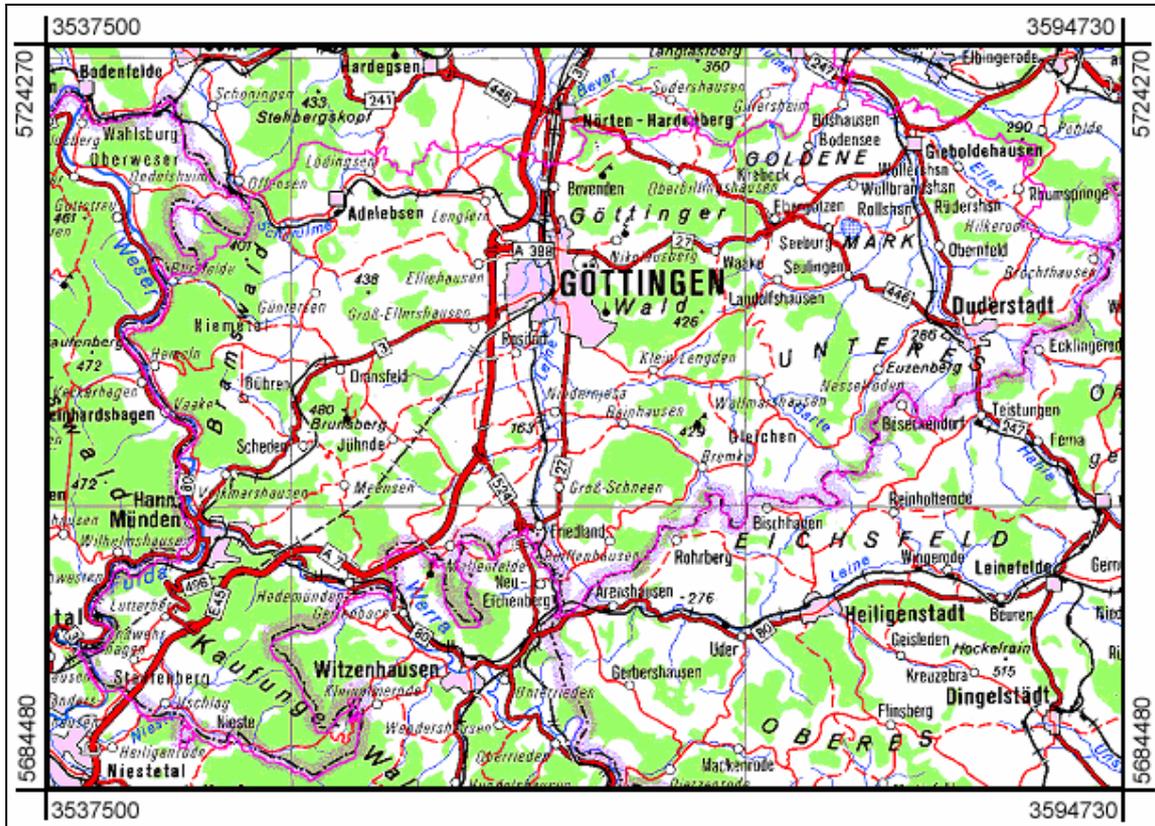


Abb. 2-1: Landkreis Göttingen (Maßstab ca. 1:400.000).

*Quelle: Niedersachsen – digitale Karten (CD-ROM), herausgegeben vom Niedersächsischen Landesverwaltungsamt Abt. Landesvermessung (LGN).*

Die Gesamtfläche beträgt 1.117 km<sup>2</sup> bei einer Nord-Süd-Erstreckung von etwa 25 km und einer West-Ost-Erstreckung von etwa 50 km. Nach der amtlichen Flächennutzungsstatistik gliedert sich die Landkreisfläche wie folgt (Tab. 2-1):

	1995		1996	
	ha	%	ha	%
Landkreis Göttingen	111.694	100,00	111.694	100,00
Landwirtschaftliche Nutzfläche	57.001	51,03	56.706	50,77
Wald	36.577	32,75	36.887	33,03
Siedlung und sonstige Flächen	16.954	15,18	16.939	15,16
Gewässer	1.162	1,04	1.162	1,04

Tab. 2-1: Flächennutzungsstatistik des Landkreises Göttingen 1995 und 1996.

*Quelle: Statistische Berichte Niedersachsen 1996 (für 1995), Statistische Berichte Niedersachsen 1997 (für 1996).*

Als Ausschnitt des Niedersächsischen Berglandes bildet der Landkreis einen Teil der Mittelgebirgsschwelle. Die Haupteinheiten des Reliefs sind der Nord-Süd verlaufende Leinetalgraben, im Westen benachbart von den Hochflächen des Solling und im Osten von der Schichtstufe des Göttinger Waldes, die zur weiträumigen Senke des Eichsfelder Beckens abfällt.

Nach der Bodenschätzung gemäß der Deutschen Grundkarte im Maßstab 1:5.000 und der bodenkundlichen Standortkarte im Maßstab 1:200.000 sind im Untersuchungsgebiet folgende Böden verbreitet:

- Auf den Muschelkalkhochflächen beiderseits des Leinetals findet sich die komplette Entwicklungsreihe von der Rendzina bis zum Kalkstein-Braunlehm. Während im Oberen und Unteren Muschelkalk häufig flachgründige, skelettreiche Rendzinen auftreten, haben sich im Mittleren Muschelkalk tiefgründige Braunerden entwickelt.
- Im Bereich der Leineau finden sich je nach Grundwassereinfluß Griserden, degradierte Feuchtschwarzerden bzw. Parabraunerden.
- In den breiteren Seitentälern und im unmittelbaren Bereich der Leine überlagern allochthone Auenböden den Löß.
- In den engeren Bachtälern sind tiefgründige Braunerden entstanden.
- Auf den Keuperhügeln haben sich überwiegend flachgründige Braunerden oder wie am Weizenberg im Reinshof eine Mergel-Rendzina entwickelt.
- Die Hochflächen des Oberen Buntsandsteins (Röt) sind von Pelosolen geprägt.
- Auf dem Mittleren Buntsandstein liegen Braunerden und Parabraunerden.

## **2.2 Testgebiet Reinshof**

Innerhalb des Landkreises, unmittelbar südlich der Stadt Göttingen, liegt das Testgebiet Reinshof mit den Schlägen eines Versuchsgutes der Universität Göttingen (Abb. 2–2). Die regelmäßigen Erfassungen der Oberflächenmerkmale zu den Terminen der Satellitenüberflüge waren 1995 und 1996 auf dieses Testgebiet beschränkt. Mit einer Fläche von 774 ha hat es zwar nur einen Anteil von 1,4 % an der landwirtschaftlichen Nutzfläche des Landkreises Göttingen, ist aber nach vorherrschenden Nutzungsarten annähernd repräsentativ (Tab. 2–2).

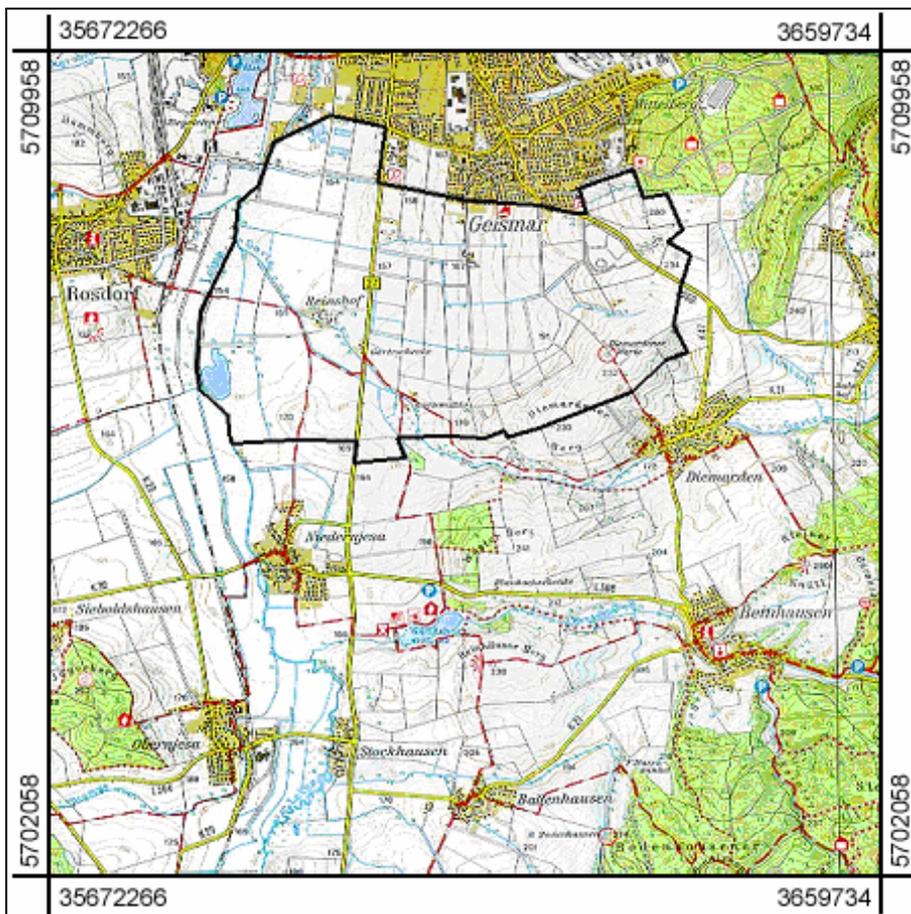


Abb. 2-2: Lage des Testgebietes Reinshof (Maßstab ca. 1:70.000).

Kartengrundlage: *Topographische Karte 1:50:000, Göttingen und Umgebung (1993)*. Mit Erlaubnis des Herausgebers: *Niedersächsisches Landesverwaltungsamt- vom 21.04.1997 Az.: B4-1050/97*

		Testgebiet Reinshof <sup>1</sup>		Landkreis Göttingen <sup>2</sup>	
		ha	%	ha	%
Landwirtschaftliche Nutzfläche	LNF	<b>773,69</b>	<b>100,0</b>	<b>57001</b>	<b>100,0</b>
Winterweizen	WW	304,11	39,3	17464	30,6
Wintergerste und -roggen	WG+R	98,28	12,7	10357	18,2
Zuckerrüben	ZR	157,27	20,3	3853	6,8
Raps	RA	39,56	5,1	5700	10,0
Dauergrünland*	GR	125,11	17,5	9222	16,2
Rotationsbrache*	BR	39,36	5,1	6370	11,2
sonstige				4035	7,1

<sup>1</sup> eigene Erhebungen

<sup>2</sup> Statistische Berichte Niedersachsen für 1995

Tab. 2-2: Landwirtschaftliche Nutzung im Landkreis Göttingen und im Testgebiet Reinshof (1995).

Die Ackerzahlen der Lößböden mit bis zu 80 Bodenpunkten in der Leineau lassen eine intensive landwirtschaftliche Nutzung zu, so dass in der Niederung des Reinshof-Gebietes und nach Süden in Richtung Obernjesa die Getreide- und Zuckerrübenflächen überwiegen. In günstigen Hanglagen werden Raps und Getreide angebaut, während zu steile Standorte mit nur geringmächtiger Bodendecke extensiv (Grünland, Brache, Stilllegung, vereinzelt Weidewirtschaft) genutzt werden.

### 3 Datengrundlagen

#### 3.1 Felderhebungen

Die Beziehung zwischen den Reflexionsbedingungen agrarischer Oberflächen und den von den Sensoren empfangenen Signalen sind an den in Abb. 3-1 ausgewiesenen Testarealen untersucht worden. Den nach Ausdehnung und Umfang der Erhebungen bedeutsamsten Anteil hat das Gebiet 1 (Reinshof).

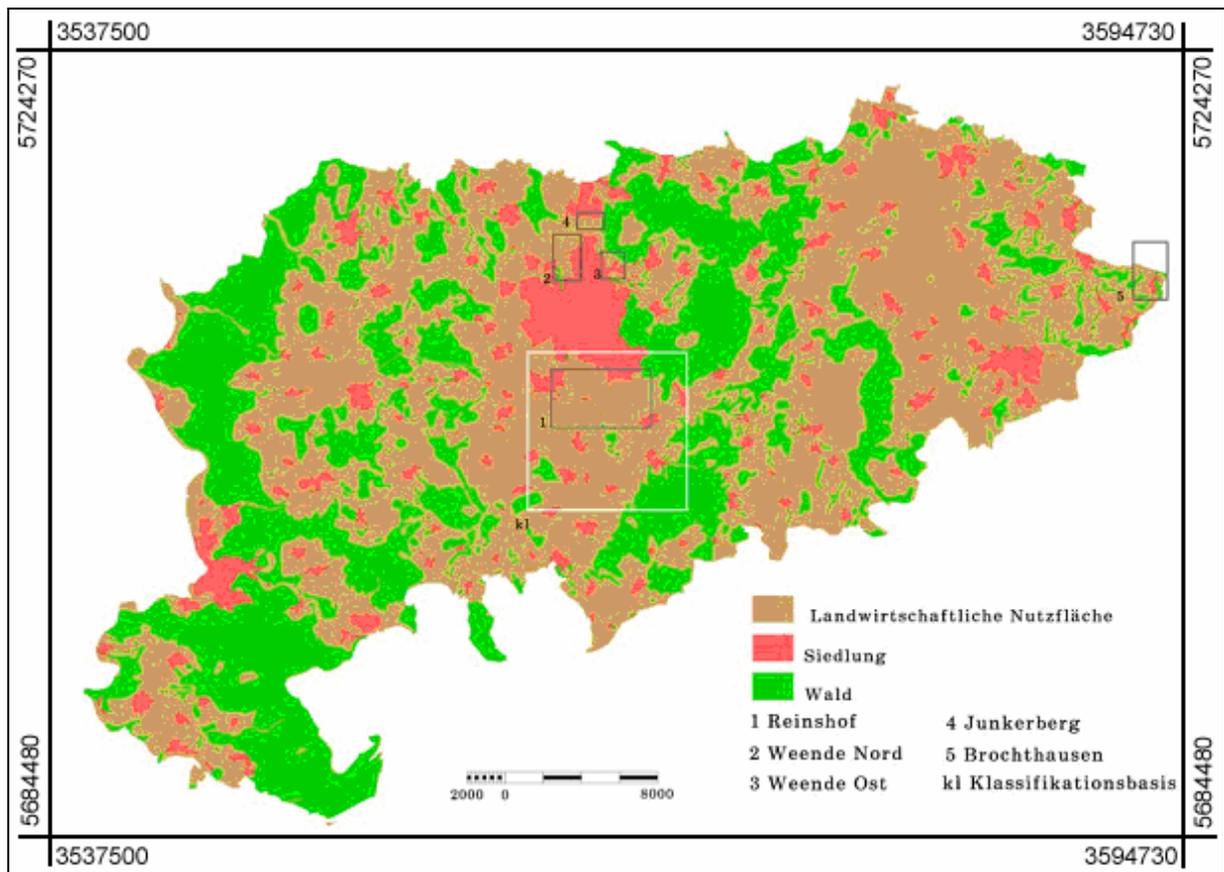


Abb. 3-1: Landkreis Göttingen mit Lage der Testgebiete.

Um die verschiedenen Formen der landwirtschaftlichen Nutzung anhand eines Radar-Satellitenbildes interpretieren zu können, müssen die Parameter bekannt sein, die eine landwirtschaftlich genutzte Fläche hinsichtlich des Entwicklungsstandes ihrer Nutzung beschreiben. Je nach Untersuchungszeitraum kommen für diese Erhebung unterschiedliche Parameter in Betracht. Während im Frühjahr und Sommer überwiegend die Phänologie der Pflanze im Vordergrund steht, kommen im Herbst und Winter meistens nur Bodenzustandsparameter für eine Nutzungserhebung in Frage. Vor diesem Hintergrund erfolgte die Auswahl der für Erhebung der Referenzdaten benötigten Zustandsgrößen nach dem in Kap. 3.1.1 erläuterten Schema.

Abb. 3–2 zeigt das Ergebnis der für das Testgebiet Reinshof erstellten Landnutzungskartierungen für die Anbausaisons 1994/'95 und 1995/'96. Farblich unterlegt sind nur die Flächen, für die Angaben zur Nutzung vorliegen. Insgesamt wurden 1994/95 229 Schläge<sup>7</sup> und 1995/96 235<sup>8</sup> Schläge mit einer Gesamtfläche von rund 780 ha kartiert. Die Hauptnutzungen sind - ähnlich wie im Umland - Wintergetreidearten, im Testgebiet vor allem Gerste und Weizen sowie Zuckerrübe, Winterraps und verschiedene Formen der extensiven Nutzung. Eine detaillierte Übersicht der insgesamt erfaßten Kulturen im Testgebiet ist in den Tabellen 3–1 und 3–2 zusammengestellt.

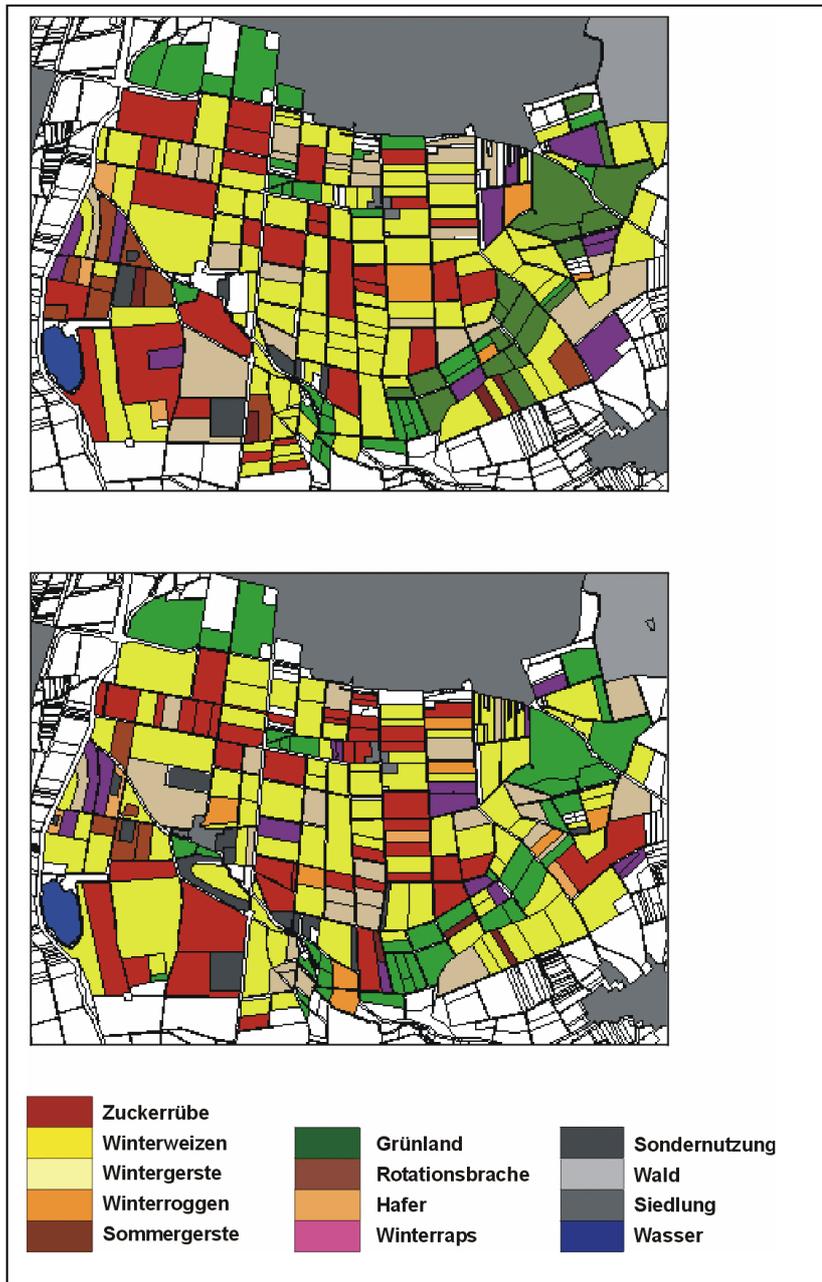


Abb. 3-2: Landnutzungskartierung für das Testgebiet Reinshof, oben: 1994/95; unten: 1995/96.

<sup>7</sup> Schlagdefinition: Eine abgegrenzte Landwirtschaftsfläche, die von einem Landwirt mit einer Kultur bewirtschaftet wird (VO 1593/00).

<sup>8</sup> Die unterschiedliche Schlaganzahl ergibt sich aus Umstrukturierungsmaßnahmen der Landwirte innerhalb der Feldstücke in einer neuen Anbauperiode.

<b>Nutzung</b>	Kurzbezeichnung	Anzahl der Schläge	Fläche [ha]	Fläche [%]	Ø Schlaggröße [ha]
Winterweizen	WW	94	298,41	38,27	3,17
Wintergerste	WG	24	86,84	11,14	3,62
Winterroggen	WR	4	14,02	1,80	3,51
Hafer	HA	3	5,75	0,74	1,92
Sommergerste	SG	4	6,98	0,90	1,75
Winterraps	RA	11	37,80	4,85	3,44
Zuckerrübe	ZR	29	160,67	20,61	5,54
Dauergrünland	DG	25	55,45	7,11	2,22
Dauerbrache	DB	19	71,89	9,22	3,78
Rotationsbrache	RB	9	27,44	3,52	3,05
Sondernutzung	SN	7	14,41	1,85	2,06
<b>Gesamt</b>		<b>229</b>	<b>779,66</b>	<b>100,00</b>	<b>3,10</b>

Tab. 3-1: Flächenstatistik des Testgebiets Reinshof für das Wirtschaftsjahr 1994/ 95.

<b>Nutzung</b>	Kurzbezeichnung	Anzahl der Schläge	Fläche [ha]	Fläche [%]	Ø Schlaggröße [ha]
Winterweizen	WW	83	322,22	41,27	3,88
Wintergerste	WG	27	83,55	10,70	3,09
Winterroggen	WR	8	20,19	2,59	2,52
Hafer	HA	4	6,86	0,88	1,72
Sommergerste	SG	3	3,36	0,43	1,12
Winterraps	RA	13	28,47	3,65	2,19
Zuckerrübe	ZR	38	158,73	20,33	4,18
Grünland	GR	41	121,56	15,57	2,96
Rotationsbrache	RB	5	11,50	1,47	2,30
Sondernutzung	SN	13	24,31	3,11	1,87
<b>Gesamt</b>		<b>235</b>	<b>780,75</b>	<b>100,00</b>	<b>2,58</b>

Tab. 3-2: Flächenstatistik des Testgebiets Reinshof für das Wirtschaftsjahr 1995/ 96.

Die unterschiedliche Einteilung der Grünlandnutzungen für 1995 und 1996 ist eine Folge der Erkenntnisse aus der Auswertung der ERS-SAR-Daten von 1995, wonach Grünland (Wiese & Weide) und begrünte Dauerbrache im Satellitenbild nicht zu trennen sind (siehe Kap. 9.1.2.1).

Die Kurzbezeichnungen in der zweiten Spalte werden nachfolgend stellvertretend für den Namen der jeweiligen Kulturpflanze verwendet. Einige selten vorkommende Fruchtarten sind in einer übergeordneten Gruppe unter der Bezeichnung <SN> (Sondernutzung) zusammengefaßt. Der Gesamtanteil dieser Nutzungen im Kartierungsraum beträgt lediglich 1,85 % (Testgebiet) bzw. 3,2 % (Landkreis).

Die Bezeichnung der Schläge setzt sich zusammen aus einer internen Schlagnumerierung und der Kurzbezeichnung für die kartierte Feldfrucht (z. B. WW-075).

### 3.1.1 Agronomische Daten

Von allen kartierten Schlägen des Testgebietes ist die Anbauart und die vorherrschende Bearbeitungsrichtung bekannt (Level I, siehe Abb. 3-3). Von diesen sind insgesamt 40 Schläge detaillierter erfaßt worden (Level II), es wurde zusätzlich die Wuchshöhe, das Wachstumsstadium, der Kulturdeckungsgrad und die Oberflächenrauigkeit aufgenommen. Von 20 der 40 Schlägen standen weitere, vom Forschungs- und Studienzentrum Landwirtschaft und Umwelt der Universität Göttingen ermittelte Merkmale zur Verfügung, darunter die Bodenfeuchte und der Wassergehalt der Biomasse (Level III).

Die Erhebung der Daten erfolgte in der Regel jeweils zu den Überflugterminen, mit Ausnahme des 01.06.95, an dem die Witterungsverhältnisse ( $> 10$  mm Niederschlag) keine Feldarbeiten zuließen. Hierfür wurde die Felderhebung am darauf folgenden Tag durchgeführt.

In Kap. 7 werden die agronomischen Daten ausgewertet und hinsichtlich ihres statistischen Zusammenhanges zu den Rückstreuoeffizienten der Radar-Daten analysiert.

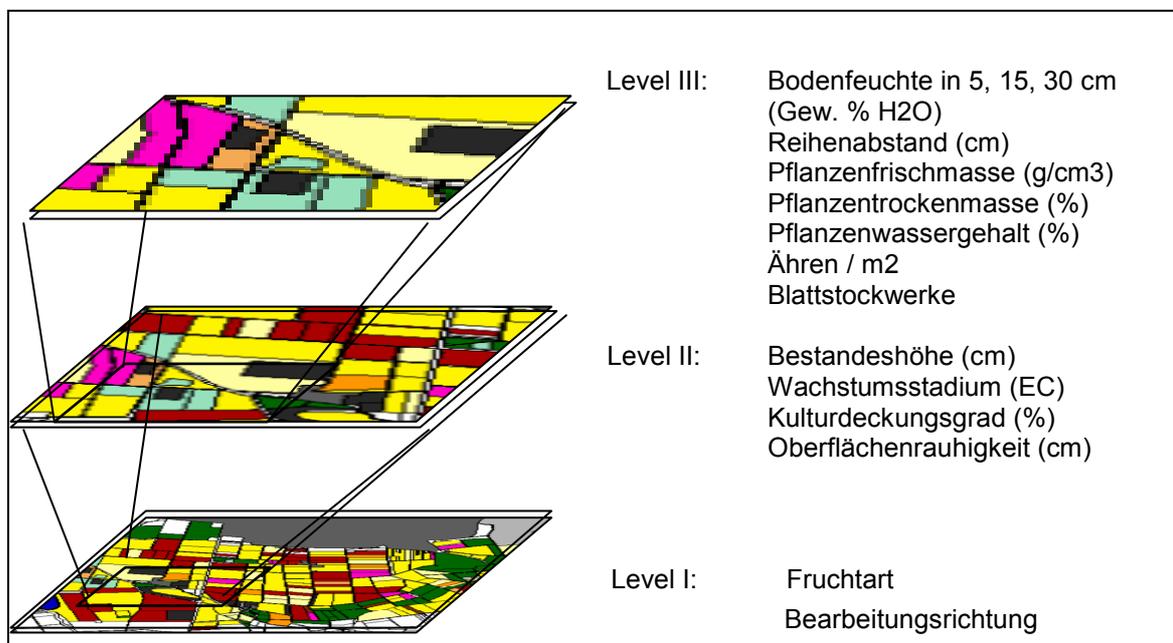


Abb. 3-3: Dreistufige Felderhebungen im Testgebiet Reinshof.

### 3.1.2 Meteorologische Daten

Die Intensität der Radarrückstreuung am Boden ist von verschiedenen Faktoren abhängig, die unmittelbar durch die Witterung vor und zu dem Zeitpunkt der Befliegung bedingt sind. Tab. 3-3 gibt einen Überblick über die Witterungsverhältnisse zu den jeweiligen Befliegungsterminen. In den anschließenden Tabellen (3-4 und 3-5) sind die für die Interpretation des Radarsignals wichtigsten meteorologischen Parameter Bodentemperatur und Niederschlag detailliert aufgelistet.

	Lufttemperatur [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	Niederschlag [mm]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Bodentemperatur 5cm[°C]
27.04.95	12,0	84,0	0,0	-	12,6
01.06.95	12,3	44,6	15,2	-	12,3
06.07.95	15,1	74,0	0,0	-	14,5
10.08.95	16,2	56,5	0,0	0,80	-
14.09.95	14,7	93,3	7,7	1,50	15,2
19.10.95	10,6	87,7	0,0	1,66	-
23.11.95	2,2	90,5	0,0	1,90	-0,1
28.12.95	-7,3	93,3	0,0	0,33	-0,4
16.01.96	0,3	96,0	0,0	2,00	-0,6
01.02.96	-5,9	85,1	0,0	1,08	-4,6
07.03.96	1,8	96,3	4,1	2,14	0,4
11.04.96	7,5	85,4	0,1	1,44	7,8
30.04.96	8,9	81,3	1,0	1,06	12,1
16.05.96	6,6	88,0	7,0	1,74	8,9
20.06.96	11,0	82,2	0,0	1,49	11,4
25.07.96	15,6	85,0	2,5	1,83	15,0
30.08.96	14,9	71,1	0,7	4,21	-

Tab. 3-3: Witterungsverhältnisse zu ausgewählten Überflugterminen<sup>9</sup>.

Die Abbildung 3-4 gibt einen Überblick über die Großwetterlage zu ausgewählten Überflugterminen des ERS-1-Satelliten. Während eines Großteils der Aufnahmetermine lag eine Wolkendecke über dem Untersuchungsgebiet. Zwar wird das Radarsignal durch die Atmosphäre kaum beeinflusst, extreme Wetterbedingungen, wie z. B. Starkregenereignisse können jedoch zu einer Ablenkung der Radarstrahlen führen (ULABY 1986). So fielen am 01.06.95, 14.09.95, 07.03.1996 und 16.05.96 Niederschläge, allerdings waren die bearbeiteten Radarbilder hiervon unbeeinflusst, da zum Zeitpunkt des Überfluges der Niederschlag in einer zu vernachlässigenden Größenordnung fiel.

Auch die Windgeschwindigkeit kann die Radarrückstreuung von Gewässerflächen verändern, da höhere Windgeschwindigkeiten die Wasseroberfläche aufrauen und somit eine höhere Radarreflexion verursachen. Außerdem kann die Orientierung der Ähren von Getreidebeständen durch den Einfluß des Windes verändert werden (siehe Kap. 6.1).

<sup>9</sup> Mittelwert bzw. Summe (Niederschlag) der stündlichen Messungen bis 24 Stunden vor dem Überflug (10.15 Uhr MEZ), gemessen an der Wetterstation der INTEX-Versuchsflächen im Testgebiet Reinshof.

	23.11.95	28.12.95	16.01.96	01.02.96	07.03.96	11.04.96	30.04.96	16.05.96
10 <sup>00</sup> Uhr	-0,10	-1,00	-0,70	-6,30	-0,40	6,20	10,60	8,10
0 - 6 h	-0,18	-0,75	-0,70	-5,98	-0,43	5,68	9,95	7,83
7 - 12 h	-0,20	-0,53	-0,70	-4,98	0,22	6,38	11,27	8,60
13 - 24 h	-0,08	-0,13	-0,47	-3,68	0,85	9,53	13,62	9,55
25 - 48 h	0,10	-0,06	-0,69	-4,02	-0,67	6,11	13,78	10,13
49 - 96 h	1,39	0,70	-0,67	-3,15	-0,55	7,58	13,41	9,24
Mittelwert	0,21	-0,15	-0,65	-4,36	-0,12	7,06	12,40	9,07

Tab. 3-4: Bodentemperatur [°C] vor und während der ERS-Überflüge (5 cm Tiefe)

	10.00 Uhr	6 h	12 h	24 h	48 h	96 h
27.04.95	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	4,9
16.05.95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3
01.06.95	0,0	9,0	12,1	15,2	35,1	39,0
20.06.95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5
06.07.95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1
25.07.95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5
10.08.95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14.09.95	0,0	0,0	6,0	7,7	9,9	13,1
19.10.95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23.11.95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6
28.12.95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16.01.96	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
01.02.96	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
07.03.96	0,6	2,5	4,0	4,1	4,1	4,1
11.04.96	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
30.04.96	0,0	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0
16.05.96	0,0	0,0	0,0	7,0	7,0	9,5
20.06.96	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4
25.07.96	0,0	0,0	0,0	2,5	7,3	7,3
30.08.96	0,2	0,7	0,7	0,7	4,8	28,3

Tab. 3-5: Niederschläge [mm] vor (kumulativ) und während der ERS-Überflüge

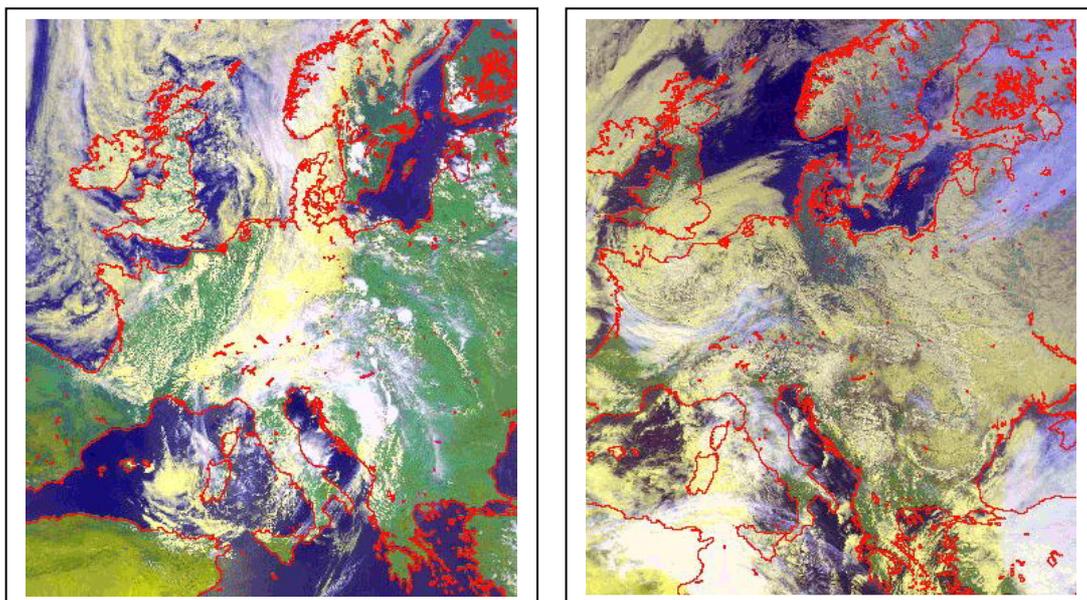


Abb. 3-4: NOAA-AVHRR 01.06.95 (links) und NOAA-AVHRR 07.03.96 (rechts),  
Quelle: DFD/DLR.

## 3.2 Digitales Bildmaterial

### 3.2.1 Satellitendaten

Die verwendeten ERS-Aufnahmen stammen aus der Phase G (Third Multidisciplinary Phase; ab März 1995) mit einer Repetitionsrate desselben Orbits von 35 Tagen. Der Landkreis Göttingen wird von drei Bildrahmen (Frames) erfasst, zwei aus absteigender Umlaufbahn (descending Orbit) und einem aus aufsteigender Umlaufbahn (ascending Orbit), wobei zwei Frames den Landkreis vollständig abdecken und einer die Landkreisfläche mit Ausnahme des östlichen Teils zu ca.  $\frac{3}{4}$  abdeckt.

Das zentrale Testgebiet „Reinshof“ ist in allen drei Frames enthalten, wie Abb. 3–5 zeigt.

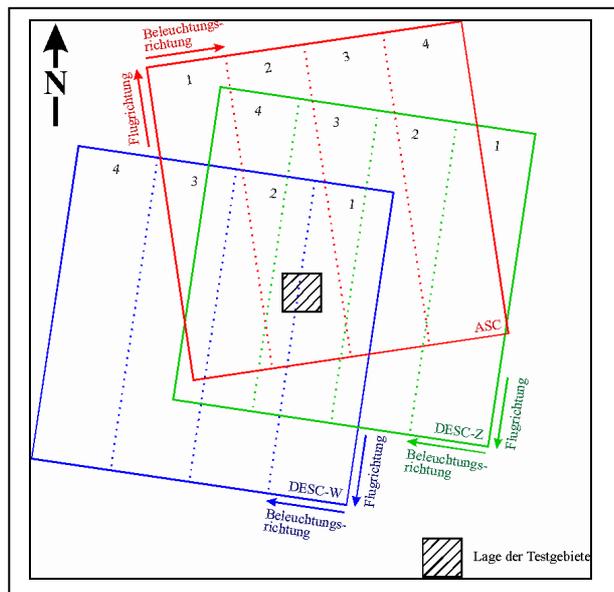


Abb. 3-5: Skizze zur Lage des Testgebietes Reinshof in verschiedenen Bildrahmen.

(1=„Near Range“, 2=„Near Midrange“, 3=„Far Midrange“, 4=„Far Range“)

Bei den ERS-Daten handelt es sich um GTC-Produkte<sup>10</sup> des ERS-1 /-2-SAR. Die nominelle geometrische Auflösung, also die Detailerkennbarkeit, beträgt ca. 33 m in Range und 25 m in Azimuth. Die geometrische Auflösung der Bildelemente (Pixel) nach der Geokodierung entspricht 12,5 x 12,5 m. Die 100 km x 100 km große ERS-Aufnahme hat bei einer radiometrischen Auflösung von 16-Bit (65536 Grauwerte) eine Dateigröße von ca. 200 MBytes.

Die GTC-Aufnahmen sind durch die ausliefernden PAFs<sup>11</sup> bereits geokodiert, ellipsoid- und relief-entzerrt (Bezugsellipsoid: WGS84) und im Multi-Look-Verfahren prozessiert (vgl. ESA 1993, ERS-User Handbook). Zusätzlich zum relief-entzerrten Satellitenbild (GTC01-Produkt) liegt eine Maske vor, die pro Pixel den lokalen Einfallswinkel des einfallenden Radarstrahls auf der Basis eines digitalen Höhenmodells angibt. Diese Information ist in einem 8-Bit-Bildkanal (GIM<sup>12</sup>) codiert (siehe SCHREIER [Hrsg.] 1993). Die Abstufung der Grauwerte vollzieht sich in Vierschritten, die in der Realität einer Änderung der Hangneigung von 2° entspricht.

Auf der Basis des GIM erfolgt die in Kap. 4.3. beschriebene Korrektur reliefbedingter radiometrischer Verzerrungen in den ERS-SAR-Bildern.

<sup>10</sup> Geocoded Terrain Corrected

<sup>11</sup> Processing and Archiving Facilities (D-PAF = Deutschland, UK-PAF = Großbritannien, I-PAF = Italien).

<sup>12</sup> Geocoded Layover, Shadow and Incidence Angle Mask

In Tab. 3–6 sind alle für das Pilotprojekt von der ESA zur Verfügung gestellten ERS-SAR-Aufnahmen aufgelistet. Abbildung 3–6 zeigt als Beispiel eine Farbkomposite aus drei ERS-1-Aufnahmeterminen mit absteigender Umlaufbahn, Abbildung 3–7 zeigt zum Vergleich eine Farbkomposite aus drei ERS-1-Aufnahmeterminen mit aufsteigendem Orbit.

Frame	Datum der Aufnahme	Uhrzeit (UTC)	Orbit	Orbitrichtung
1035	02.04.1995	21:23	19427	asc.
2565	27.04.1995	10:15	19778	desc.
1035	07.05.1995	21:23	19928	asc.
2565	16.05.1995	10:17	20050	desc.
2565	01.06.1995	10:15	20279	desc.
2565	20.06.1995	10:17	20551	desc.
2565	06.07.1995	10:15	20780	desc.
1035	16.07.1995	21:23	20930	asc.
2565	25.07.1995	10:17	21052	desc.
2565	10.08.1995	10:15	21281	desc.
2565	14.09.1995	10:15	21782	desc.
2565	19.10.1995	10:15	22283	desc.
2565	23.11.1995	10:15	22784	desc.
2565	28.12.1995	10:15	23285	desc.
2565	16.01.1996	10:17	23557	desc.
2565	01.02.1996	10:14	23786	desc.
2565	07.03.1996	10:15	24287	desc.
2565	11.04.1996	10:15	24788	desc.
1035	21.04.1996	21:23	24938	asc.
2565	30.04.1996	10:17	25060	desc.
2565	16.05.1996	10:15	25289	desc.
2565	20.06.1996	10:14	25790	desc.
2565	25.07.1996	10:15	26291	desc.
2565	30.08.1996	10:15	07119	desc.

Tab. 3-6: Verwendete ERS-1-Daten (Quelle: ESA-EURIMAGE 1996<sup>13</sup>).

Als Referenzdatensatz liegt eine Landsat/TM-Aufnahme vom 03.05.1995 vor, die den Landkreis Göttingen komplett abdeckt (siehe Abb. 3–8). Dies ist die einzige wolkenfreie optische Aufnahme des Landkreises für die Anbauperiode des Jahres 1995. Darüber hinaus existiert eine Aufnahme vom 29.06.1995, die jedoch den westlichen Teil des Landkreises nicht abbildet.

Die Landsat/TM-Daten sind geometrisch entzerrt und systemkorrigiert (Bezugsellipsoid: Bessel). Zusätzlich stand eine Aufnahme des JERS/1-SAR-Sensors vom 04.07.1995 zur Verfügung (Level-1.1-Produkt). Diese Daten sind teilkalibriert, d. h. es wurde eine Kompensation des Dynamikabfalls in Aufnahmerichtung (Range-Bereich) sowie eine Korrektur des Antennendiagramms bei der Prozessierung durchgeführt. Level-1.1-Daten sind nicht geokodiert und enthalten noch geoid- und reliefbedingte Verzerrungen.

<sup>13</sup> Die Informationen wurden dem Programm "DESC-W" V. 2.0 (ESA-Eurimage 1996) entnommen.

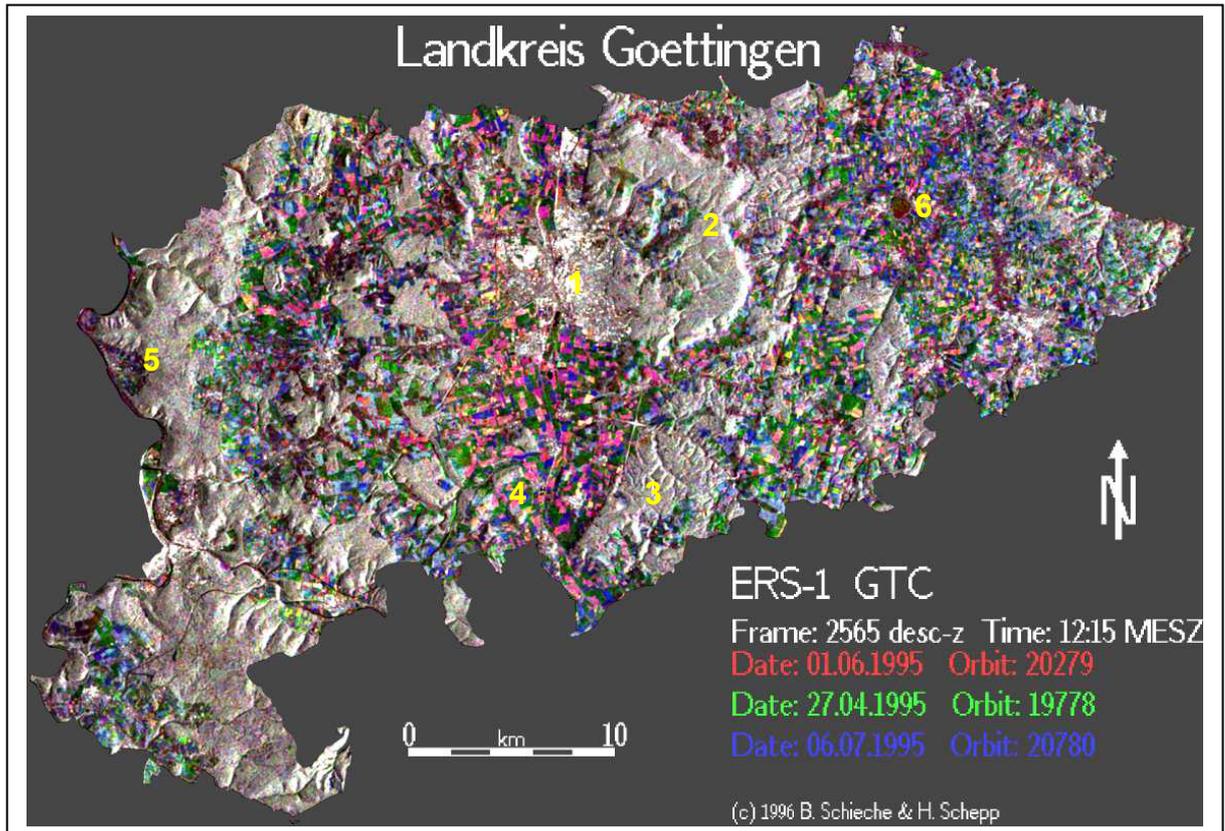


Abb. 3-6: ERS-1-Farbkomposite (Roter Kanal=01.06.95; grüner Kanal=27.04.95; blauer Kanal=06.07.95) bei absteigender ERS-Umlaufbahn des Landkreises Göttingen.

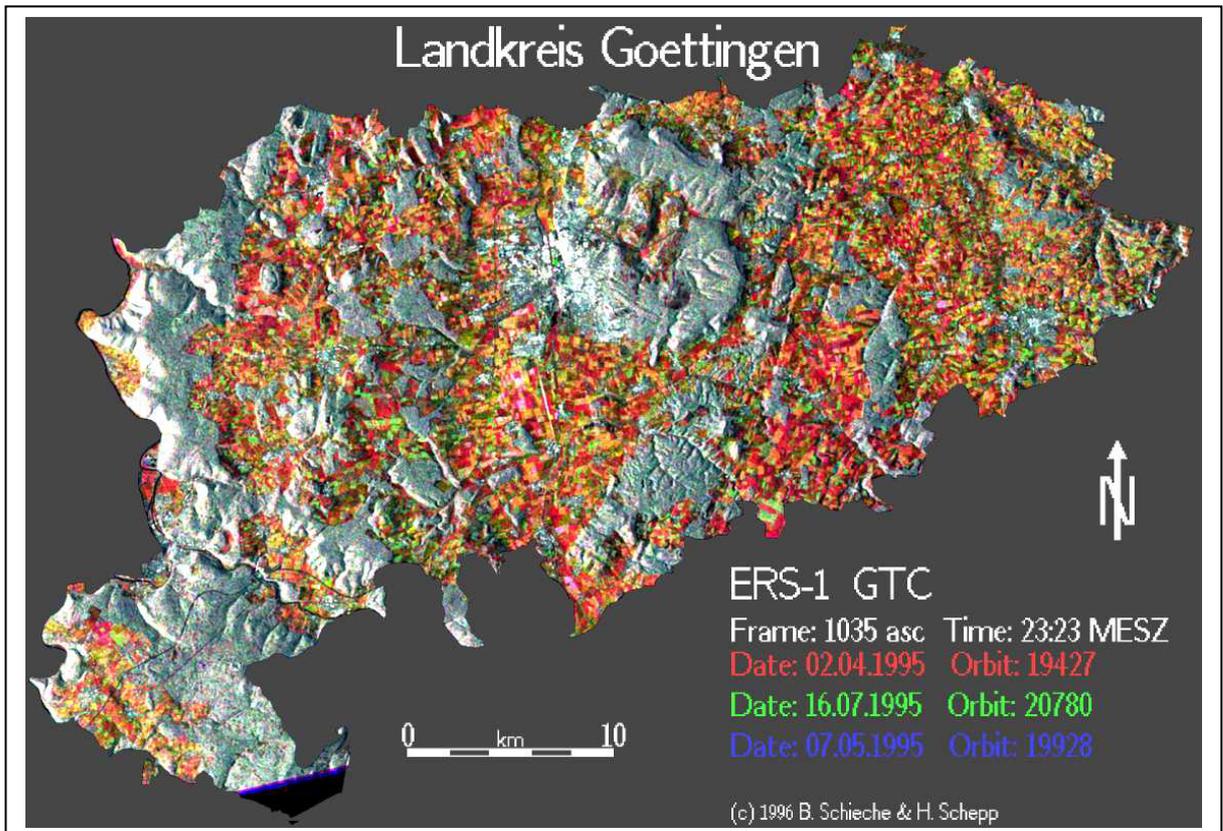


Abb. 3-7: ERS-1-Farbkomposite (Roter Kanal=02.04.95; grüner Kanal=16.07.95; blauer Kanal=07.05.95) bei aufsteigender ERS-Umlaufbahn des Landkreises Göttingen.

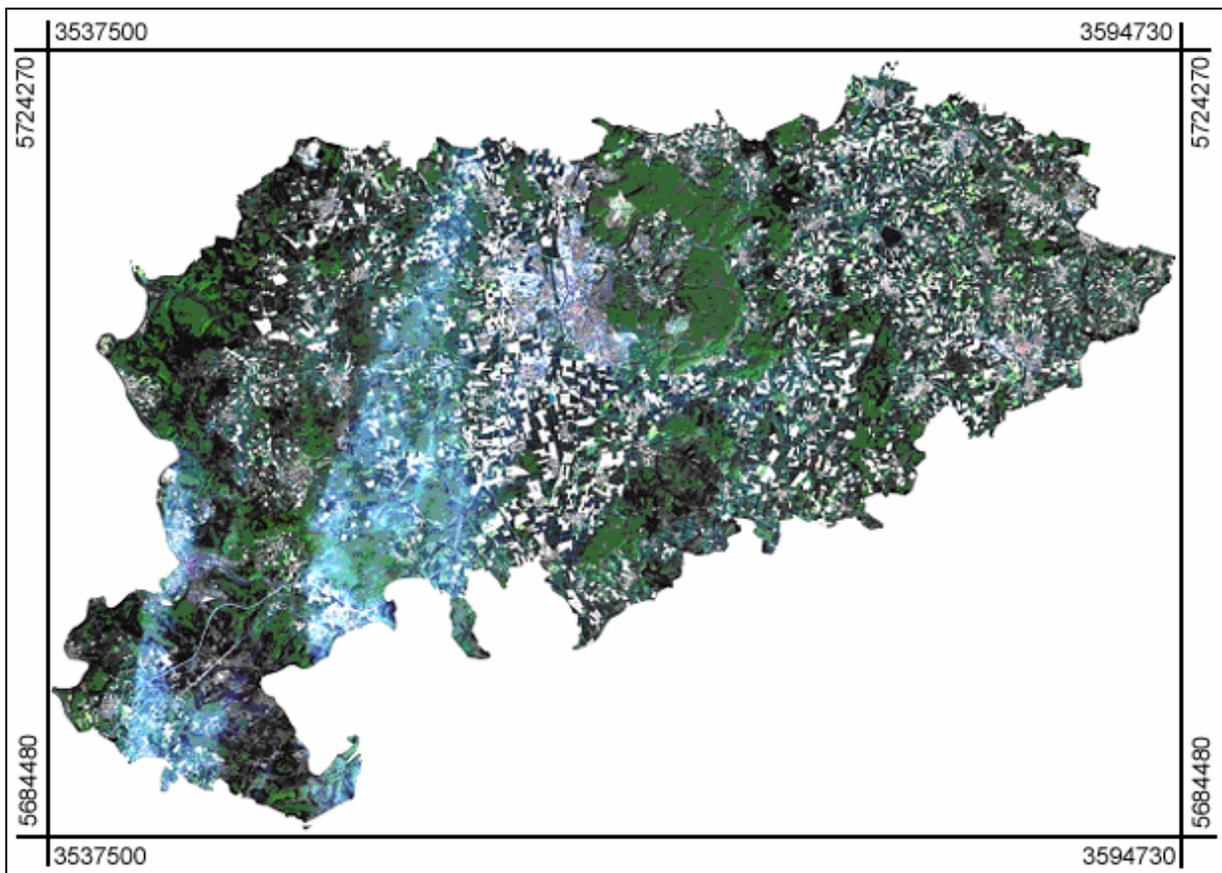


Abb. 3-8: Landsat/TM-Farbkomposite (Echtfarbdarstellung; Kanal 3/2/1) des Landkreises.

Die Daten des japanischen J-ERS-1 sind mit den ERS-1-SAR-PRI-Daten vergleichbar und wurden ebenfalls einer 3-Look-Prozessierung unterzogen.

Diese Daten dienen vor allem zur Abgrenzung nicht-landwirtschaftlich genutzter Flächen. Eine Auswertung im Sinne der Arbeitsziele wird nicht angestrebt, da die beschränkte Eignung von monopolarisierten L-Band-Daten für die Differenzierung landwirtschaftlicher Nutzflächen bereits von KLINGSÖHR (1997) sowie von SPÖNEMANN & SCHIECHE (1996) dargelegt wurde.

### 3.2.2 Ergänzungsdaten

Die Satellitenbilder sind durch einen Vektordatensatz überlagert werden, der für das Testgebiet Reinshof und die Kontrollgebiete Weende Nord und Weende Ost die Schlaggrenzen der landwirtschaftlichen Nutzflächen enthält. Die Basis für die Vektordaten bilden Kartenblätter der DGK5 (Deutsche Grundkarte 1:5.000). Ergänzende Informationen zur Kartenaktualisierung wurden den vorliegenden Satellitenbildern entnommen.

Zusätzlich liegen digitale Karten in den Maßstäben 1:500.000, 1:100.000 und 1:25.000 vor, die entweder auf dem freien Markt erhältlich oder durch die Niedersächsische Landesverwaltung (Abt. Landesvermessung) zur Verfügung gestellt worden sind.

In den Randbereichen des Landkreises wird das digitale Kartenmaterial durch gescannte analoge Karten ergänzt. Einen vollständigen Überblick über die verwendeten Karten gibt das Kartenverzeichnis (siehe Anhang).

## 4 Systemparameter als Faktoren der Radarrückstreuung

An dieser Stelle sollen nur einige ausgewählte Sensorparameter (Abb. 4-1), die für die Erfassung und Auswertung landwirtschaftlicher Flächen wichtig sind, kurz erläutert werden. Weiterführende Informationen zu den allgemeinen Grundlagen des Radarverfahrens finden sich in den Publikationen u. a. bei: ULABY (1981, 1986 a, b & 1989); KRONBERG (1985), Sabins (1978), SCHANDA (1986), KRAUS et al. (1988), SCHREIER [Hrsg.] (1993), LILLESAND & KIEFER (1994), FREEMAN (1996) und HENDERSON et al. (1998).

In Abb. 4-1 sind die wichtigsten Sensorparameter abgebildet, die Einfluß auf den Radarrückstreuoeffizienten von SAR-Radarsystemen haben.

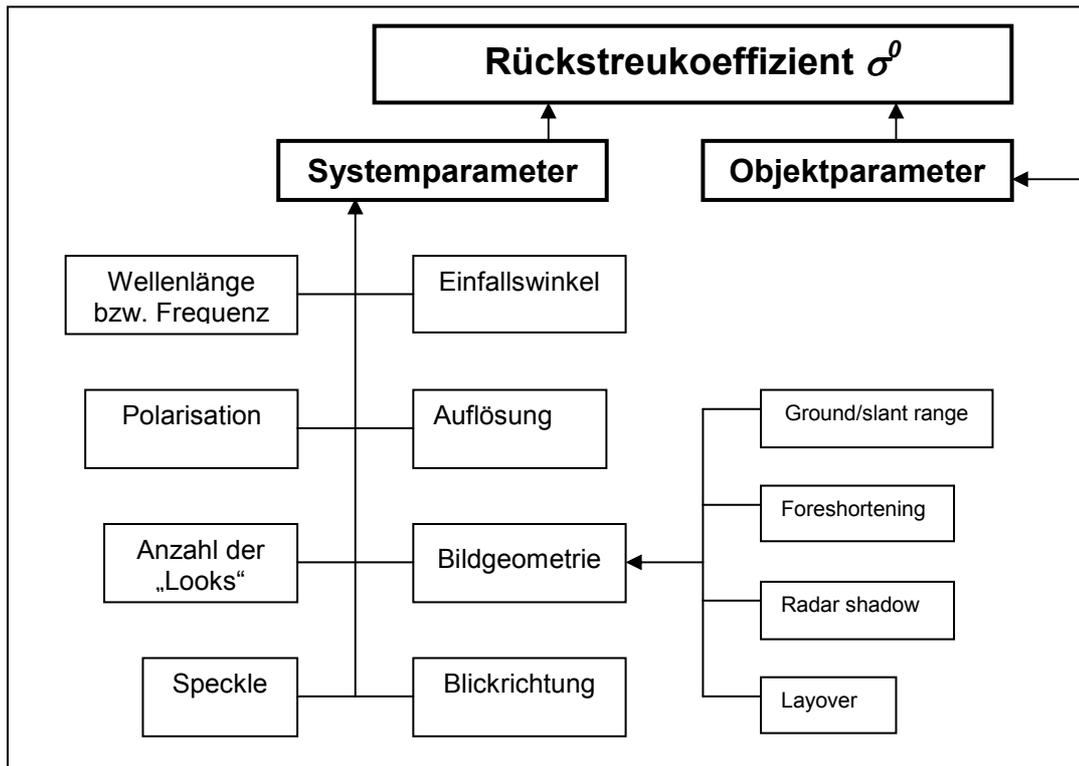


Abb. 4-1: Systemparameter als Einflussfaktoren der Radarrückstreuung (erstellt nach HENDERSON et al. 1998).

### 4.1 Einfallswinkel

Der Einfallswinkel  $\theta$  ist definiert als der Winkel zwischen der Radarantenne und der lokalen Vertikalen. Beim ERS-1/-2 SAR-Sensor beträgt der Einfallswinkel im Mittelpunkt der Aufnahme ca.  $23^\circ$  (Abb. 4-2). Generell ist festzuhalten, dass mit zunehmendem Einfallswinkel in Richtung „far range“ die Intensität der Rückstreuung zur Antenne abnimmt.

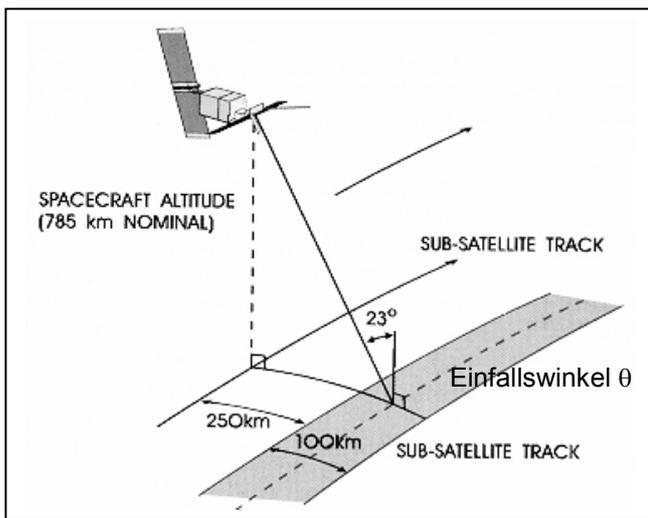


Abb. 4-2: ERS Bahnparameter bei SAR Image Mode (aus: ESA 1993:23).

Durch die seitliche Beleuchtung mittels der Radarantenne kommt es somit innerhalb der ca. 100 km breiten Aufnahmen auch bei ebenen Erdoberflächen zu unterschiedlichen Einfallswinkeln. Dadurch wird der Bereich des „near range“ mit einem Einfallswinkel von ca. 19° von der vertikalen Achse beleuchtet, der Bereich des „far range“ mit ca. 27° (Abb. 4-3).

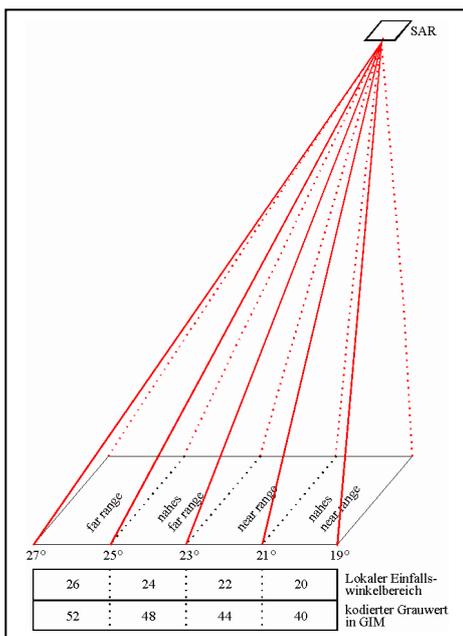


Abb. 4-3: Einfallswinkel der ERS-Radarwellen und Grauwertkodierung der „Range“-Bereiche im GIM.

Dies ist sowohl im Vorfeld der Erstellung von Temporalsignaturen für landwirtschaftliche Schläge in unterschiedlichen „Range“-Bereichen als auch für präzise Klassifikationen zu berücksichtigen und – falls möglich - mittels einer radiometrischen Reliefkorrektur zu korrigieren (siehe Kap. 5.3). Bei der Durchdringung von Pflanzenbeständen ist hinsichtlich des Einfallswinkels  $\theta$  und dem durch das Relief hervorgerufenen lokalen Einfallswinkel  $\theta^1$  (siehe Abb. 5-2) folgendes zu berücksichtigen (STEINGIESSER & KÜHBAUCH 1998): bei flachen Einfallswinkeln und somit vermehrt seitlicher Beleuchtung wird die Rückstreuung überwiegend vom Bestand geprägt. Bei steileren Einfallswinkeln wird hingegen vermehrt der Boden von den Radarwellen erreicht und beeinflusst die Rückstreuung zunehmend.

## 4.2 Frequenz und Wellenlänge

Die Radarwellenlänge  $\lambda$  und die Frequenz  $f$  stehen über die Lichtgeschwindigkeit  $c$  in Beziehung miteinander.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Für das Eindring- und Durchdringungsvermögen von Mikrowellen in Oberflächen bestimmter Dichte ist die Frequenz von entscheidender Bedeutung: je länger die Wellenlänge, desto niedriger die Interaktion mit der Umgebung und desto größer die Eindringtiefe.

Als Faustregel für das Eindringvermögen gibt KRONBERG (1985) die halbe Wellenlänge an. HENDERSON et al. (1998:163) schlußfolgern: der Wert der Eindringtiefe mittels Mikrowellen ist gleich der Wellenlänge. Beim ERS-1/-2 mit 5,3 cm demnach zwischen ca. 2,5 cm und ca. 6 cm.

Für Untersuchungen zur Bodenfeuchte während der ERS-Aufnahmen im mitteleuropäischen Klima ist somit eine Entnahmetiefe der Bodenproben von ca. 5 cm bis max. 10 cm ausreichend. Generell vermindert sich mit zunehmendem Feuchtigkeitsgehalt der entsprechenden Materie das Eindringvermögen von Mikrowellen.

Bandbezeichnung	Nomineller Frequenzbereich	Spezieller Frequenzbereich für Radar <sup>14</sup>	Wellenlänge $\lambda$ in cm
VHF	30 MHz-300 MHz	138 MHz-255 MHz	77,0 – 200,0
P (UHF)	300 MHz-1000MHz	420 MHz-942 MHz	30,0 - 77,0
L	1000 MHz-2000 MHz	1215 MHz-1400 MHz	15,0 – 30,0
S	2000 MHz-4000 MHz	2300 MHz-3700 MHz	7,5 – 15,0
<b>C</b>	<b>4000 MHz-8000 MHz</b>	<b>5250 MHz-5925 MHz</b>	<b>3,8 – 7,5</b>
X	8000 MHz-12000 MHz	8500 MHz-10680 MHz	2,4 – 3,8
Ku	12.0 GHz-18 GHz	13.4 GHz-17.7 GHz	1,7 - 2,4
K	18 GHz-27 GHz	24.05 GHz-17.7 GHz	1,2 – 1,7
Ka	27 GHz-40 GHz	33.4 GHz-36.0 GHz	0,8 – 1,2

Tab. 4-1: Buchstabenbezeichnung und Wellenlänge der wichtigsten Radarfrequenzen (verändert nach: SKOLNIK et al. 1990); Frequenz des ERS-1/2 **fett** hervorgehoben).

Das Spektrum der Mikrowellen wird in definierte Bandbereiche<sup>15</sup> unterteilt. In Tab. 4-1 sind die Bezeichnungen der Standardbandbezeichnungen mit den Frequenzbereichen und Radar-Wellenlängen aufgestellt.

<sup>14</sup> Basierend auf der Zuweisung durch die International Telecommunications Union (ITU).

<sup>15</sup> Die Bezeichnung der Bänder mit Buchstaben wurde aus Geheimhaltungsgründen seitens der US-Amerikaner im Zweiten Weltkrieg eingeführt und dann später übernommen (SKOLNIK 1990).

### 4.3 Polarisation

Die Polarisation beschreibt die Orientierung der elektrischen Feldkomponente einer elektromagnetischen Welle, dabei wird die Ebene der Polarisation durch das elektrische Feld festgelegt. Abbildende Radarsysteme können unterschiedliche Konfigurationen der Polarisation nutzen. Meistens werden die Polarisations-Konfigurationen VV, HH (Gleich- bzw. „Like“-Polarisiert) sowie HV und VH (Kreuz- bzw. „Cross-Polarisiert) verwendet (Abb. 4-4). Die SAR-Antenne des ERS-1/-2 ist bei einer VV-Polarisation linear konfiguriert (vertikale Sendung und vertikaler Empfang der Radarwellen).

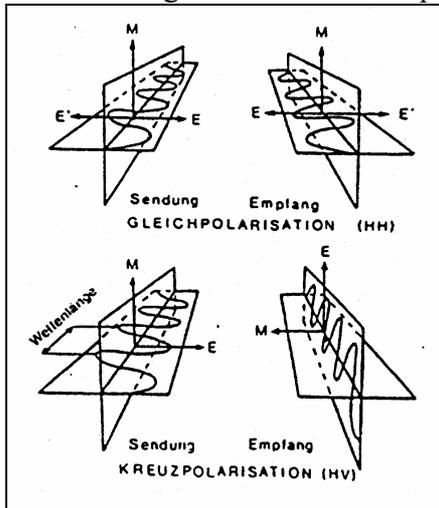


Abb. 4-4: Beispiele linearer Gleich- und Kreuz-Polarisation (aus: ENDLICHER 1982).

Laut ALLEN & ULABY (1984), FERRAZOLI & GUERRIERO (1994) sowie STEINGIESSER & KÜHBAUCH (1998) reagieren vertikale Radarwellen vornehmlich auf vertikale Objektstrukturen. So treten die VV-polarisierten Radarwellen des ERS-1/-2 verstärkt mit den vertikal orientierten Pflanzenstengeln, z. B. des Wintergetreides in Interaktion (vgl. HAWLITSCHKA et al. 2001). Dahingegen reagieren horizontal polarisierte Wellen, beispielsweise die des kanadischen RADARSAT<sup>16</sup> (C-HH), vermehrt auf die eher horizontal ausgerichteten Pflanzenkomponenten (z. B. Blätter).

Generell ist festzuhalten, dass bei VV-Polarisation vorwiegend die Vegetation das Radarsignal beeinflusst, während bei HH-Polarisation der Boden den entscheidenden Beitrag zur Rückstreuung liefert. Bei vertikaler Polarisation können die Radarwellen laut SCHMULLIUS (1992) besser an die ebenfalls vornehmlich vertikal ausgerichteten Halme, z. B. des Wintergetreides, ankoppeln. Dadurch erfährt das parallel zur Zylinderachse ausgerichtete elektrische Feld eine erhöhte Dämpfung bzw. Absorption. Die Rückstreuung zur Antenne fällt wesentlich geringer aus. Dies wird bei der Auswertung der Temporalsignaturen von Wintergetreiden (Kap. 9.1.2) deutlich.

Allgemein wird der Polarisationszustand der emittierten und der empfangenen Radarwelle durch den Orientierungs- und den Elliptizitätswinkel bestimmt. Der große Vorteil multipolarimetrischer Systeme ist, dass sie Informationen von verschiedenen Schichten zu untersuchender Objekte liefern können, da die Eindringtiefe der Radarwellen mit der gewählten Polarisation variiert. Durch die eingeschränkte, monopolarisierte Antennenkonfiguration des ERS-1/-2 hat dies für die Untersuchungen zur landwirtschaftlichen Nutzung innerhalb dieser Arbeit keine weitere Bedeutung.

<sup>16</sup> vgl. dazu: YAKAM-SIMEN et al. (1999).

## 5 Methoden der Aufbereitung des Satellitenbildmaterials

Die Aufbereitung und Analyse des Satellitenbildmaterials erfolgt in zwei unterschiedlichen Betrachtungsebenen:

1. Landkreis: Aus den ERS/1-SAR-Vollszene wurde für die Bilder des zentralen absteigenden und aufsteigenden Flugstreifens je ein Bildausschnitt erfaßt, der den Landkreis Göttingen komplett abdeckt. In dem Bildausschnitt des westlichen Bildstreifens ist der östliche Teil des Landkreises (östlich der Luftlinie Gieboldehausen / Duderstadt, vgl. Abb. 3-5) jedoch nicht erfaßt.
2. Testgebiet: Der Großteil der Untersuchungen zur Aufbereitung und Auswertung des Bildmaterials ist auf einen Ausschnitt mit einer Kantenlänge von 8 x 8 km (6.400 ha) entsprechend einer Bildgröße von 640 x 640 Bildelementen beschränkt, der als Klassifikationsbasis diente. Innerhalb dieses Ausschnittes liegt das Testgebiet Reinshof (vgl. Abb. 2-2).

### 5.1 Geo-Kodierung / Ko-Registrierung

Die multitemporale und multisensorale Auswertung des Satellitenbildmaterials erfordert eine möglichst genaue relative Entzerrung (Ko-Registrierung) der Bilder untereinander, sowie die Anpassung aller Bilder an eine einheitliche Referenzgeometrie (absolute Entzerrung / Geokodierung).

Die ERS-Daten liegen zwar in geokodierter Form vor, sind aber auf ein UTM-Netz bezogen. Die absolute Entzerrung aller Satellitendaten erfolgte jedoch auf den Gauss-Krüger-Kartennetzentwurf (Bezugsellipsoid: Bessel) auf Grundlage der Topographischen Karte 1:50.000. Als Referenzdatensatz wurde die radiometrisch hochauflösende ERS-Szene vom 06.07.1995 gewählt, da diese auf Grund der fortgeschrittenen Phänologie der überwiegend landwirtschaftlichen Nutzung im Untersuchungsgebiet die besten Kontraste bot.

Alle anderen Satellitenbilder wurden durch die Ko-Registrierung pixelgenau überlagert und an diese Referenzgeometrie angepaßt. Das Resampling erfolgte hierbei nach dem Verfahren der „nächsten Nachbarschaft“, wobei im Gegensatz zu anderen Resampling-Methoden die radiometrischen Eigenschaften des Eingabebildes erhalten bleiben, also die Grauwerte nicht verändert werden. Der Informationsgehalt für eine spätere Analyse des Bildmaterials wird somit nicht verfälscht.

Für jedes Satellitenbild (Teilszene ca. 5000 x 5000 Pixel) wurden zwischen 20 und 30 Paßpunkte - möglichst gleichmäßig über das Bild verteilt - ausgewählt, für die ein Transformationspolynom 3. Ordnung errechnet wurde (TEX & STIES 1993). Für den durchschnittlichen Meßfehler (rms-Fehler) wurde ein Wert  $< 0,5$  festgelegt, d. h. die Ungenauigkeiten bei der geometrischen Anpassung liegen im Subpixelbereich.

## 5.2 Ermittlung des Rückstreukoeffizienten $\sigma^0$

Der Rückstreukoeffizient  $\sigma^0$ <sup>17</sup> repräsentiert die mittlere Reflektivität einer Bodenzelle ( $A_p$ ), die auf eine horizontale Ebene bezogen ist (HENDERSON et al. 1998:33). Diese in der Literatur auch als Radarrückstreuquerschnitt benannte Größe ist - anders ausgedrückt - ein Maß dafür, welche Menge der ausgesendeten Energie zur Antenne zurückgestreut bzw. reflektiert wird (ULABY et al. 1981). Da in der Fernerkundung in erster Linie nicht isolierte Punktziele, sondern Flächenziele betrachtet werden, ist es üblich, den Radarrückstreuquerschnitt auf eine Fläche zu beziehen.

Die Beziehung zwischen der ausgesandten Leistungsdichte und dem empfangenen Signal eines monostatischen Radars mit Synthetischer Apertur, dessen Sende- und Empfangsantenne identisch sind, kann mit Hilfe der Radargleichung formuliert werden. Diese lautet nach FREEMAN (1996) bezogen auf einen Punktstreuer:

$$SNR = \frac{S}{N_0} = \frac{P_t \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma \cdot PRF}{(4\pi)^3 \cdot R^3 \cdot N_0 \cdot 2V\rho_a}$$

mit:

SNR	:	Signal-Rausch-Verhältnis (signal-to-noise ratio)
S	:	Empfangenes Signal
$N_0$	:	Rauschen (noise)
$P_t$	:	Ausgesandte Leistungsdichte (transmitted power density)
G	:	Antennengewinn (antenna gain)
$\lambda$	:	Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung
$\sigma$	:	Radarrückstreuquerschnitt des Punktziels
PRF	:	Pulswiederholfrequenz (pulse repetition frequency)
R	:	Schrägentfernung (slant-range distance) Antenne-Ziel
V	:	Geschwindigkeit der Plattform
$\rho_a$	:	Auflösung in Azimuth

Die in dieser Form dargestellte Radargleichung beschreibt das empfangene Signal als eine Funktion, die sowohl von der Systemkonfiguration als auch von der Charakteristik des Objekts, dem Rückstreuquerschnitt, abhängt. Sie wird aber auch vom systembedingten und thermischen Rauschen beeinflusst.

$$\sigma^0 = \frac{\sigma}{A_p}$$

$\sigma^0$	:	Normalisierter Radarrückstreuquerschnitt „Sigma Null“
$A_p$	:	Auflösungsfläche

<sup>17</sup> Sprich „Sigma Null“, im Englischen: „Sigma nought“.

Um eine quantitative Analyse der Radarbilder verschiedener Aufnahmetermine, z. B. für die Erstellung von Temporalsignaturen zu ermöglichen, ist die Ableitung aus dem 16-Bit-Format der digitalen Bildgrauwerte der ERS-Daten auf eine einheitliche Bezugsbasis notwendig.

Die spezielle Umrechnung der ERS-Daten in  $\sigma^0$ -Werte erfolgte auf Grundlage der Anleitung von LAUR et al. (1997 & 1998):

Der Rückstreukoeffizient ist proportional zum Quadrat des Bildgrauwertes und abhängig von der Kalibrationskonstante K. Die Normierung auf die Bodenpixelfläche kann entweder unter der Annahme einer Ebene, auf der Grundlage eines Ellipsoids oder eines digitalen Geländemodells (DGM) durchgeführt werden. Für die vorliegende Arbeit stand, wie in Kap. 5.3 näher ausgeführt wird, ein DGM zur Verfügung. Die Anpassung an die Aufnahmegeometrie erfolgt über das Verhältnis zwischen dem Referenzwinkel  $\alpha_{ref}$  ( $=23^\circ$ ) und dem lokalen Einfallswinkel  $\alpha$ . Dieser wird, falls verfügbar, für jeden Bildpunkt berechnet. Für den dimensionslosen normierten Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  gilt damit in Anlehnung an LAUR (1997 & 1998):

$$\sigma^0 = \frac{DN^2 \cdot \sin \alpha}{K \cdot \sin \alpha_{ref}}$$

$DN$	=	Grauwert der Amplitudenbilder
$\alpha$	=	lokaler Einfallswinkel
$\alpha_{ref}$	=	Referenz-Einfallswinkel ("mid-range"-Einfallswinkel)

Soll der Rückstreukoeffizient nicht pixelweise, sondern auf eine Fläche bezogen berechnet werden, müssen die Quadrate der Bildgrauwerte  $DN^2$  und der lokale Einfallswinkel  $\sin \alpha$  für alle Pixel der zu betrachtenden Fläche gemittelt werden:

$$\sigma^0 [dB] = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i,j=1}^{i,j=n} (DN_{ij}^2 \cdot \sin \alpha) / K \cdot \sin \alpha_{ref} \right)$$

$n$	=	Anzahl der Pixel einer betrachteten Fläche
$ij$	=	Spalte und Zeile des Pixels innerhalb der Fläche
$DN_{ij}$	=	Grauwert des Pixels an der Stelle $(i,j)$

Aufgrund des großen Dynamikbereiches wird der dimensionslose Rückstreukoeffizient  $\sigma^0$  nicht linear, sondern logarithmisch in deziBel [dB] angegeben.

$$\sigma^0 [dB] = 10 \cdot \text{LOG}_{10}(\sigma^0)$$

Auf eine detailliertere Beschreibung der Herleitung des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  wird an dieser Stelle verzichtet und auf entsprechende Fachliteratur verwiesen (z. B. FREEMANN 1996; HENDERSON et al. 1998).

### 5.3 Radiometrische Reliefkorrektur

Bedingt durch die Aufnahmegeometrie eines Seitensichtradars spielen die Neigung und die Exposition des Geländes in Bezug auf die beleuchtende Radarantenne bei der Rückstreuung eine wesentliche Rolle (HENDERSON 1998:133ff, KRONBERG 1985). Dem Sensor zugewandte Geländeabschnitte gleicher Nutzung weisen eine höhere Rückstreuintensität auf als abgewandte Bereiche und werden im Radarbild entsprechend überhellt dargestellt.

Zur Verdeutlichung dieses Effekts wurde von drei Rapsschlägen im Testgebiet mit identischer Bearbeitungsrichtung der Rückstreuoeffizient zu jedem ERS-1-Aufnahmeterrn ermittelt und in Abbildung 5-1 dargestellt (Details in Abb. A20 & A21). Die Exposition des Schlages Nr. 500s ist vornehmlich süd-östlich exponiert ( $10^\circ$  bis  $190^\circ$ ), Schlag Nr. 254 ist vornehmlich nord-westlich exponiert ( $190^\circ$  bis  $10^\circ$ ). Der dritte Schlag (Nr. 42) ist nahezu eben und weist somit keine Exposition auf. Bei einer Beleuchtungsrichtung des Radarsatelliten aus ungefähr östlicher Richtung ( $98,5^\circ$ ) bei absteigender Umlaufbahn, liegen somit ein zugewandter, ein abgewandter und ein indifferenter Schlag vor. Die Hangneigung der beiden exponierten Schläge beträgt  $4^\circ$  bis  $6^\circ$  (vgl. JANBEN 1997).

Im Mittel trifft das ERS-Radarsignal mit einem Winkel von  $67^\circ$  zur Horizontalen auf eine Ebene. Der lokale Einfallswinkel auf den mit  $6^\circ$  geneigtem, zugewandten Schlag bzw. Hang beträgt somit  $73^\circ$ , für den mit  $4^\circ$  abgewandten Schlag nur  $63^\circ$ .

Die durch die Meßperiode hindurch trotz wechselnder Reflexionsbedingungen gleichsinnigen Änderungen zeigen die Auswirkung der Hangneigung und Exposition auf die Reflexionsstärke an. Wie eine größere Anzahl von Messungen ergeben hat, wirkt sich dieser Faktor in einer Größenordnung von 1 bis 2 dB aus (vgl. SCHEPP 1996).

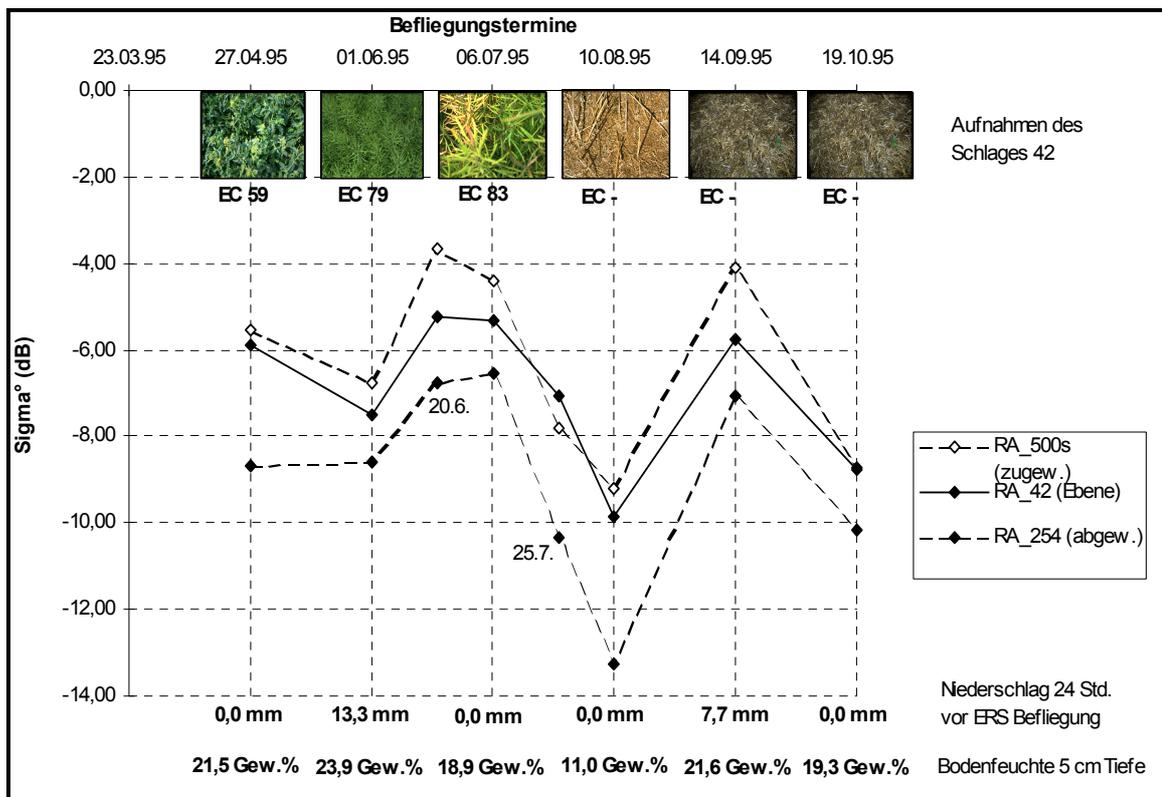


Abb. 5-1: Auswirkungen der Exposition und Hangneigung am Beispiel der Verlaufssignaturen von Rapsschlägen bei absteigener Satellitenbahn.

Diese radiometrische Verzerrung soll sowohl für eine bessere Vergleichbarkeit der Temporal-signaturen als auch für eine höhere Klassifikationsgenauigkeit durch die Einbeziehung des lokalen Einfallswinkels bei der Berechnung des Grauwertes für jedes Pixel korrigiert werden.

Der lokale Einfallswinkel ist definiert als der Winkel  $\alpha$  zwischen der Flächennormalen  $n$  eines Rückstreuerelementes und der Richtung  $s$  der einfallenden Radarstrahlen (Abb. 5-2). Bei einer horizontalen Reflexionsoberfläche sind der Einfallswinkel und der lokale Einfallswinkel identisch. In dem lokalen Einfallswinkel ist somit das Relief der Erde mit berücksichtigt.

Diese Information kann der GIM-Maske entnommen werden, die entsprechend den SAR-GTC-Daten auf ein Geländemodell bezogen entzerrt, geokodiert und ko-registriert ist. Der lokale Einfallswinkel ist in der GIM-Maske so kodiert, dass sich  $\alpha$  ergibt durch:

$\alpha = \frac{DN_{GIM}}{2}$		
$\alpha$	=	lokaler Einfallswinkel
$DN_{GIM}$	=	Pixel-Grauwert der GIM-Maske

Dieser Wert geht als regionale Konstante in die Berechnung des Rückstreuoeffizienten  $\sigma^0$  ein (siehe Gleichung 2).

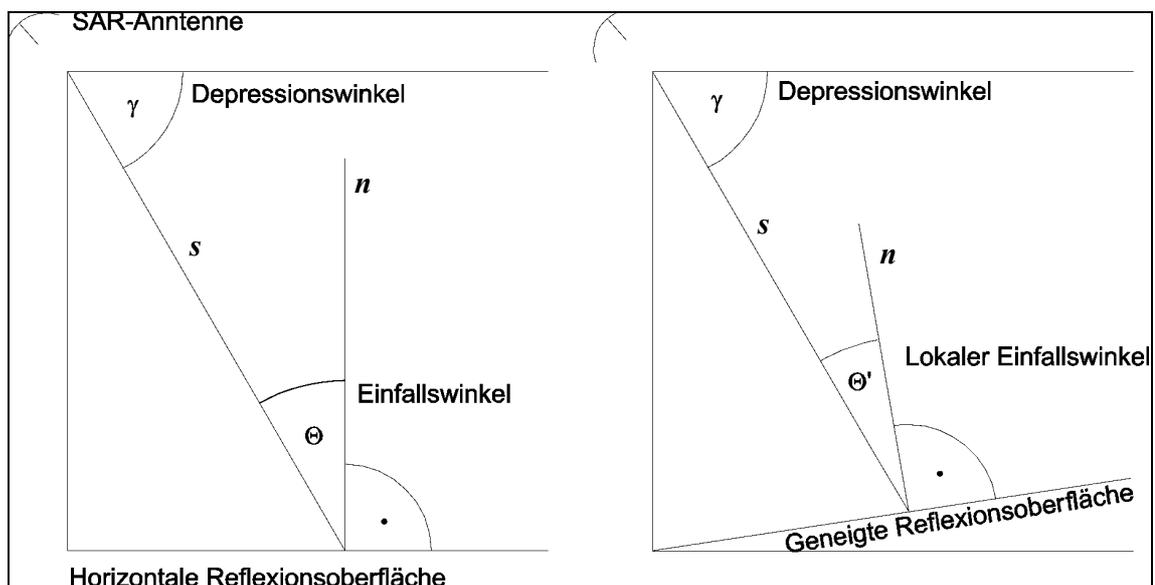


Abb. 5-2: Geometrische Konstellation von SAR-Sensor und Reflexionsoberfläche (verändert nach HOFFMANN 1998: 16).

#### **5.4 Speckle-spezifische Filterung der Satellitenbilder**

In der Bildverarbeitung dienen Filter dazu, Störungen im Bild zu unterdrücken. In Radarbildern sind dies insbesondere Störungen, die durch das "Speckle-Rauschen" hervorgerufen werden.

Als „Speckle“ wird eine körnige Bildstruktur bezeichnet, die bei allen mit kohärenter Strahlung aufgenommenen Bildern auftritt. Sie wird verursacht durch Interferenzerscheinungen, bei denen sich Wellenzüge durch Überlagerung zufällig auslöschen oder sich so überlagern, dass Interferenz-Maxima, also sehr helle Punkte im Bild, entstehen (KRAUS 1988). Das Resultat sind kleinräumige Helligkeitsvariationen im SAR-Bild, die auch in ansonsten homogenen Objektoberflächen auftreten und eine Interpretation und Klassifikation des Bildmaterials erschweren. Es handelt sich bei diesem Effekt jedoch nicht um ein Zufallsprodukt, da eine identische Aufnahmeconfiguration immer zu demselben Specklemuster führen würde, weshalb der Begriff "Rauschen" im statistischen Sinn nicht korrekt ist.

Der erste Schritt zur Reduzierung des Speckle-Effektes wird bereits mit der Multi-Look-Prozessierung der ERS-1-SAR Daten vorgenommen. Das Ergebnis ist ein radiometrisch verbessertes Radarbild, mit einer um die Anzahl der gebildeten Segmente verschlechterten geometrischen Auflösung (LILLESAND & KIEFER 1994).

Zum Zweck der kleinräumigen Analyse des Bildmaterials im Hinblick auf die landwirtschaftliche Nutzung müssen jedoch noch weitere specklereduzierende Maßnahmen ergriffen werden. Im Rahmen dieser Arbeit dienen hierzu bildpunktbezogene Filterverfahren, deren Algorithmen bereits in die verwendete Bildverarbeitungssoftware (EASI/PACE) implementiert sind.

Ziel des anzuwendenden Filterverfahrens ist es, das Specklerauschen bei geringstmöglichem Verlust an Informationen des Eingabebildes (Erhaltung von homogenen Flächen, Kanten, linienhaften Elementen oder Punktstreuern, bzw. der Textur des Bildes) soweit wie möglich zu unterdrücken,

Die Auswahl eines Filterverfahrens erfolgt auf Grundlage ausgewählter statistischer Parameter (Mittelwert, Standardabweichung) sowie der visuellen Interpretation für einen Ausschnitt des Testgebietes Reinshof. Getestet wurden verschiedene adaptive (Frost, Lee, Kuan, Gamma-MAP) und nicht-adaptive (Mean, Median) Filteralgorithmen (FROST et al. 1982, KNIPP 1993, LEE et al. 1992).

Innerhalb der ersten Phase der Bildverarbeitung wurden 1995 sämtliche 16-Bit-Radardaten für die visuelle Aufbereitung wie folgt aufbereitet:

1. „Enhanced Frost Filter“ mit 3 x 3 Umgebungsfenster.
2. „Gamma Map Filter“ mit 3 x 3 Umgebungsfenster.
3. „Gamma Map Filter“ mit 5 x 5 Umgebungsfenster.

Die damit erzielten Ergebnisse wurden für die anschließende Bearbeitung der ERS-Aufnahmen für 1996 ausgewertet und führten zu einer Änderung der Auswahl: im ersten Schritt ein Gamma-MAP-Filters mit einer Fenstergröße von 5\*5 Pixeln, wie sie auch KOHL et al. (1994) zur Specklereduzierung für eine anschließende Landnutzungsklassifikation vorschlugen. Als zweiter Schritt erfolgt die Anwendung eines 5\*5-Mean-Filters, um Flächen einheitlicher Nutzung zusätzlich zu glätten.

Die Wirkung des zweistufigen Filtervorgangs ist in Abb. 5-3 dargestellt. Entlang einer Profillinie durch das Testgebiet ist der Grauwertverlauf für verschiedene Nutzungen vor und nach der Filterung abgetragen (vgl. Abb. 5-4). Die Grenzen zwischen den Nutzungen bleiben in zufriedenstellendem Maße erhalten, gleichzeitig erfolgt eine gute Homogenisierung der Flächen. Auch der Punktstreuer innerhalb des Zuckerrübenfeldes (Pixel 45-50) bleibt erhalten (vgl. ERASMI 1997).

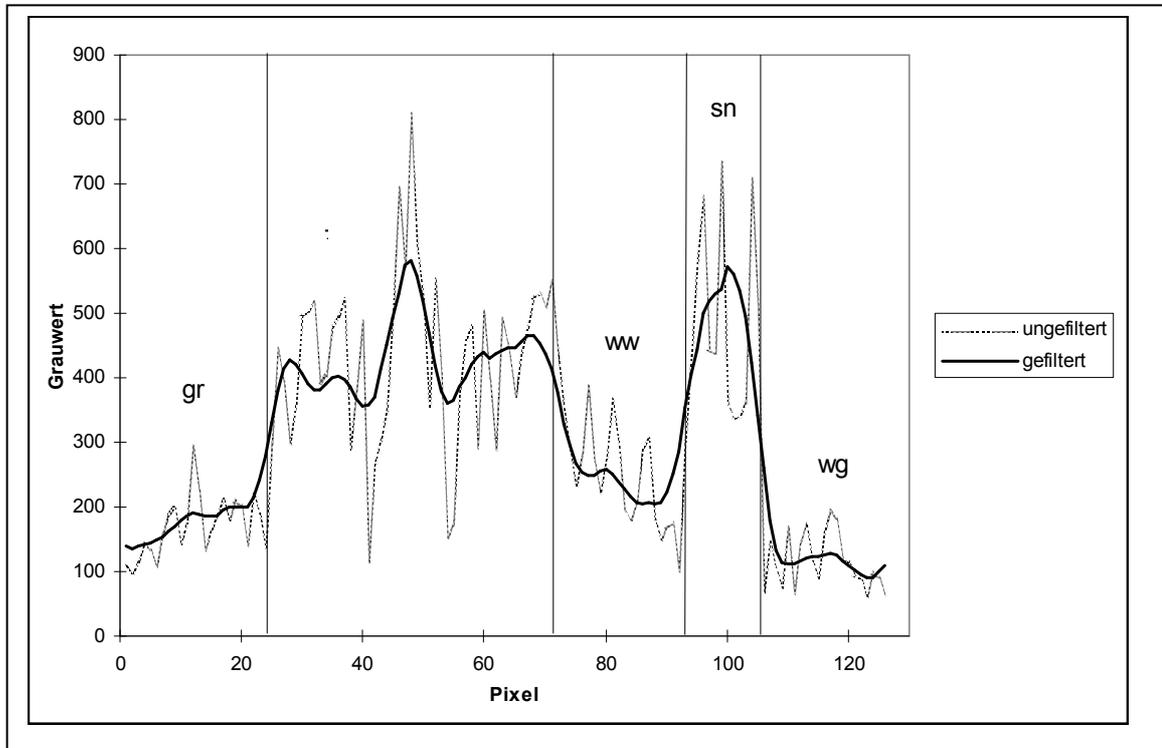


Abb. 5-3: Scattergramm für zweistufige Filterung (5\*5-Gamma-MAP; 5\*5-Mean)

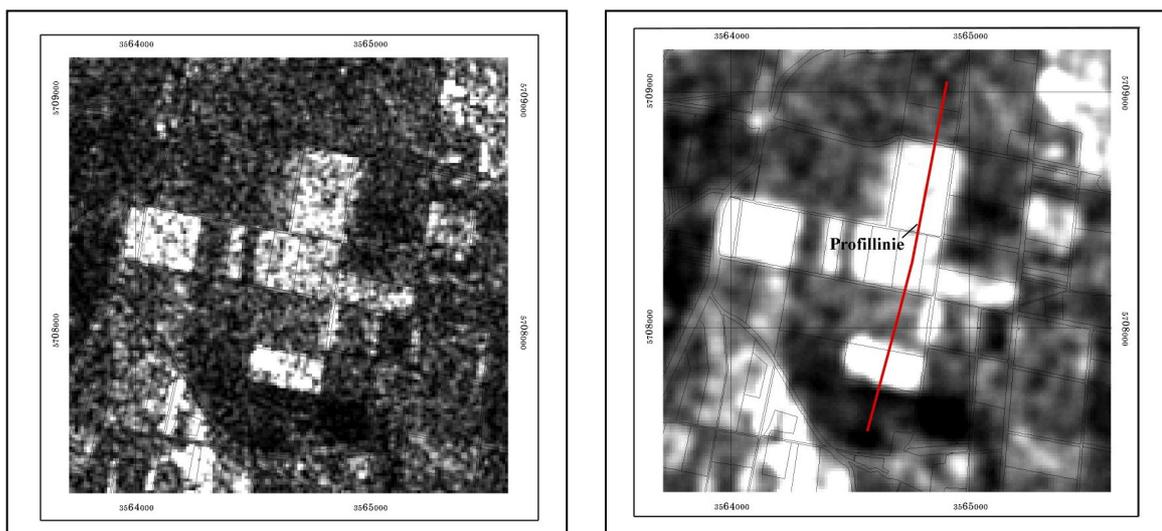


Abb. 5-4: ERS-1-Bildausschnitt (Testgebiet Reinshof, 16.05.1996), ungefiltert (links) und nach Anwendung des zweistufigen Filterverfahrens (rechts).

## **5.5 Datenreduktion**

### **5.5.1 Synthetische Bildkanäle**

Die Verknüpfung multitemporaler SAR-Datensätze durch arithmetische Operationen liefert zusätzliche Informationen, die für die Differenzierung extensiver und intensiver landwirtschaftlicher Nutzungen herangezogen werden können. Außerdem wird untersucht, ob einfache arithmetische Operationen ein brauchbares Mittel zur Datenreduktion einer multitemporalen Serie von Satellitenbildern sein können.

Gewöhnlich wird in einer Landnutzungsklassifikation eine multitemporale Folge von Satellitenbildern kombiniert. Das Ergebnis ist eine Anzahl von "Clustern" ähnlicher Grauwertkombinationen für die ausgewählte Zeitreihe.

Neben diesem Verfahren erfolgt innerhalb des Projektes die Erstellung synthetischer Bildkanäle zur Analyse des multitemporalen SAR-Datensatzes (NEZRY et al. 1995). Die vorliegende Radarbild-Zeitreihe wird durch unterschiedliche Methoden der Verknüpfung der statistischen Parameter für jedes Pixel zu einem mehrkanaligen Komposit komprimiert („Verhältnis-Kanäle“).

Es entsteht ein neuer Datensatz, der Informationen über den Mittelwert der Zeitserie (Mittelwert-Kanal), die Differenz zwischen Minimum und Maximum (Variations-Kanal) und den Zeitpunkt der maximalen Rückstreuung (Maximum-Kanal) enthält. Ziel dieser Operationen ist eine verbesserte Darstellung der Ursachen und der Entwicklung der Radar-Rückstreuung von landwirtschaftlichen Flächen während des Beobachtungszeitraums (vgl. ERASMI 1997).

Dieser Datensatz sollte zunächst isoliert ausgewertet werden, im Laufe der Untersuchungen wurden aber nur einzelne Synthetische Kanäle in den Ansatz der multitemporalen Auswertung integriert (siehe Kap. Klassifikation).

Bei späteren Untersuchungen innerhalb eines BMBF-Projektes zur Erfassung von Zuckerrübenschlügen wurden ebenfalls synthetische Kanäle aus Termindifferenzen (Mai-Juni & Juni-Juli) und Terminadditionen (Mai+Juni+Juli) aus den ERS-Radardaten erstellt. Ihre Verwendung führte allerdings nur zu einer Verbesserung der Klassifikation der Zuckerrübenschlüge von 1% (SCHIECHE et al. 2001).

### **5.5.2 Skalierung**

Die ERS-SAR-Daten werden im sogenannten 16-Bit-unsigned-Format mit einem Wertebereich von 0 bis 65535 geliefert. Dieser Wertebereich wird in den ERS-Bildern jedoch nur zu einem Bruchteil ausgeschöpft. Die Amplitudenwerte der verwendeten ERS-SAR-Daten befinden sich zu 99 % in einer Spanne von durchschnittlich 1000 Grauwerten, weshalb zum Zweck der Datenreduzierung eine Skalierung der Ausgangsdaten sinnvoll ist. Bei einer Skalierung auf einen 8-Bit-Bildkanal werden im vorliegenden Beispiel bei einer linearen Skalierung 3 bis 4 Eingangsgrauwerte zu einem Ausgangsgrauwert zusammengefaßt.

Das Skalierungsmodul der Bildverarbeitungssoftware EASI/PACE arbeitet routinemäßig mit einem Schwellenwert zur Festsetzung des Skalierungsbereiches, der 99,99 % der ursprünglichen Grauwerte verteilt berücksichtigt. Dieser Schwellenwert führt jedoch dazu, dass die wichtigsten Informationen, d. h. der Großteil der Verteilung der Grauwerte auf nur wenige Grauwerte im 8-Bit-Ausgabebild komprimiert würden.

Als Lösungsansatz wurde eine Skalierungsmethode entwickelt, welche die Standardabweichung und den Mittelwert der Grauwertverteilung in die Bestimmung des Skalierungsbereiches miteinbezieht. Dieser ergibt sich aus:

$$\text{Mtw} \pm 3,5 \times \text{Stdv}$$

Diese Form der Abgrenzung des Skalierungsbereiches gewährleistet die individuelle Bearbeitung der jeweiligen Grauwertverteilung eines Bildkanals. Der Informationsverlust gegenüber der Standardskalierung liegt bei ca. 0,5 %, d. h. es werden 99,5 % der ursprünglichen Grauwerte linear skaliert. Das betroffene Grauwertspektrum in den Randbereichen der Verteilung ist jedoch für die Auswertung nicht von Interesse.

Wie gering der Informationsverlust durch die Datenreduktion bei der Skalierung ist, zeigt der exemplarische Vergleich der 16-Bit mit den 8-Bit Daten für eine Profillinie innerhalb des Testgebietes Reinshof (Abb. 5–5).

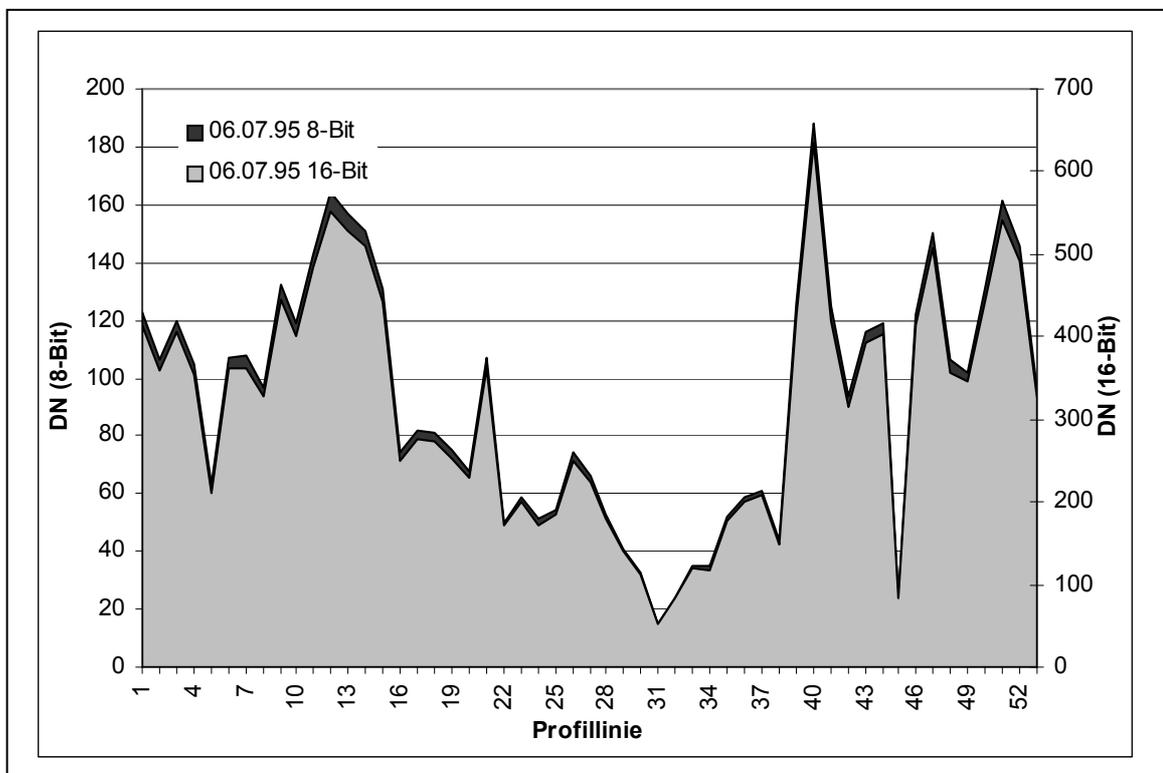


Abb. 5-5: Skalierte und nicht-skalierte Grauwerte entlang einer Profillinie

## 6 Faktoren und Prozesse der Radarrückstreuung von landwirtschaftlich genutzten Oberflächen

Die Analyse des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  bezieht sich in der vorliegenden Untersuchung auf diejenigen Parameter der Pflanze und des Bodens, die im Rahmen der Felderhebungen quantitativ meßbar waren und direkt oder indirekt zur Beschreibung landwirtschaftlicher Nutzungen herangezogen werden können bzw. einen Einfluß auf die Ableitung der Flächennutzung aus Radaraufnahmen haben.

### 6.1 Dielektrizitätskonstante

Der Wassergehalt von Materialien ist in der Radarfernerkundung von grundlegender Bedeutung. Trifft eine elektromagnetische Welle (EM) auf die Grenzschicht zweier unterschiedlich dichter homogener Medien, so kommt es zur Brechung bzw. Reflexion der Welle (Abb. 6-1). Dabei ist der Winkel zur Senkrechten  $\theta$  für die einfallende Welle gleich dem Winkel ( $\theta_a$ ) der reflektierten Welle. Der Teil der Welle, der in das Medium eindringt, wird, sofern dieses dichter ist, gebrochen, wobei der Brechungswinkel  $\theta_i$  und die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c_i$  der gebrochenen Welle kleiner ist als der Einfallswinkel  $\theta$  und die Geschwindigkeit  $c$  der einfallenden Welle.

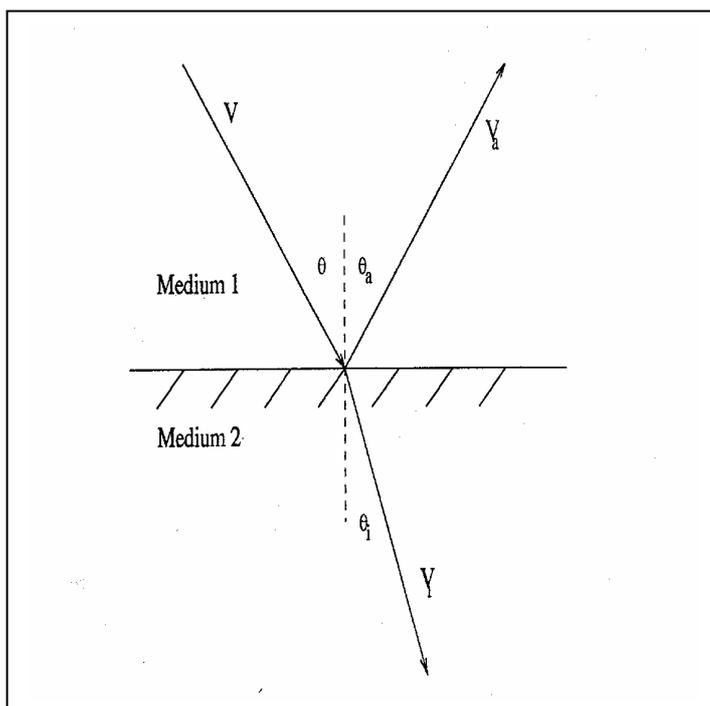


Abb 6-1: Brechung einer Welle (V) an der Grenze zweier Medien mit unterschiedlichen Dichte ( $\theta$ =Einfallswinkel,  $\theta_a$ =Ausfallswinkel,  $\theta_i$ =Brechungswinkel der eindringenden Welle (V<sub>i</sub>), (WEIMANN, 1996:19).

Der relative Brechungsindex ist nur eine der Eigenschaften der beiden Medien als abhängige, dimensionslose Verhältniszahl. Der relative Brechungsindex wird meist auf das Vakuum (Luft) mit einem Brechungsindex von  $\approx 1$  bezogen.

Bei der Betrachtung elektromagnetischer Wellen in der Elektrotechnik wird oftmals nicht der Brechungsindex sondern die sogenannte Dielektrizitätskonstante betrachtet. Sie steht mit dem Brechungsindex in Beziehung. In Analogie zum relativen Brechungsindex wird sie auch meist auf das Vakuum bzw. die Luft bezogen ( $\epsilon_0 \approx 1$ ) und heißt dann relative Dielektrizitätskonstante und es werden entweder  $\epsilon_r$  oder  $\epsilon^*$  als Symbol verwendet.

Die relative Dielektrizitätskonstante charakterisiert das Verhalten eines Nichtleiter beim Einwirken eines elektrischen Feldes (ROSENTHAL (1960)). Dabei ist die Dielektrizitätskonstante keine Konstante im mathematischen Sinne, sondern vielmehr ein unmittelbar durch Messungen zugänglicher Stoffkennwert, der von einer Reihe von Parametern abhängt. Insbesondere die Frequenz (Wellenlänge), die Temperatur, aber auch der Gehalt an gelösten Salzen sowie der Gehalt an ferromagnetischer Substanz beeinflussen den Wert der DK.

Letztlich beschreibt sie die Ausbreitungsart in einem bestimmten Medium. Die DK hat somit entscheidenden Einfluß auf die Rückstreuung, die bei einer hohen DK – also hoher Leitfähigkeit z. B. auf Grund eines hohen Wassergehaltes im Boden – stärker ist als bei einer niedrigen DK (siehe Tab. 6-1). Speziell zum Thema „Mikrowellen & dielektrisches Verhalten von Böden“ wurden auch von HALLIKAINEN et al. (1985) weitreichende Untersuchungen durchgeführt.

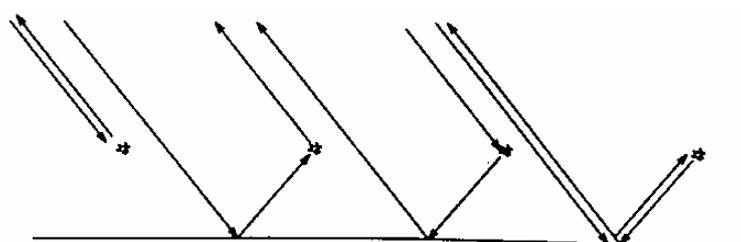
Material	$\epsilon'$
Meereswasser	81
Süßwasser	81
Boden – feucht	10
Boden – trocken	5

Tab. 6-1: Generelle Werte der Dielektrizitätskonstanten von Materialien (nach RAMO & WHINNERY, aus HENDERSON et al. 1998).

## 6.2 Volumenstreuung

Die Erklärung der für die Rückstreuung verantwortlichen Komponenten wird komplexer, wenn die Radarwellen den Körper des rückstreuenden Mediums durchdringen (HENDERSON et al. 1999). Eine erhöhte Volumenfeuchtigkeit z. B. der Pflanzenstengel oder Blätter, erhöht die Leitfähigkeit des Körpers, die wiederum sowohl die internen Reflexionen als auch die internen Streuverluste erhöht. Bisher wurde bei Untersuchungen zur Radarrückstreuung beobachtet, dass der Wert der gesamten Rückstreuung sowohl Oberflächen- als auch Volumerrückstreuung enthält. Wenn Radarwellen ein nicht-dichtes Medium wie z. B. einen Wintergerstebestand durchdringen, so wird ein Teil der elektromagnetischen Wellen direkt von der Pflanzenoberfläche und ein Teil von den internen Pflanzenbestandteilen reflektiert. Dabei gibt es nach SVENDSEN & SARABANDI (1998:116) generell vier Rückstreumechanismen (Abb. 6-2):

1. Direkt von der Pflanze,
2. Boden-Pflanze,
3. Pflanze-Boden und
4. Boden-Pflanze-Boden



Direct Ground-plant Plant-ground Ground-plant-ground

Abb 6-2: Die vier Rückstreumechanismen der Vegetation; aus: SVENDSEN & SARABANDI (1998).

Die an der Reflexion beteiligten Faktoren werden drei Gruppen zugeordnet, die methodisch getrennt behandelt werden (vgl. SPÖNEMANN & SCHIECHE 1997):

- **Permanente Faktoren:**  
Sie gehen als regionale Konstanten in die Datenanalyse ein. Hiervon ist die Hangneigung als lokaler Einfallswinkel  $\theta^l$  bereits berücksichtigt (vgl. Kap. 5.3.).
- **Saisonale Faktoren:**  
Genau genommen sind diese Faktoren auch temporär, jedoch mit einem Einfluß, der einer jahreszeitlich bedingten Erscheinungsform mit jährlicher Wiederkehr unterliegt – nämlich der Phänologie. Die Faktoren ergeben sich aus den Veränderungen der Oberfläche im Verlauf der Nutzungs- oder Vegetationsperiode und bilden die Grundlage der multitemporalen Auswertung der Radardaten (Kap. 9.1.). Die regelhafte zeitliche Abfolge der Bodenbearbeitung und der Oberflächenrauigkeit, der Kulturdeckung und der pflanzlichen Biomasse sowie der Bestandesstruktur, bewirkt einen entsprechenden regelhaften Verlauf des Rückstreukoeffizienten. Dieser Verlauf ist typisch für die verschiedenen Feldfrüchte. Die hieraus resultierenden Temporalsignaturen („temporal signatures“) ermöglichen erst eine operationelle Anwendung von monofrequenziellen und monopolarisierten Radardaten. Ein Sonderfall ist die Reihenrichtung. Sie wird zwar zumeist saisonal durch die Bodenbearbeitung festgelegt, bleibt aber für ein Erntejahr oder länger konstant.
- **Temporäre Faktoren:**  
Dies sind solche Faktoren, die das Radarecho infolge äußerer Einwirkungen kurzfristig und größtenteils unvorhersehbar beeinflussen (vgl. ESA SPECIALIST PANEL 1995). Von ihnen haben die aktuelle Bodenfeuchte und die Witterungsbedingungen Bodentemperatur, Niederschläge inkl. Schnee aber auch das dem Blattwerk anhaftende Interzeptionswasser und die Taufeuchte die größte Bedeutung. Die von ihnen beeinflussten Reflexionswerte können das Grundmuster der Verlaufssignaturen erheblich verändern. Häufig wirken sich diese Veränderungen gleich stark auf alle Objektklassen aus, haben also keinen negativen Einfluß auf die Trennbarkeit von Oberflächen. Teilweise sind sie aber gegenläufig und wirken dann als Störfaktoren, deren Einfluß – ebenso wie der der Hangneigung – korrigiert werden muß.

Ziel des folgenden Kapitels ist es, diese Störungen exemplarisch zu erfassen, um Ihren Einfluß auf den Rückstreukoeffizienten bei der Interpretation der Temporalsignaturen (Kap. 9.1.2.) berücksichtigen zu können. Einen Überblick über die objektspezifischen Faktoren gibt nachfolgende Abb. 6-2.

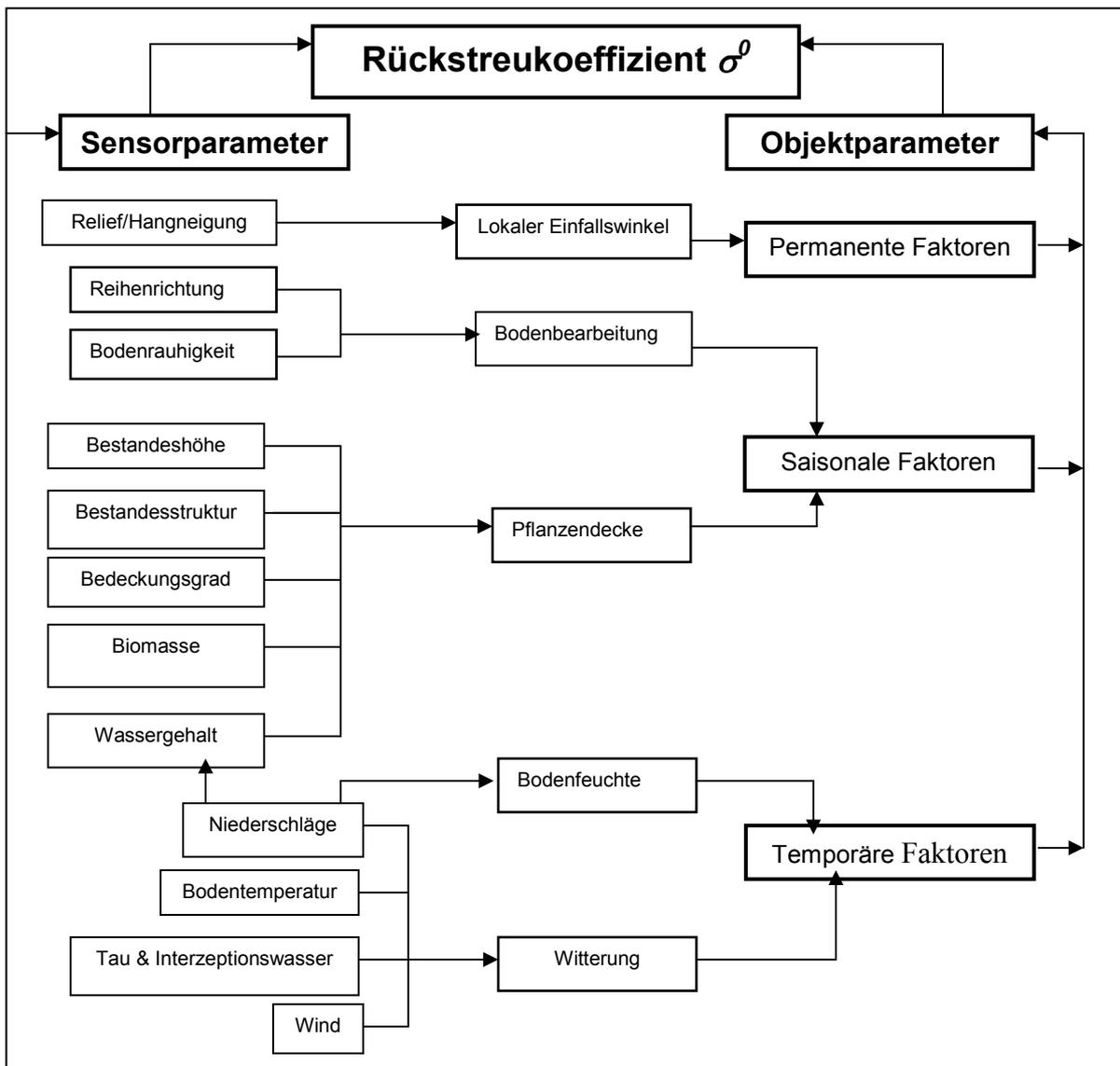


Abb. 6-2: Zeitliche Faktoren der objektspezifischen Beeinflussung des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$

### 6.3 Temporäre Faktoren

Bei den temporären Faktoren sind die Bodenfeuchte und die Witterung für die Stärke der Rücksteuerung maßgeblich beteiligt, wobei sich die Witterung in die Einzelfaktoren Niederschläge, Bodentemperatur, Tau, Interzeptionswasser und Wind weiter untergliedern lässt. Der Einfluss des Tau und des Interzeptionswassers<sup>18</sup> als zusätzliche Wasserschichten an den Pflanzen ist im Rahmen dieser Arbeit nicht näher untersucht worden (siehe GILLESPIE 1990, THIEL & RIEDEL 2001). Der Einfluss des Windes auf die Rückstreuung konnte durch die geringen Geschwindigkeiten während der Aufnahmetermine bei der späteren Auswertung vernachlässigt werden, da er laut BOUMAN et al. (1990) erst ab einer Windgeschwindigkeit von 5 m/s wirksam wird. Da diese Geschwindigkeit zu keinem Überflugtermin erreicht wurde (max. 2,1 m/sec am 02.04.95), kann dieser Faktor für die weiteren Untersuchungen vernachlässigt werden.

<sup>18</sup> THIEL & RIEDEL stellten in jüngsten Untersuchungen (2001) fest, dass im C-Band die Taubenetzung von Feldfrüchten eine Abnahme der Rückstreuung um 1,5 dB bewirkte; Interzeption hingegen führte zu einer signifikanten Zunahme der Rückstreustärke.

### 6.3.1 Bodentemperatur

Betrachtet man den Verlauf des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für eine Zeitreihe in der der Bodenbedeckungsgrad gering ist, so fällt auf, dass die Werte bei gleichbleibendem Bodenzustand erheblich voneinander abweichen. Die Differenz zwischen dem Februar- und dem März-Termin beträgt z. B. ca. 6 dB, obwohl in dieser Zeitspanne keinerlei Bearbeitungsmaßnahmen und kein Pflanzenwachstum erfolgten. Eine Ursache hierfür ist die Schwankung der Bodentemperatur während des Beobachtungszeitraums.

Die Dielektrizitätskonstante  $\varepsilon$  von Eis ist, ähnlich derjenigen von trockenem Boden (vgl. PONCÉT et al. 1994), im Vergleich zu Wasser sehr gering (DOBSON et al. 1995): das Verhältnis liegt bei ca. 1 : 20. Folglich ist die Eindringtiefe der Radarstrahlen in gefrorenen Böden größer, der Anteil der diffusen Streuung nimmt also zu. Andererseits kann es durch die Auffüllung der Ackerfurchen mit Eis zu einer Einebnung der Bodenoberfläche und somit durch spiegelnde Reflexion zu einer Abschwächung des Radarsignals kommen (BENALLEQUE et al. 1995; WEGMÜLLER 1990).

Abb. 6-3 zeigt den Verlauf der Bodentemperatur im Verhältnis zum Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für die Frostperiode 1995/96. Ab Ende November herrschte bereits leichter Frost in der obersten Bodenschicht (5 cm Tiefe), am 01.02.96 sinkt die Bodentemperatur aber auf ca.  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  (vgl. Tab. 3–3). Das Radarsignal wird zu diesem Zeitpunkt infolge der Absorptionseigenschaften von Eis im Gegensatz zu flüssigem Wasser geschwächt. Die Abnahme der Rückstreumplitude am 28.12.95 ist ebenfalls auf das Gefrieren des Bodenwassers zurückzuführen.

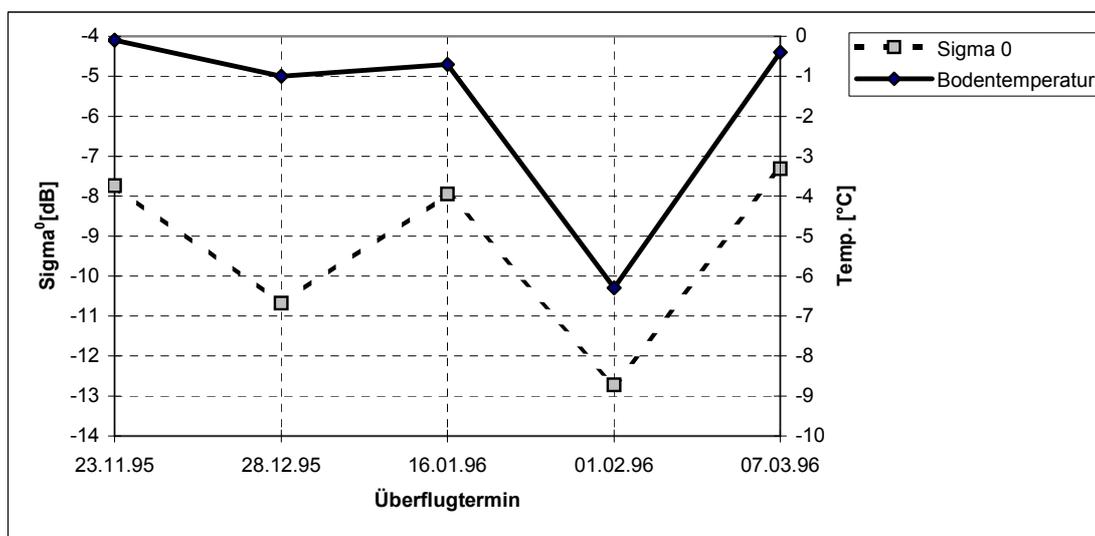


Abb. 6-3: Abhängigkeit des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  von der Bodentemperatur

Der Februar-Termin zeigt außerdem eine sehr schlechte Differenzierung der Oberflächentypen, die durch die Schneebedeckung zu diesem Zeitpunkt hervorgerufen wird (Abb. 6–4). Die Schneedecke führt zu einer Einebnung der Bodenoberfläche und somit zu einem höheren Anteil an gerichteter Reflexion, so dass Furchenstrukturen vom Radarsensor nicht mehr wahrgenommen werden.



Abb. 6-4: Schneebedeckung zum Überflugtermin  
(ww-053.2, 01.02.96), Foto: ERASMI 1996).

SAICH & BORGEAUD (1998) kommen nach Untersuchungen von ERS-SAR-Daten (1993-1996) ebenfalls zu dem Ergebnis, dass Frost und Auftauprozesse die Rückstreuung um bis zu 7 dB verringern können.

### 6.3.2 Niederschläge

Ein weiterer temporärer Einflußfaktor sind Niederschläge (u. a. HOBBS et al. (1998), BLYTH et al. 1993, FELLAH et al. 1993). Diese können sich sowohl direkt auf den Bestand über die Pflanzenvitalität bzw. der Oberfläche des Bestandes auswirken oder indirekt über Veränderungen der Bodenfeuchtigkeit. Die Betrachtung der Niederschläge für eine Periode von mindestens 3 Tagen vor dem Aufnahmezeitpunkt (vgl. Tab. 3–5) ist von wesentlicher Bedeutung, um von der Oberbodenfeuchte auf die Profilfeuchtigkeit zu schließen (WAGNER et al. 1996).

Außerdem können stärkere Niederschläge zum Zeitpunkt der Radaraufnahmen direkt Auswirkungen auf die Rückstreuung des Radarsignals durch Bildung von Wasserflächen auf der Boden- und Blattoberfläche haben. Dabei zeigt sich, dass besonders bei unbedeckten Böden und bei vornehmlich planaren Pflanzenbeständen mit geringer Wuchshöhe wie z. B. Zuckerrüben, stärkere Niederschläge während oder kurz vor dem Aufnahmetermin einen erheblichen Anstieg auf die Rückstreuung hervorrufen (siehe Abb. 9-4). Bei Pflanzenbeständen mit schmaleren Blättern und größerer Wuchshöhe (z. B. Wintergetreiden) ist dieser Effekt weitaus geringer. Die in dieser Arbeit untersuchten Pflanzenbestände mit vorwiegend vertikalem Wuchs (Getreiden) reagieren nach dem Schossen so gut wie überhaupt nicht auf stärkere Niederschläge (> 10 mm am 01.06.1995) mit einer Zunahme der Rückstreuung (Abb. 9–3). Zu gleichen Ergebnissen kommen auch KÜHBAUCH et al. (1999) mit Beregnungsversuchen innerhalb eines Forschungsvorhabens. Speziell nach dem Schossen zeigten Winterweizenbestände, dass mittlere bis geringfügige simulierte Niederschlagsereignisse gegenüber unberegneten Schlägen gleicher Nutzung keine signifikante Erhöhung der Radarrückstreuung bei den vegetationsbedeckten Schlägen zur Folge hatten.

### 6.3.3 Bodenfeuchte

Bereits in der experimentellen Phase der Radarforschung in den 70'er und 80'er Jahren wurden für die Detektierung des Bodenwassergehaltes aus Radardaten optimale Aufnahmeparameter definiert. Demnach ist der Einfluß der Reihenstruktur bzw. der Vegetation bei einer Frequenz von 4 - 6 GHz und bei Einfallswinkeln zwischen 7° und 22° bei HV- (Reihenstruktur) bzw. HH-Polarisation (Vegetation) minimal (ULABY et al. 1981). Die Differenz der Rückstreuintensitäten für einen trockenen und einen feuchten Boden kann bis zu 10 dB betragen (ULABY et al. 1989).

Die Frequenz des ERS-1 liegt innerhalb der definierten Grenzen, der Einfallswinkel ist aber nicht steil genug, um Rauigkeitseffekte zu minimieren<sup>19</sup>. Die Korrelation der ERS-1 Rückstreuintensitäten mit dem Bodenwassergehalt ist in zahlreichen Studien belegt (WOODING et al. 1993, DEMIRCAN et al. 1993, ROMBACH et al. 1994; v. PONCÉT et al. 1995). Die Studien zeigen jedoch auch, dass eine verlässliche Ableitung der Bodenfeuchte nur möglich ist, wenn andere Parameter des Bodenzustandes konstant sind und nicht berücksichtigt werden müssen (BENALLEGUE et al. 1995, WEVER & HENKEL 1995, LAGUERRE et al. 1994, DESCHAMBRE et al. 1992, FOODY 1992, BEAUDOIN et al. 1990). Der Zusammenhang zwischen dem Bodenwassergehalt des Oberbodens (5 cm Tiefe) und dem Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  wird auch in der vorliegenden Arbeit bestätigt (Abb. 6–6).



Abb. 6-5: RB-053.1, 19.10.95 (Links) und RB-053.1, 07.03.96 (Rechts); Foto: Erasmi.

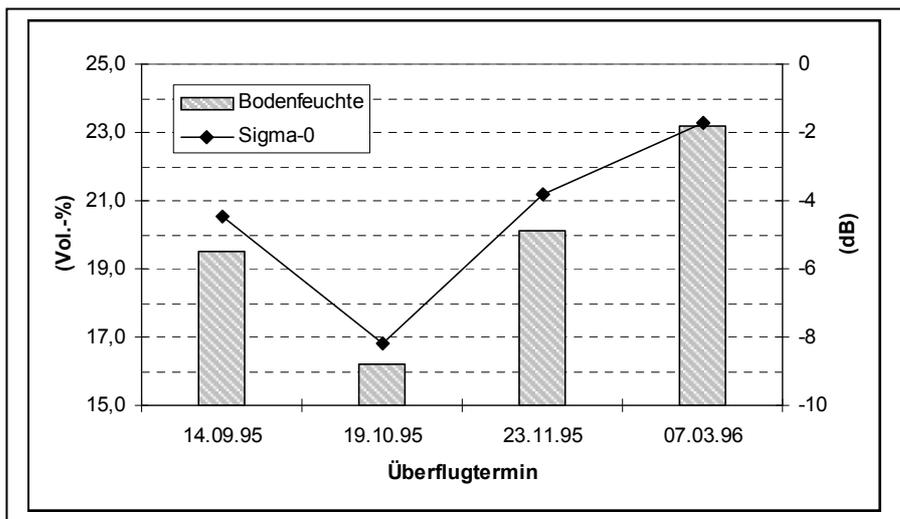


Abb. 6-6: Verlauf des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  in Bezug zur Bodenfeuchte (RB-53.1)

Die Messung erfolgte von September bis November und im März des Folgejahres jeweils zu den Überflugterminen auf einer Stilllegung (RB-Kleeansaat), da diese für den Untersuchungszeitraum einen geringen Bodenbedeckungsgrad und keine wesentlichen Änderungen der Oberflächenstruktur zeigt (Abb. 6–5).

<sup>19</sup> Spezielle Untersuchungen zum Einfluß der Bodenrauigkeit auf die Bodenfeuchte bei MOLINEUX et al. (1999).

Eine flächenhafte Messung der Bodenfeuchte war zu den Überflugterminen nicht durchführbar. Die punkthaften Messungen können nur Stichproben darstellen, und die Beziehung zu dem Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  kann deshalb nur tendenziell angedeutet, nicht aber verifiziert werden.

Der Bodenwassergehalt im Untersuchungsgebiet nimmt laut durchgeführter Messungen regional gleichmäßig zu oder ab. Die Tendenz des Signaturverlaufes für die Rückstreuung des Bodenkörpers wird hierdurch nicht beeinflusst: eine Schwankung des Bodenwassergehaltes kann jedoch eine der Ursachen sein, die die unterschiedlichen Reflexionsniveaus zwischen zwei Aufnahmetermen bei vergleichbaren Bodenbearbeitungsstadien bewirken.

## 6.4 Saisonale Faktoren

### 6.4.1 Bodenrauigkeit

Intensive Forschungsarbeiten zum Einfluß der Bodenrauigkeit landwirtschaftlicher Flächen auf die Radarrückstreuintensität werden u.a. seit Ende der 80er Jahre am Canadian Centre for Remote Sensing (CCRS) unter der Leitung von R.J. BROWN betrieben (BRISCO et al. 1991; MAJOR et al. 1993; MCNAIRN et al. 1996, JACKSON, T. J. et al. 1997). Die Ergebnisse zeigen, dass C-Band-Radarsensoren geeignet sind, Rückstreuintensitäten auf verschiedene Techniken der Bodenbearbeitung zurückzuführen. Die höchsten Korrelationen zwischen der Bodenrauigkeit und der Rückstreuintensität werden bei HH-Polarisation und Einfallswinkeln  $>40^\circ$  erreicht. Dies entspricht der Konfiguration des RADARSAT-Satelliten. Für das L-Band kommt der japanische J/ERS-1 Sensor in Betracht. Vergleichbare Zusammenhänge konnten in der vorliegenden Arbeit auch für die ERS-1-Satellitenaufnahmen nachgewiesen werden.



Abb. 6-7: Bodenrauigkeit des Zuckerrübenschlages  
No. 66, Foto: 27.04.1995.

Bei den Flächen ohne Bodenbedeckung handelt es sich zumeist um gepflügte oder gegruberte Äcker, die während der Wintermonate brachliegen und auf denen erst im Frühjahr eine Einsaat der Sommerfrüchte vorgenommen wird. Der Anteil anderer Bearbeitungstechniken nach dem Überflug am 19.10.95 und vor dem 07.03.96 ist gering. Nach diesem Termin ändert sich das Erscheinungsbild unbestandener Oberflächen grundlegend. Kennzeichnend ist nicht mehr die grobe Struktur der Pflugfurche, sondern eine glatte, leicht gewellte Oberfläche, bedingt durch die Aussaat der Sommerungen (hier vor allem Zuckerrübe, Abb. 6-11 sowie Abb. A5), die sich in einer starken Abnahme der Bodenrauigkeit niederschlägt.

Die Erfassung der Bodenrauigkeit erfolgte in Form von photographischen Aufnahmen für ausgewählte Schläge mittels eines ca. einen Meter breiten Meßbrettes. Aus den Photos werden Stützstellen einer Profillinie mit einem Horizontalabstand von 2 cm abgetragen, so dass für jedes Profil 50 Meßpunkte ermittelt werden können, welche die Vertikaldistanz

der Bodenoberfläche von einer Referenzlinie auf dem Meßbrett angeben. Auf diese Weise entsteht ein Höhenprofil der Rauigkeit.

Aus der Gesamtheit der Oberflächenhöhenvariation für ein Profil errechnet sich nach ULABY et al. (1986) die Standardabweichung der relativen Höhenunterschiede ("rms-height"):

$$s_h = \left[ \frac{1}{n-1} \left( \sum_{i=1}^n z_i^2 - \frac{\bar{z}^2}{n} \right) \right]^{1/2}$$

$s_h$	:	Standardabweichung der relativen Höhenunterschiede
$n$	:	Anzahl der Messungen
$z_i$	:	Einzelmessung
$\bar{z}$	:	Mittelwert aller $n$ Messungen

Unter Berücksichtigung des Fraunhofer-Kriteriums (ULABY et al. 1986) zur quantitativen Beschreibung der Bodenrauigkeit in Abhängigkeit von der Wellenlänge sind alle Oberflächen als rau zu betrachten, deren Standardabweichung der relativen Höhenunterschiede weniger als 0,19 cm betragen.

Die Messung der relativen Höhenunterschiede allein kann die Bodenrauigkeit zwar nicht ausreichend quantifizieren, bietet aber eine Möglichkeit, Klassen der Rauigkeit zu entwerfen (BENALLEQUE et al. 1995). Generell steigt der Rückstreuoeffizient  $\sigma^0$  mit zunehmender Oberflächenhöhenvariation an. Der Einfluß der Rauigkeit beträgt mindestens 2 dB. BEAUDOIN et al. (1990) messen für rms-Werte zwischen 0,5 und 3,5 cm einen Anstieg von bis zu 12 dB bei Einfallswinkeln zwischen 40° und 50°. Für die ERS-1 Konfiguration ist dieser Effekt geringer, aber dennoch nachweisbar. Die Auswertung der Messungen ergibt zwei Schwerpunktbereiche von Werten für die Standardabweichung, welche zum einen mit gepflügten und zum anderen mit durch Aussaat eingeebneten bzw. bereits aufgelaufenen Schlägen korrelieren. Der Mittelwert der Standardabweichung für gepflügte Äcker liegt bei 2,2 cm, bei gesäten Schlägen unter 0,9 cm. Diese Differenzierung erlaubt bei einer multitemporalen Auswertung von Radardaten bereits zu Beginn des Frühjahrs eine Ableitung von mindestens zwei signifikant unterscheidbaren Landnutzungen (siehe Kap. Frühabschätzung).

Neben den o. a. Faktoren wird der Bodenzustand außerdem durch die Faktoren Dichte, Salinität, Textur (Korngrößenverteilung) und Humusgehalt definiert, deren Einfluß auf das Radarecho aber im Rahmen des Projektes nicht untersucht wurde (siehe DOBSON et al. 1995). Eine präzisere Erfassung der Bodenrauigkeit, z. B. zur Entwicklung von Inversionsalgorithmen zur Bestimmung der Bodenfeuchte unbedeckter Böden aus Radardaten, ist nur mit einem hohen meßtechnischen Aufwand zu realisieren (MANNINEN et al. 1998; OH & KAY 1998).

## 6.4.2 Reihenrichtung

Ein weiterer geometrischer Faktor, der den Radarrückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  beeinflusst, ist der Winkel zwischen der Aufnahme­richtung des Radarsensors und der Hauptrichtung der Bodenbearbeitung. Diese Richtung wird pro Anbaujahr vom Bewirtschafter festgelegt. Bei einigen Schlägen ohne wesentliche Hangneigung wechselt die Reihenrichtung mitunter von Jahr zu Jahr. Dieser Winkel wird in Anlehnung an LE TOAN et al. (1994) als Azimuthwinkel  $\beta$  bezeichnet (Abb. 6–8).

MICHELSON (1994) erkennt einen signifikanten Unterschied der Rückstreuintensität für kleine und große Azimuthwinkel  $\beta$ . Das Ausmaß dieser Abweichung ist abhängig von der Bodenrauhigkeit und nimmt mit dem Pflanzenwachstum ab (MÜLLER et al. 1994).

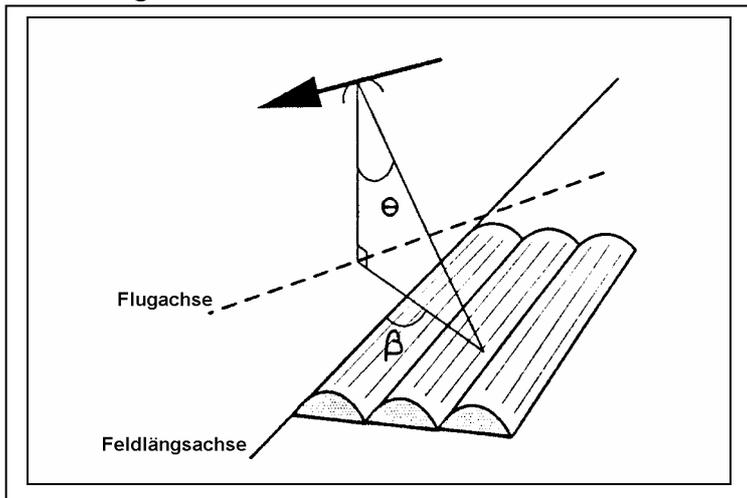


Abb. 6-8: Geometrische Konfiguration zwischen Radarsensor und Feld (BEAUDOIN et al. 1990: 887; verändert).

Für den ERS-1-Einfallswinkel von  $23^\circ$  ist nach BEAUDOIN et al. (1990) der Einfluß der Reihenstruktur auf den Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für Azimuthwinkel  $\beta < 50^\circ$  geringer als 1 dB, kann aber bei größeren Winkeln bis zu 10 dB ausmachen.

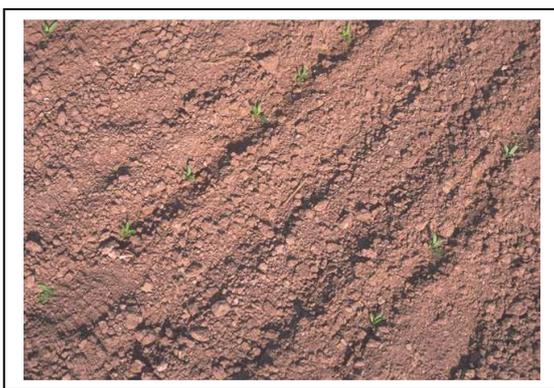


Abb. 6-9: Reihenrichtung des Zuckerrübenschlages  
No. 66, Foto: 07.05.1995.

Die Orientierung der Schläge im Testgebiet Reinshof ist sehr gut geeignet, diese Zusammenhänge zu überprüfen. Bedingt durch den Verlauf des Leinetalgrabens und das Verkehrsnetz wird ein Großteil der Schläge in der Leineau in N-S- bzw W-E-Richtung bearbeitet. Der Radarsensor blickt also entweder annähernd senkrecht oder parallel zur Reihenrichtung auf die Oberfläche. Außerdem liegt das Testgebiet Reinshof in der Ebene

der Leineau und weist für den Großteil der kartierten Schläge identische lokale Einfallswinkel auf ( $24^\circ$ ).

Die Beziehung zwischen der Bearbeitungsrichtung und dem Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  ist in den Abbildungen 6–10 und 6–11 dargestellt.

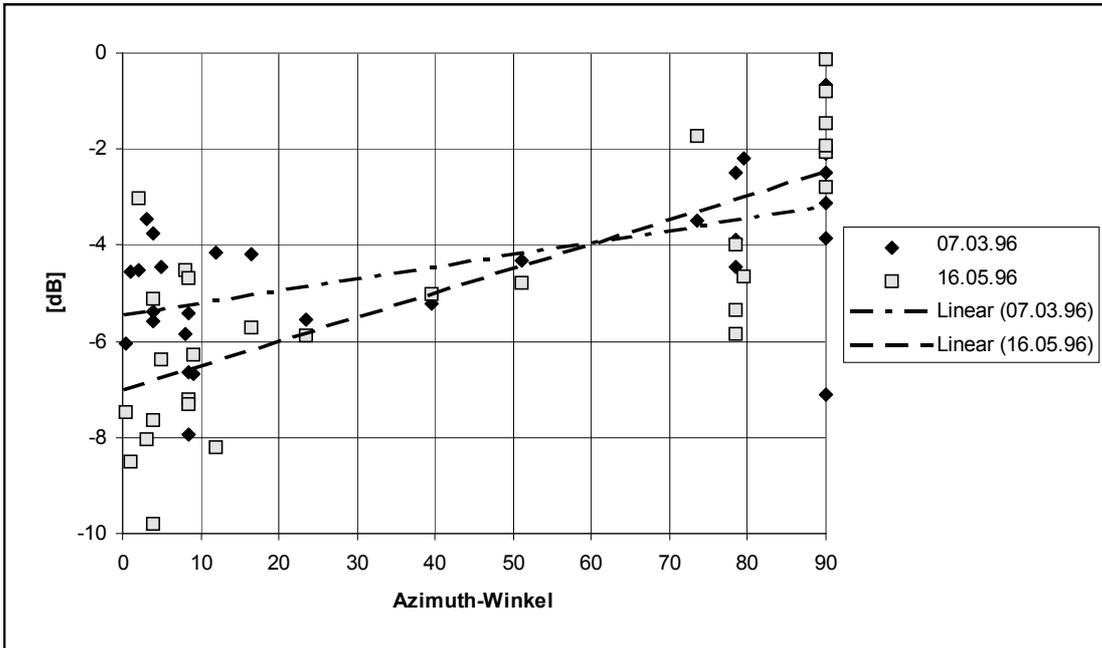


Abb. 6-10: Zusammenhang zwischen Azimuthwinkel  $\beta$  und Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für Zuckerrübenschlägen

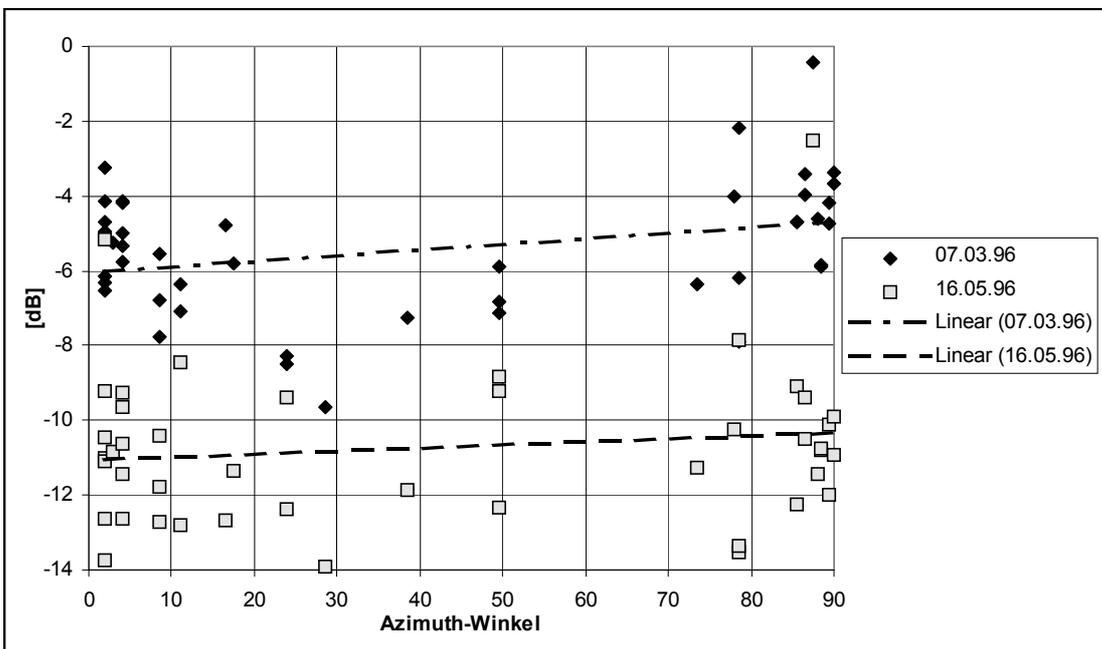


Abb. 6-11: Zusammenhang zwischen Azimuthwinkel  $\beta$  und Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für Winterweizenschlägen

Die Diagramme zeigen einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Reihenrichtung (Abb. 6-8) und dem Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für unbedeckte Bodenoberflächen, während diese Tendenz bei teilbedeckten Schlägen nur sehr schwach ausgeprägt ist. Die Abweichung der Rückstreukoeffizienten zwischen Azimuthwinkeln  $\beta < 40^\circ$  und  $> 40^\circ$  liegt im Mittel bei bis zu 3,7 dB für vergleichbare Oberflächen und erreicht aufgrund der Variabilität der Meßwerte, besonders bei Winkeln zwischen  $40^\circ$  und  $90^\circ$ , maximal 10 dB.

Für beide Bodenzustandsklassen sind die Meßreihen für zwei Aufnahmetermine dargestellt. Die Zuckerrübenschläge zeigen eine steilere Regressionsgerade für den Mai-Termin. Der Einfluß der Bearbeitungsrichtung auf die Rückstreuintensität zum Aufnahmezeitpunkt Anfang März wird hervorgerufen durch die Winterfurche und die daraus resultierende hohe Standardabweichung der relativen Höhenunterschiede (Rauhigkeit) der Bodenoberfläche. Die Ursache für die starke Korrelation Mitte Mai ist hingegen anderer Natur. Mit der Aussaat erfolgte eine Einebnung der Oberfläche, die Reflexion des Radarsignals ist überwiegend vom Sensor weg gerichtet. Die Reihenrichtung wird aber mit der Keim- und Laubblattbildung wieder erkennbar und führt zu einer starken registrierten Rückstreuintensität bei senkrechter Aufnahmerichtung. Dieser Einfluß tritt mit dem Reihenschluß ab Mitte Juni wieder in den Hintergrund (siehe Abb. 9-4, vgl. MÜLLER et al. 1994).

Das Reflexionsverhalten von Getreideflächen wird durch die Bearbeitung relativ zur Aufnahmerichtung weniger stark beeinflusst. Die Schläge weisen für den gesamten Aufnahmezeitraum eine geringere Bodenrauhigkeit auf, was zu einem geringeren Anteil an diffuser Reflexion führt. Mit dem Beginn der Bestockung ab Mitte April ist der Einfluß der Bearbeitungsrichtung nicht mehr nachweisbar.

Eine Ausnahme bilden Getreideschläge mit einem größeren Reihenabstand. Hier erfolgt, ähnlich wie bei gepflügten Schlägen, bei einer Ausrichtung senkrecht zum Radarstrahl eine starke Reflexion zum Sensor hin. Die Bearbeitungsrichtung kann in einem solchen Fall einen größeren Einfluß auf den Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  haben als eine unterschiedliche Bearbeitung. Dies erschwert eine Interpretation von Radar-Satellitenbildern bezüglich landwirtschaftlicher Flächen zu einem frühen Stadium der Vegetationsperiode, und erst ab Mitte Juni wirkt sich der Effekt in Radarbildern nicht mehr negativ auf eine Landnutzungserfassung aus.

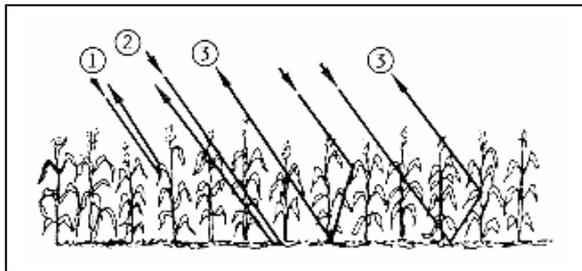
In folgenden Arbeiten wird auf die Bodenrauhigkeit von Ackerflächen speziell in Abhängigkeit von der Blickrichtung näher eingegangen: ULABY & BARE (1979), Raney et al. (1988), BRISCO et al. (1991), DUBOIS et al. (1992), MAYOR et al. (1993), MICHELSON (1994) und CHAMPION & FAIVRE (1996).

### 6.4.3 Pflanzendecke

Bei zunehmendem Anteil von Pflanzenmaterial an der von dem Radarsignal beleuchteten Fläche verringert sich der Einfluß des Bodens, und die Radarrückstreuung wird zunehmend von den geometrischen und physikalischen Eigenschaften des Pflanzenbestandes dominiert. Es überwiegt die Volumenstreuung, da die Strahlung zum größten Teil in die Vegetation eindringt und hier diffus reflektiert wird.

Der Anteil der Pflanzenoberfläche an der Rückstreuung gegenüber dem der Bodenoberfläche ist von dem Einfallswinkel und der Wellenlänge des Aufnahmesystems abhängig (Abb. 6-12). Bei flachem Einfallswinkel und kleiner Wellenlänge überwiegt die Rückstreuung von der Pflanzendecke. Je steiler der Einfallswinkel und je größer die Wellenlänge, desto größer ist die Eindringtiefe in das Medium und somit der Einfluß der Bodenfaktoren (KÜHBAUCH 1991). In der Literatur werden von den Wissenschaftlern unterschiedliche Pflanzenparameter als entscheidend für die Rückstreustärke identifiziert. Die Signifi-

kantesten sind: Wuchshöhe, Blattflächenindex, Pflanzenbiomasse und Blattwassergehalt (u. a. ULABY et al. 1975, LETOAN 1984, BOUMAN 1991).



- 1) Direkte Rückstreuung der Pflanze
- 2) Direkte Rückstreuung des Bodens  
(beinhaltet zweifache Durchdringung des Pflanzendaches)
- 3) Pflanze/Boden-Mehrfachstreuung

Abb. 6-12: Beitrag der Rückstreuung landwirtschaftlicher Pflanzen über einer Bodenoberfläche (verändert nach: ULABY 1986:1856).

Innerhalb dieser Arbeit wurden folgende Merkmale landwirtschaftlich genutzter Pflanzen bzw. Pflanzenbestände mit Einfluß auf das Rückstreuverhalten von Mikrowellen untersucht:

- Wuchshöhe
- Bestandsdichte / Bodenbedeckungsgrad
- Biomasse / Wassergehalt
- Pflanzenstruktur
- Wachstumsstadium (EC)

Die Dynamik des Wachstums landwirtschaftlich genutzter Pflanzen führt zu einer prägnanten Veränderung der radarrelevanten Pflanzenparameter während einer Vegetationsperiode, die eine jeweils unterschiedliche Wirkung auf das Radarsignal haben (ESA SPECIALIST PANEL 1995). Das Wachstumsstadium der Kulturpflanzen wird definiert durch den Evaluation Code (EC). Dieser repräsentiert die Pflanzenstruktur sowie die Biomasse in einem bestimmten Entwicklungsstadium (vgl. Abb. 6-13 und 6-14) und kann daher für die Interpretation des Verhältnisses zwischen Bestandesstruktur und dem Rückstreuoeffizient  $\sigma^0$  als Richtgröße dienen (vgl. SPÖNEMANN & SCHIECHE 1997).

Unter Pflanzenstruktur versteht man die vertikale und horizontale Verteilung der Pflanzenorgane, sowie deren Größe, Form und Orientierung. Zum Beispiel verursachen breitblättrige Pflanzen wie Zuckerrüben in der Regel ein höheres Radarecho als gleich dichte Pflanzenbestände mit kleiner Blattgröße (vgl. KÜHBAUCH 1991). Die Ausrichtung der Blätter senkrecht zur Aufnahme-richtung des Radarsensors in Zuckerrübenbeständen führt darüber hinaus zu einer Verstärkung der Radarrückstreuung. Im Gegensatz dazu kommt es bei Getreide, dessen Pflanzenorgane eine vorherrschend senkrechte Orientierung aufweisen, sowohl zu einer überwiegend diffusen Rückstreuung als auch einer Ankopplung der Radarwellen an die überwiegend vertikalen Pflanzenorgane (SCHMULLIUS et al. 1992). Daraus resultiert ein schwächeres Radarecho der einfallenden Mikrowellen.

Der Einfluß des Pflanzenwassergehaltes auf die Radarrückstreuung wird ebenfalls in zahlreichen Untersuchungen belegt (u. a. LE TOAN & SMACCHIA 1994).

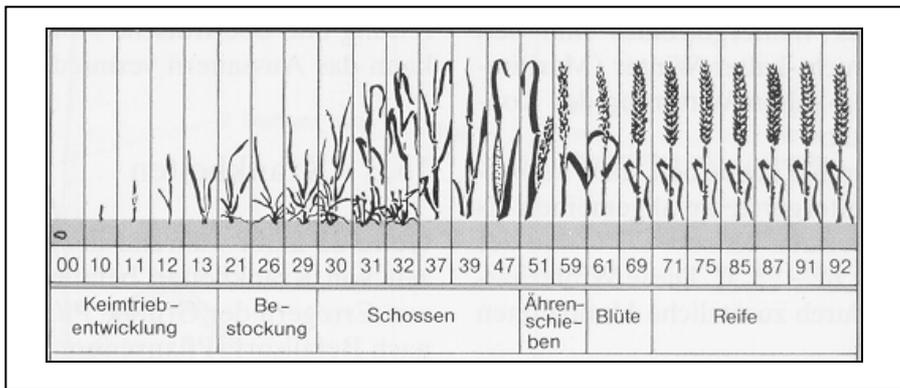


Abb. 6-13: Wachstumsstadien (Evaluation Code) von Winterweizen (FRAHM 1993).

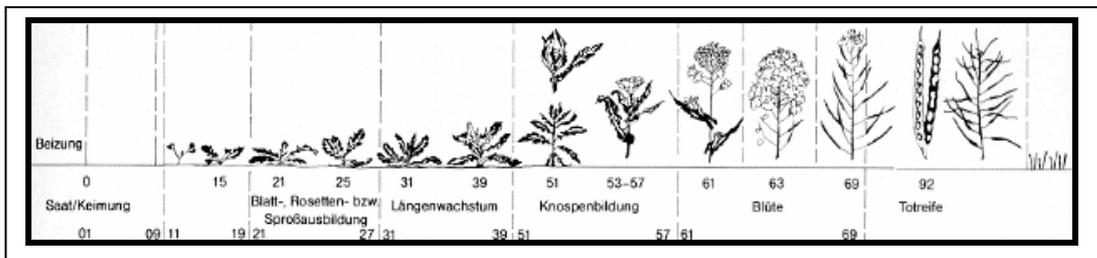


Abb. 6-14: Wachstumsstadien (Evaluation Code) von Winterraps (FRAHM 1993).

Die Pflanzendecke bzw. der Bodenbedeckungsgrad spielt bei den Untersuchungen zur Beeinflussung des Radarsignals eine wichtige Rolle. Die Schwankungen des Rückstreuoeffizienten gehen durch temporäre Einflüsse bei zunehmender Bedeckung zurück. Deutlich wird dies beim Vergleich (Tab. 6-2) zwischen Dauerbrache (Schlag 268) und Schwarzbrache (Schlag 271n). Während beim Schlag 268 innerhalb des gesamten Untersuchungszeitraums die Amplitude lediglich 2 dB beträgt, erreicht sie bei der Schwarzbrache einen Wert von 5,5 dB. Dies wird offenbar durch Bodenfeuchtigkeitsschwankungen infolge von Niederschlägen bewirkt.

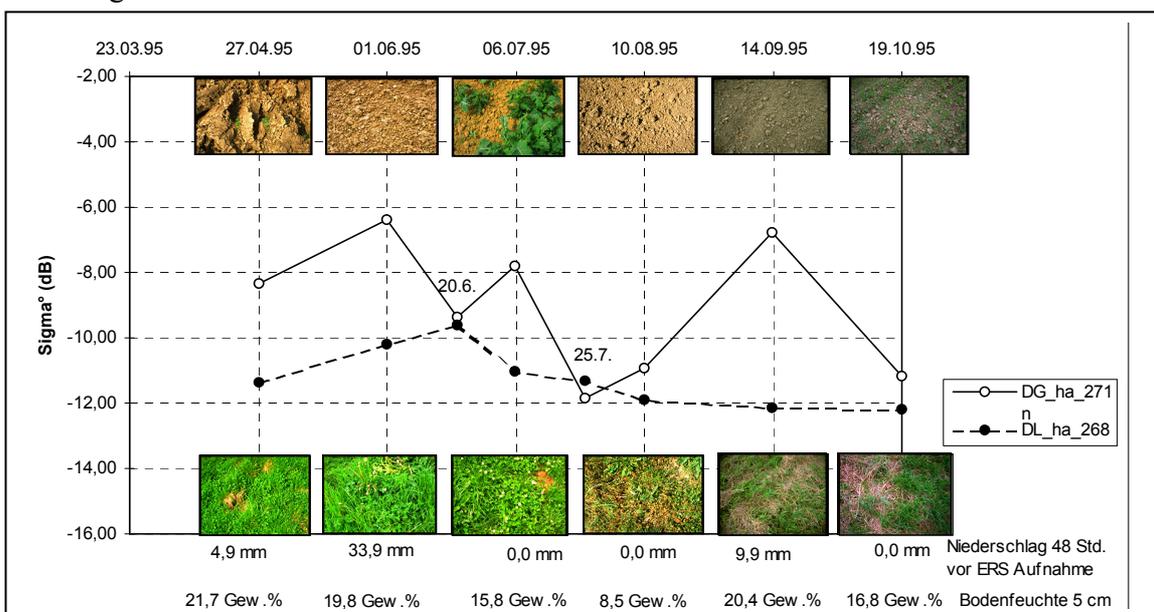


Abb. 6-15: Verlauf der Rückstreuoeffizienten bei unterschiedlichem Bedeckungsgrad extensiver Flächen.

Datum	27.04.95	01.06.95	20.06.95	06.07.95	25.07.95	10.08.95	14.09.95	19.10.95
DG_ha_271n	-8,33	-6,39	-9,36	-7,80	-11,86	-10,95	-6,80	-11,19
DL_ha_268	-11,39	-10,20	-9,63	-11,03	-11,32	-11,92	-12,17	-12,18

Tab. 6-2: Rückstreuwerte bei unterschiedlichem Bodenbedeckungsgrad im Vergleich von nicht begrünter Schwarzbrache (No. 271n) und Dauerbrache (No. 268).

Der Vergleich der Werte vom 10.08.95 und vom 14.09.95 zeigt (Abb. 6-15), dass während die Bodenfeuchteunterschiede bei der Dauerbrache überhaupt keine Auswirkungen haben, sich bei der Schwarzbrache durch sie der Rückstreuwert um ca. 4 dB erhöht. Die anschließende Verminderung der Bodenfeuchte bewirkt wiederum eine Absenkung um den gleichen Wert.

## 7 Multiple Korrelationsanalyse zwischen Rückstreukoeffizienten $\sigma^0$ und verschiedenen Pflanzen- und Bodenparametern

In den nachfolgenden statistischen Auswertungen des Rückstreukoeffizienten soll der Versuch unternommen werden, den Einfluß verschiedener temporärer und saisonaler Boden- und Pflanzenparameter auf die Radarrückstreuung quantitativ zu erfassen. Dies geschieht mittels einer multiplen Regressionsanalyse, die es ermöglicht, eine Rangfolge des Einflusses verschiedener Faktoren auf den Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  zu gewinnen.

Untersuchungen, die sich mit der Extrahierung von quantitativen Pflanzenparametern aus Radardaten beschäftigen, sind seit Beginn der 80er Jahre im Rahmen sowohl bodennaher Scatterometermessungen als auch flugzeug- und weltraumgestützter Kampagnen in der Literatur dokumentiert worden (u.a. BRAKKE et al. 1981; ULABY et al. 1986; BOUMAN et al. 1990). Es wurden zwar signifikante Korrelationen zwischen verschiedenen Vegetationsparametern (feuchte/trockene Biomasse, Pflanzenwassergehalt, Wuchshöhe) und dem Rückstreukoeffizienten ermittelt, ein eindeutiges Muster der Beziehungen ist jedoch nicht klar erkennbar. Viele Untersuchungen in den 90ern bauen auf einfachen Regressionsanalysen auf, die den komplementären Charakter der einzelnen Pflanzenparameter, das sog. "Multikolaritätsproblem" (BAHRENBERG et al. 1992), nicht berücksichtigen (SCHMULLIUS & SCHRAGE 1998, TACONET et al. 1994, u.a.). Andere Arbeiten versuchen, das komplexe Rückstreuverhalten vegetationsbestandener Erdoberfläche durch Modellierungen zu erklären und dadurch genauere Informationen über einzelne Pflanzen- oder Bodenparameter zu erhalten (BORGEAUD et al. 1994, CLEVERS et al. 1995, NIEUWENHUIS et al. 1995). Beide Methoden bergen Vor- und Nachteile. Einfache Regressionsanalysen sind, wie der Name andeutet, leicht durchzuführen und benötigen wenige Eingabeparameter. Bei dieser Methode werden, wie schon erwähnt, die Beziehungen verschiedener Vegetations- und Bodenparameter zueinander jedoch nicht mit berücksichtigt. Modellierungen versuchen zwar diesen Nachteil der einfachen Regressionen zu kompensieren, sind in der Regel jedoch sehr arbeitsaufwendig und benötigen intensive Vorkenntnisse und genaue Eingabeparameter.

In dem Kapitel „intensive Pflanzen“ werden verschiedene quantitative Pflanzenparameter und ein Bodenparameter (Bodenfeuchte in 5cm Tiefe) mit dem ERS-Rückstreukoeffizienten landwirtschaftlich intensiv genutzter Schläge über eine vorwärtsgerichtete, schrittweise multiple Regressionsanalyse in Beziehung gesetzt. Mit Hilfe dieser Methode kann der Einfluß verschiedener Pflanzen-(Boden-)parameter auf die Varianz des Rückstreukoeffizienten getrennt betrachtet werden.

Vorwärtsgerichtete, schrittweise multiple Regressionsanalysen werden im wesentlichen in drei Schritten durchgeführt:

- (1)einfache Regressionen aller zur Diskussion stehenden Variablen, abhängige (Rückstreukoeffizient  $\sigma^0$ ) wie auch unabhängige (Pflanzen-/Bodenparameter)
- (2)Schrittweise partielle Korrelation der unabhängigen Variablen, wodurch der Einfluß verschiedener unabhängiger Variablen auf die Varianz des Rückstreukoeffizienten sukzessiv ausgeschlossen wird
- (3)Vorwärtsgerichtete multiple Regression, mit der der jeweilige Anteil der verschiedenen unabhängigen Variablen an der Varianz der abhängigen Variablen ermittelt wird.

Das Ergebnis einer solchen multiplen Regressionsanalyse wird durch das multiple Bestimmtheitsmaß oder den positiven multiplen Korrelationskoeffizienten dargestellt. Aus diesem Ergebnis läßt sich die Rangfolge des Einflusses der untersuchten Parameter auf die

Intensität des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  ablesen. Eine genaue Beschreibung multipler Regressionsanalysen ist in BAHRENBERG et al. (1992) sowie BACKHAUS et al. (1996) beschrieben, Bestimmungen von pflanzenspezifischen Parametern mittels statistischer Untersuchungen wurden auch bei KÜHBAUCH et al. (1999), ROQUES et al. (1994) und WRIGHT et al. (1993) unternommen.

### 7.1 Analyse intensiv genutzter Flächen inkl. Rotationsbrachen

Mit dieser Methode soll untersucht werden, welche Parameter der jeweiligen Kulturpflanzenart bzw. des Bodens die Varianz des Rückstreukoeffizienten in welchem Verhältnis beeinflussen. Dazu wurden verschiedene Getreidearten (Hafer, Sommergerste, Sommerweizen, Wintergerste, Winterweizen), Raps, Zuckerrübe und einjährige Rotationsbrachen untersucht. In der Regressionsanalyse wurden multitemporale Daten ausgewertet, die den Zeitraum der phänologischen Entwicklung für die jeweilige Fruchtart abdecken. Dabei stand für die einzelnen Nutzungen, der Vegetationsperiode entsprechend, eine unterschiedliche Anzahl von Wertepaaren zur Verfügung. Die verschiedenen Pflanzenarten besitzen unterschiedliche charakteristische Merkmale, weshalb nicht für alle Fruchtarten dieselben Parameter untersucht wurden (z. B. Ähren/m<sup>2</sup>). Eine Übersicht der untersuchten landwirtschaftlichen Nutzungen mit den jeweils erfaßten Parametern und die Anzahl der Wertepaare ist Tab. 7-1 zu entnehmen.

	H <sub>2</sub> O 5 <sup>1</sup>	WuHö 2 <sup>2</sup>	FM 3 <sup>3</sup>	PfH <sub>2</sub> O 4 <sup>4</sup>	Ä/m <sup>2</sup> 5 <sup>5</sup>	Termine 6 <sup>6</sup>	T-Anzahl
Raps	-	6	6	6	6	1-6	6
Wintergerste	-	5	5	5	5	3-7	5
Winterweizen	-	6	6	6	6	1-6	6
Hafer	-	6	6	6	6	2-7	6
Sommergerste	6	6	6	6	6	3-8	6
Sommerweizen	5	5	5	5	5	3-7	5
Zuckerrübe	7	7	7	7	-	3-9	7
Rotationsbrache RL-53.2	7	7	7	7	-	3-9	7
Rotationsbrache RL-47s	7	7	7	7	-	3-9	7
Rotationsbrache RL-44	6	6	6	6	-	3-8	6
Rotationsbrache RL-37	-	6	6	6	-	1-6	6
Rotationsbrache RL-54.1	7	7	7	7	-	3-9	7
Phacelia	7	7	7	7	-	3-9	7

Tab. 7-1: Parameter der Landnutzung für die Regressionsanalyse.

1 Bodenwassergehalt in 5 cm Tiefe (Gew.-%)

2 Wuchshöhe (cm)

3 Pflanzenbiomasse / Feuchtmasse (g/cm<sup>3</sup>)

4 Pflanzenwassergehalt (%)

5 Ähren / m<sup>2</sup>

6 Aufnahmetermine: 1 = 27.04.; 2 = 07.05.; 3 = 01.06.; 4 = 20.06.; 5 = 06.07.; 6 = 16.07.; 7 = 25.07.; 8 = 10.08.; 9 = 14.09.

Wie aus diesen Anmerkungen zu entnehmen ist, stellt diese Untersuchung keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die Anzahl der Wertepaare läßt zwar eine statistische Analyse zu, die Ergebnisse bewegen sich aber auf einem relativ niedrigen Signifikanzniveau. Deshalb muß an dieser Stelle angemerkt werden, dass es sich bei dieser Auswertung um einen methodischen Ansatz handelt, der der weiteren Überprüfung mit größeren Datensätzen, sprich Stichprobenflächen pro gleicher Nutzung, bedarf. Im folgenden werden die Ergebnisse der Korrelationsanalysen vorgestellt:

	H <sub>2</sub> O 5cm	WuHö	FM	PfH <sub>2</sub> O	Ä/m <sup>2</sup>
Raps	-	-0,10	0,55	-0,07	<b>-0,57</b>
Wintergerste	-	0,63	0,45	<b>-0,76</b>	0,41
Winterweizen	-	0,28	-0,34	<b>-0,77</b>	-0,42
Hafer	-	-0,65	<b>-0,78</b>	0,30	0,19
Sommergerste	<b>0,72</b>	-0,62	-0,33	0,68	0,67
Sommerweizen	<b>0,71</b>	<b>-0,98</b>	<b>-0,88</b>	<b>0,84</b>	<b>0,81</b>
Zuckerrübe	0,56	-0,65	<b>-0,74</b>	0,69	-
Rotationsbrache RL-53.2	0,53	-0,10	-0,14	0,49	-
Rotationsbrache RL-47s	<b>0,73</b>	0,2	0,19	<b>0,73</b>	-
Rotationsbrache RL-44	0,35	-0,33	<b>-0,55</b>	0,14	-
Rotationsbrache RL-37	-	0,01	-0,07	<b>0,72</b>	-
Rotationsbrache RL-54.1	0,20	-0,67	-0,54	<b>-0,76</b>	-
Phacelia	<b>0,90</b>	-0,32	-0,21	0,48	-

Tab. 7-2: Einfache lineare Korrelationskoeffizienten zwischen  $\sigma^0$  und verschiedenen Parametern.

Aus Tabelle 7-2 ist ersichtlich, dass diejenigen Parameter, die Einfluß auf die Dielektrizitätskonstante haben (Pflanzenwassergehalt, Feuchtmasse, Bodenfeuchte), bei intensiven Pflanzen ein größeres Potenzial zur Erklärung der Varianz des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  besitzen als geometrische Variablen (Wuchshöhe, Ähren/m<sup>2</sup>). Ebenso wird deutlich, dass Pflanzenparameter die Rückstreuung stärker beeinflussen als die Bodenfeuchte. Ob und inwieweit sich die Restvarianz von  $\sigma^0$ , die bei einer einfachen linearen Korrelationsanalyse nicht in Betracht gezogen wird, durch die Hinzunahme anderer Parameter erklären läßt, soll im folgenden anhand der multiplen Regressionsanalyse einiger Nutzungen untersucht werden.

#### Raps:

	Ä/m <sup>2</sup>	Ä/m <sup>2</sup> , PfH <sub>2</sub> O	Ä/m <sup>2</sup> , PfH <sub>2</sub> O, WuHö	Ä/m <sup>2</sup> , PfH <sub>2</sub> O, WuHö, FM
Multipler Korrelationskoeffizient	0,57	0,75	0,84	0,85

Tab. 7-3: Multipler Korrelationskoeffizient zwischen  $\sigma^0$  und verschiedenen Parametern für Raps.

Die Varianz von  $\sigma^0$  wird durch zwei Pflanzenparameter, die zum einen die geometrische Struktur, zum anderen die Dielektrizitätskonstante repräsentieren, gut erklärt. Die relativ großen Schoten der Rapspflanzen scheinen hier der dominierende Faktor zu sein. Der Parameter Pflanzenwassergehalt beinhaltet noch ein recht großes Potenzial zur Erklärung der Varianz, was bei Raps als Pflanze mit relativ hoher Biomasse logisch erscheint. Die Wuchshöhe, wie auch die Feuchtmasse spielen eine eher untergeordnete Rolle, da sich diese beiden Parameter in dem hier betrachteten Zeitraum (27.04. - 16.07.) nicht mehr grundlegend verändern.

### Wintergetreide:

Wintergerste	PfH <sub>2</sub> O	PfH <sub>2</sub> O, FM	PfH <sub>2</sub> O, FM, WuHö	PfH <sub>2</sub> O, FM, WuHö, Ä/m <sup>2</sup>
	0,76	0,84	0,84	0,84
Winterweizen	PfH <sub>2</sub> O	PfH <sub>2</sub> O, FM	PfH <sub>2</sub> O, FM, Ä/m <sup>2</sup>	PfH <sub>2</sub> O, FM, Ä/m <sup>2</sup> , WuHö
	0,77	0,92	0,98	1

Tab. 7-4: Multipler Korrelationskoeffizient zwischen  $\sigma^l$  und verschiedenen Parametern für Wintergetreide.

Bei beiden Wintergetreidearten ist die Varianz von  $\sigma^l$  vorrangig durch die Parameter Pflanzenwassergehalt und Pflanzen-Feuchtmasse erklärt. Die geometrischen Parameter Wuchshöhe und Ähren/m<sup>2</sup> sind nur von untergeordneter Bedeutung. Bei Winterweizen können geometrische Parameter zwar nur noch einen geringen Anteil der Varianz von  $\sigma^l$  erklären, dieser ist aber größer als der bei Wintergerste. Die Ursache hierfür könnte sein, dass für Winterweizen ein Zeitraum von Ende April bis Mitte Juli betrachtet wurde, für Wintergerste dagegen die Untersuchungen erst am 01.06. einsetzen, was bedeutet, dass für Winterweizen mehr Termine in die Analyse eingebracht wurden, die in stärkerem Maße vor allem das Längenwachstum der Pflanzen (und somit die Entwicklung der geometrischen Struktur) dokumentieren.

### Sommergetreide:

Hafer	FM	FM, Ä/m <sup>2</sup>	FM, Ä/m <sup>2</sup> , PfH <sub>2</sub> O	FM, Ä/m <sup>2</sup> , PfH <sub>2</sub> O, WuHö
	0,78	0,81	0,88	0,91
Sommergerste	PfH <sub>2</sub> O	PfH <sub>2</sub> O, FM	PfH <sub>2</sub> O, FM, Ä/m <sup>2</sup>	PfH <sub>2</sub> O, FM, Ä/m <sup>2</sup> , WuHö
	0,68	0,83	0,85	0,96
Sommerweizen	WuHö	WuHö, Ä/m <sup>2</sup>	WuHö, Ä/m <sup>2</sup> , FM	WuHö, Ä/m <sup>2</sup> , FM, PfH <sub>2</sub> O
	0,98	0,99	0,99	1

Tab. 7-5: Multipler Korrelationskoeffizient zwischen  $\sigma^l$  und verschiedenen Parametern für Sommergetreide.

Bei den Sommergetreidearten ist der Einfluß der geometrischen Variablen größer als bei den Wintergetreidearten. Bei Hafer und Sommergerste kann zwar durch Feuchtmasse bzw. Pflanzenwassergehalt ein großer Teil der Varianz von  $\sigma^l$  erklärt werden, dieser ist jedoch nicht so hoch wie beim Wintergetreide. Die Einbeziehung von Ähren/m<sup>2</sup> und Wuchshöhe liefert relativ gute Zusatzinformationen. Bei Sommerweizen sind die die geometrische Struktur charakterisierenden Parameter sogar die dominierenden, wobei hier jedoch angemerkt werden muß, dass zur Untersuchung nur fünf Wertepaare herangezogen wurden, weswegen die Korrelationskoeffizienten generell sehr hoch liegen. Der Grund für die stärkere Beeinflussung der Rückstreuung durch geometrische Pflanzenparameter ist sicherlich in der späteren phänologischen Entwicklung des Sommergetreides zu suchen, was bewirkt, dass der Zeitraum der Bestockung und des Längenwachstums komplett abgedeckt wird, wohingegen sich das Wintergetreide zu Beginn des Beobachtungszeitraumes bereits im Längenwachstum befindet.

Zuckerrübe:

Zuckerrübe	FM	FM, H <sub>2</sub> O 5	FM, H <sub>2</sub> O 5, WuHö	FM, H <sub>2</sub> O 5, WuHö,PfH <sub>2</sub> O
	0,74	0,82	0,83	0,84

Tab. 7-6: Multipler Korrelationskoeffizient zwischen  $\sigma^{\rho}$  und verschiedenen Parametern für Zuckerrübe.

Bei Zuckerrübe, als relativ spät auflaufender Fruchtart, zeigt sich, dass neben der Feuchtmasse, mit der ein großer Anteil der Varianz von  $\sigma^{\rho}$  erklärt werden kann, die Bodenfeuchte noch ein wesentliches Erklärungspotenzial besitzt. Anders als bei Getreide ist bei Zuckerrübe der Boden erst Mitte Juli vollständig bedeckt. In dem hier betrachteten Zeitraum (01.06. bis 14.09.) sind also noch Aufnahmetermine enthalten, bei denen Bodenparameter die Rückstreuung maßgeblich beeinflussen.

Rotationsbrachen:

Rotationsbrache RL-53.2	H <sub>2</sub> O 5	H <sub>2</sub> O 5, FM	H <sub>2</sub> O 5, FM, PfH <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O5, FM, PfH <sub>2</sub> O,WuHö
	0,53	0,57	0,62	0,77
Rotationsbrache RL-47s	PfH <sub>2</sub> O	PfH <sub>2</sub> O, WuHö	PfH <sub>2</sub> O, WuHö, FM	PfH <sub>2</sub> O,WuHö FM, H <sub>2</sub> O5
	0,73	0,79	0,82	0,82
Rotationsbrache RL-44	FM	FM, PfH <sub>2</sub> O	FM, PfH <sub>2</sub> O, WuHö	FM, PfH <sub>2</sub> O, WuHö,H <sub>2</sub> O 5
	0,55	0,83	0,93	0,95
Rotationsbrache RL-37	PfH <sub>2</sub> O	PfH <sub>2</sub> O, WuHö	PfH <sub>2</sub> O, WuHö, FM	
	0,72	0,88	0,88	
Rotationsbrache RL-54.1	PfH <sub>2</sub> O	PfH <sub>2</sub> O, FM	PfH <sub>2</sub> O, FM, H <sub>2</sub> O 5	PfH <sub>2</sub> O, FM, H <sub>2</sub> O 5,WuHö
	0,76	0,82	0,83	0,83

Tab. 7-7: Multipler Korrelationskoeffizient zwischen  $\sigma^{\rho}$  und verschiedenen Parametern für Rotationsbrache.

Auch bei den Rotationsbrachen haben die Parameter, die direkt oder indirekt durch die Dielektrizitätskonstante beschrieben werden können, den größten Einfluß auf den Rückstreukoeffizienten  $\sigma^{\rho}$ . Die dominierenden Variablen sind auch hier die Pflanzenparameter, wobei allerdings die geometrische Struktur eine untergeordnete Rolle spielt. Die Bodenfeuchte hat bis auf den Schlag RL-53.2 keinen signifikanten Einfluß auf  $\sigma^{\rho}$ . Der Grund hierfür kann möglicherweise darin liegen, dass bei diesem Feld die Bearbeitungsrichtung senkrecht zur Aufnahmerichtung lag, was bei noch nicht geschlossener Vegetationsdecke zu extremen Rückstreuwerten führen kann.

## 7.2 Ergebnis der Regressionsanalyse intensiv genutzter Flächen inkl. Rotationsbrachen

Die Regressionsanalyse basiert auf einem multitemporalen Datensatz, der den Zeitraum der phänologischen Entwicklung für die kartierten Nutzungen umfaßt.

- Die Auswertungen zeigen, dass der Pflanzenwassergehalt und die Feuchtmasse, also diejenigen Faktoren, die direkt über die Dielektrizitätskonstante beschrieben werden können, die Varianz der Radarrückstreuung am deutlichsten beeinflussen.
- Die geometrische Struktur der Pflanzen, die durch die Parameter Wuchshöhe und Ähren/m<sup>2</sup> repräsentiert werden, können die Varianz nur in sehr geringem Maße erklären und auch nur dann, wenn sich relativ starke Unterschiede während des betrachteten Zeitraums ergeben (wie bei Winter- und Sommergerste).
- Die Radarrückstreuung zeigt sich für die Bodenfeuchte nicht sensitiv, sobald eine mehr oder weniger geschlossene Pflanzendecke vorhanden ist, die dann das vorrangige Rückstreumedium darstellt.

Die hier gezeigten Abhängigkeiten können aufgrund der relativ geringen Anzahl der Wertepaare jedoch keine statistisch signifikanten Zusammenhänge beschreiben. Gewisse Tendenzen der Rückstreuung in Abhängigkeit von quantitativen Oberflächenparametern sind aber im C-Band bei  $\nu\nu$ -Polarisation offensichtlich. Dennoch bleibt unverkennbar, dass bessere Ergebnisse zur Erfassung des Einflusses quantitativer Parameter aus SAR-Daten nur durch mehrfrequente oder multipolarimetrische Anwendungen erreicht werden können.

Auch HAMACHER (2000) und HAMACHER et al. (2001) kommen nach einer multiplen Regressionsanalyse für Wintergetreiden auf vergleichbare Ergebnisse: Bei Winterweizen sind es die Parameter Pflanzenhöhe und Ährenfeuchte mit einem Bestimmtheitsmaß von  $r^2=0,71$ ; bei Wintergerste mit einem Bestimmtheitsmaß von  $r^2=0,81$  sind es die Pflanzenhöhe, die Frischmasse und die Ährentrockenmasse. Für Winterroggen erzielen immerhin vier Parameter (Ährenfrischmasse, Ährentrockenmasse, Pflanzenwassergehalt, und Ährenneigung) ein Bestimmtheitsmaß von  $r^2=0,8$ . Generell ist festzuhalten, dass sämtliche Einflußfaktoren auf das Rückstreusignal allein Pflanzenparameter sind.

KÜHBAUCH (1999:68) erzielt für Wintergerste im Testgebiet Ostalb mittels linearer Regressionsmodelle sogar für einen Untersuchungszeitraum von Anfang Mai bis Mitte Juli (Schossen-Ernte) ein Bestimmtheitsmass von  $r^2=0,73$  mit den Bestandesparametern (Reihenfolge der Wichtung ihres Erklärungsbeitrages): EC-Stadium, Ährenneigung, Bestandeshöhe und Blattstellung.

HAGEMEISTER & SELIGE (1998) kommen innerhalb des EMAP<sup>20</sup>-Projektes unter Verwendung multipler statistischer Analysen für Getreiden und Raps zu dem Ergebnis, dass eine Isolierung der Rückstreubeiträge der oberen Bodenfeuchte (5cm) von der Bodenrauigkeit mittels ERS-SAR Daten nicht möglich ist. Die Analyse der Vegetation ergab, dass der Rücksteukoefizient von Getreiden und Raps gut mit der trockenen Biomasse korreliert ist (Winterweizen  $r^2=-0,84$ , Wintergerste  $r^2=-0,86$ , Sommerweizen  $r^2=-0,74$ , Raps  $r^2=-0,58$ ). Mais und Kartoffeln hingegen zeigten sichtbare Korrelationen mit der Reihenaufbereitung.

---

<sup>20</sup> EMAP ist die Abkürzung für: ERS-1/-2 Data for Monitoring Agricultural Land use as a long term Projekt.

### 7.3 Statistische Analyse extensiv genutzter Flächen

Die nachfolgenden statistischen Analysen extensiv genutzter Flächen ist mit maximal elf und minimal einem ERS-1 Aufnahmetermine (April-November 1995) auf fünf Schlägen durchgeführt worden. Dies ist für eine Untersuchung mit aussagekräftigen Ergebnissen eine bekanntlich geringe Anzahl an Untersuchungs- bzw. Stichprobenflächen.

Dennoch soll an dieser Stelle exemplarisch untersucht werden, ob mittels einfacher, linearer Korrelationen und einer schrittweisen linearen Regressionsanalyse bestimmte Parameter extrahiert werden können, die einen signifikanten Einfluß auf den Rückstreuoeffizienten extensiv genutzter Schläge haben.

In diesem Kapitel wurden ausschließlich permanent bedeckte Grünlandflächen, nämlich Wiesen, Weiden und mehrjährige Dauerbrachen, betrachtet. Die meistens bis Mitte Mai und nach dem 15. August unbedeckten Schläge der einjährigen Rotationsbrachen mit ihrer typischen sägeblattartigen Reflexionssignatur aufgrund der erhöhten Rückstreuung von unbedeckten Böden und gehäckselten Pflanzen, wurden bereits im vorangegangenen Kapitel behandelt.

	Biomasse feucht g/m <sup>2</sup>	Biomasse trocken g/m <sup>2</sup>	Was- ser- gehalt g/m <sup>2</sup>	Was- ser- gehalt in %	Bio- masse in %	Wuchs- höhe in cm	Boden- bedek- kung %	Nieder- schläge 24h	Boden- feuchte in 5 cm	.Boden trocken- masse %
Wiese No. 2-e	0,03	-0,25	0,09	0,41	-0,41	-0,22	0,13	-0,21	0,35	-0,21
Wiese No. 2-w	0,08	-0,03	0,10	0,42	-0,42	-0,05	-0,60	0,01	0,45	-0,21
Weide No. 133	0,50	0,61	0,45	0,44	-0,44	0,34	0,67	-0,07	-0,06	0,34
Dauerbrache No. 268	0,31	0,13	0,32	0,06	-0,06	0,38	0,73	0,23	0,02	0,33
Dauerbrache No. 312	0,21	-0,16	0,31	0,48	-0,48	-0,15	-0,21	0,66	0,58	-0,41

Tab. 7-8: Einfacher lineare Korrelationskoeffizienten zwischen  $\sigma^0$  und verschiedenen Parametern extensiv genutzter Flächen; 11 Termine.

Tabelle 7-8 verdeutlicht, dass eine schlagbezogene Auswertung von Rückstreuoeffizienten und diversen Parametern mittels einfacher, linearer Korrelationen bei 11 ERS-Aufnahmetermine nicht die Extraktion signifikanter Parameter ermöglicht. Diese liegen ausnahmslos unterhalb eines überzeugenden Wertes von 0,7.

Für die nachfolgenden Auswertungen wurden mittels des Statistikprogrammes SAS (Version 8.0) unter Verwendung des linearen Algorithmus GLM (Generalized Linear Model) multiple Regressionen durchgeführt. Dabei verliefen diese Berechnungen unter Verwendung der „backward selection“: zunächst werden sämtliche im Gelände erhobenen bzw. verfügbaren Parameter, die inhaltlich eine Bedeutung haben, in die Rechenoperation eingegeben. Im Folgenden werden schrittweise solange einzelne Parameter aus der Berechnung herausgenommen, bis die optimale Kombination zur Beschreibung der Radarrückstreuung gefunden ist. Dabei wurde darauf geachtet, eine möglichst kleine Anzahl von Ergebnisparametern zu bestimmen, um zukünftige Felderhebungen oder Modellierungen zu optimieren.

Die Ergebnisse aus den multiplen Korrelationen unter Verwendung von fünf extensiv genutzten Schlägen, neun Parametern und 11 Terminen sind in der nachfolgenden Tab. 7-9 aufgeführt.

Biomasse feucht in g/m <sup>2</sup>	Biomasse trocken in g/m <sup>2</sup>	Pflanzenwasser-gehalt in g/m <sup>2</sup>	Pflanzen- wasser-gehalt in %	Bio- masse in %	Wuchs- höhe in cm	Boden- bedeckung %	Boden- feuchte in 5 cm	Nieder- schläge 24h kum.
-0,02	-0,28	0,06	0,44	-0,44	-0,18	0,19	0,21	0,11

Tab. 7-9: Multiple, lineare Korrelationskoeffizienten zwischen  $\sigma^0$  und diversen Parametern sämtlicher untersuchter Flächen extensiver Nutzung zu 11 Terminen; n=5.

Hierdurch wird deutlich, dass bei einer Verwendung von 11 Aufnahmetermenen kein Parameter einen ausgeprägten Korrelationswert erreicht. Einzig der prozentuale Wassergehalt bzw. die damit in Beziehung stehende prozentuale Biomasse (K= -0,44) erreichen einen Wert, der eine leichte Tendenz sichtbar werden läßt (Abb. 7-1): eine Erhöhung des Wassergehaltes der Pflanzen auf extensiv genutzten Flächen bewirkt auf Grund der Erhöhung der Dielektrizitätskonstanten eher eine Verstärkung des Rückstreukoeffizienten, eine Erhöhung der Biomasse hingegen bewirkt hierbei eher eine Verringerung der Radarückstreuintensität.

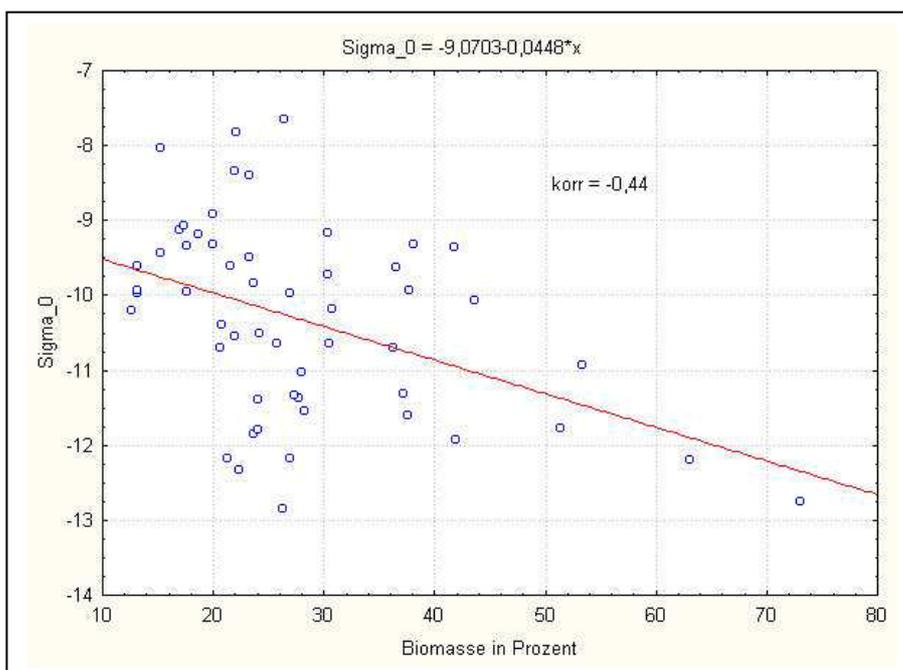


Abb. 7-1: Korrelation zwischen Biomasse (%) und Rückstreukoeffizient extensiv genutzter Schläge bei 11 Aufnahmetermenen; n=5.

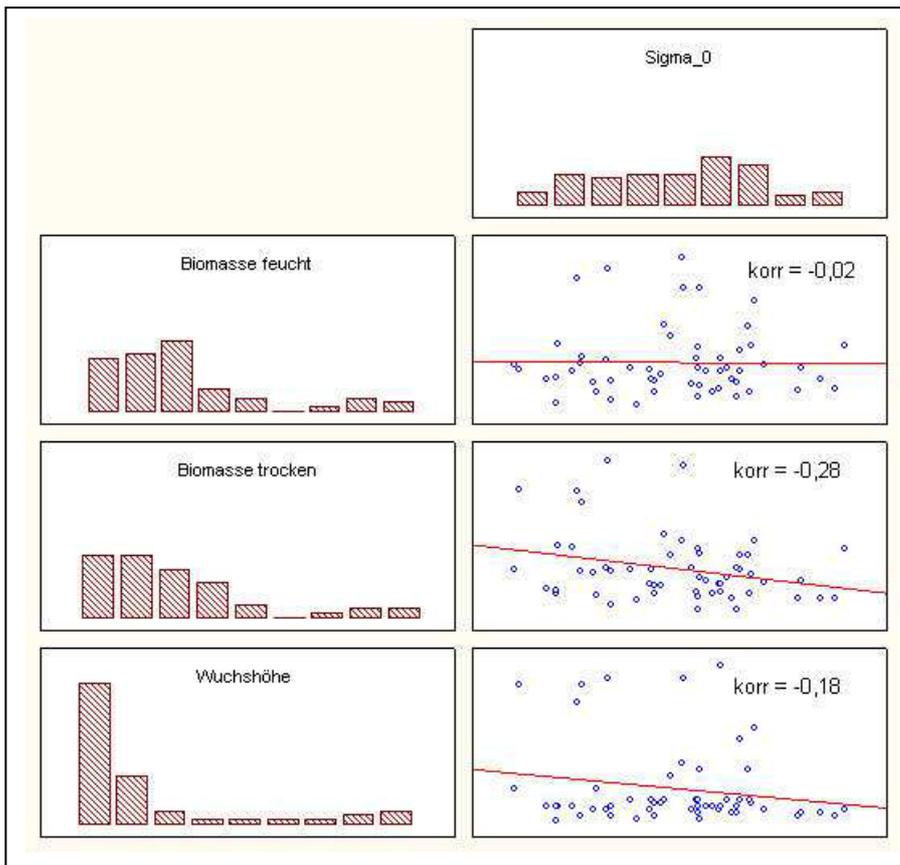


Abb. 7-2: Ergebnisse der multiplen Korrelation von feuchter Biomasse, trockener Biomasse (in %) und Wuchshöhe für extensiv genutzte Schläge bei 11 Terminen; n=5.

Die Ergebnisse der multiplen Korrelationen in Abb. 7-2 zeigen nach systematischer Analyse die drei Parameter mit dem größten Einfluß auf den Rückstreukoeffizienten bei extensiv genutzten Flächen unter Verwendung von 11 ERS-Terminen:

Feuchte Biomasse (g/m <sup>2</sup> ),	Signifikanzniveau: 0.0965
Trockene Biomasse (g/m <sup>2</sup> )	Signifikanzniveau: 0.0029
Wuchshöhe (cm)	Signifikanzniveau: 0.2571

Diese Werte verdeutlichen zusammen mit dem geringen Bestimmtheitsmaß  $r^2=0.141849$  die bescheidene Güte des Ergebnisses. Festzuhalten ist, dass es sich hierbei ausschließlich um Pflanzenparameter handelt. Versuche zur Verringerung auf zwei Parameter während der schrittweisen Berechnung führten zu einer deutlichen Verschlechterung der Werte (siehe Tab. B20 & Tab. B21). Eine nachgeschaltete Hinzunahme vorab selektierter Parameter verschlechterte die Werte wiederum.

Auf Grund der Verschlechterung der Korrelationen durch unterschiedliche Umlaufbahnen und temporäre Ereignisse (z. B. Niederschläge) wurde eine weitere Untersuchungsreihe mit einfachen und multiplen Korrelationen, beschränkt auf maximal sieben Termine, durchgeführt. Die nachfolgende Tab. 7-10 zeigt die schlagbezogenen, einfachen Korrelationen zwischen dem Rückstreukoeffizienten  $\sigma^o$  und verschiedenen Parametern bei unterschiedlicher Anzahl an ERS-Überflügen (5, 6 und 7 Termine). Deutlich wird hierbei, dass schon eine Verringerung auf sieben Termine eine signifikante Erhöhung der Korrelationen zur Folge hat (vgl. Tab. 7-8).

<b>Wiese No. 2 Ost</b>	<b>7 T Desc-Z</b>	<b>6 T Desc-Z</b>	<b>5 T Desc-Z</b>
Biomasse feucht (g/m <sup>2</sup> )	-0,21	-0,02	-0,25
Biomasse trocken (g/m <sup>2</sup> )	-0,50	-0,52	-0,48
Pfl. Wassergehalt g/m	-0,10	0,19	-0,12
Pfl. Wassergehalt %	0,36	0,61	0,40
Pfl. Biomasse %	-0,36	-0,61	-0,40
Wuchshöhe	<b>-0,83</b>	<b>-0,82</b>	<b>-0,74</b>
Bodenfeucht in 5 cm	0,49	0,59	0,44
Niederschläge 48 h (Kum.)	-0,25	0,03	0,28
Niederschläge 24 h (Kum.)	-0,29	0,19	0,43
<b>Wiese No. 2-West</b>			
Biomasse feucht (g/m <sup>2</sup> )	<b>0,61</b>	<b>0,72</b>	<b>0,71</b>
Biomasse trocken (g/m <sup>2</sup> )	0,34	0,34	0,38
Pfl. Wassergehalt g/m	<b>0,62</b>	<b>0,77</b>	<b>0,76</b>
Pfl. Wassergehalt %	<b>0,87</b>	<b>0,93</b>	<b>0,95</b>
Pfl. Biomasse %	<b>-0,87</b>	<b>-0,93</b>	<b>-0,95</b>
Wuchshöhe	0,09	<b>0,71</b>	<b>0,79</b>
Bodenfeucht in 5 cm	<b>0,72</b>	<b>0,74</b>	<b>0,75</b>
Niederschläge 48 h (Kum.)	0,05	0,42	0,49
Niederschläge 24 h (Kum.)	0,04	0,41	0,46
<b>Weide No. 133</b>			
Biomasse feucht (g/m <sup>2</sup> )	<b>0,63</b>	<b>0,70</b>	<b>0,56</b>
Biomasse trocken (g/m <sup>2</sup> )	0,44	<b>0,66</b>	0,53
Pfl. Wassergehalt g/m	<b>0,64</b>	<b>0,69</b>	0,56
Pfl. Wassergehalt %	<b>0,74</b>	<b>0,69</b>	0,57
Pfl. Biomasse %	<b>-0,74</b>	<b>-0,69</b>	-0,57
Wuchshöhe	<b>0,60</b>	<b>0,71</b>	<b>0,89</b>
Bodenfeucht in 5 cm	0,48	0,38	0,26
Niederschläge 48 h (Kum.)	0,24	0,46	-0,07
Niederschläge 24 h (Kum.)	0,21	0,48	0,04
<b>Dauerbrache No. 268</b>			
Biomasse feucht (g/m <sup>2</sup> )	<b>0,79</b>	0,14	0,03
Biomasse trocken (g/m <sup>2</sup> )	0,48	0,16	0,17
Pfl. Wassergehalt g/m	0,79	0,11	-0,04
Pfl. Wassergehalt %	0,44	-0,13	-0,26
Pfl. Biomasse %	-0,44	0,13	0,26
Wuchshöhe	<b>0,83</b>	0,46	<b>0,96</b>
Bodenfeucht in 5 cm	0,14	-0,06	-0,31
Niederschläge 48 h (Kum.)	<b>0,65</b>	-0,12	0,01
Niederschläge 24 h (Kum.)	<b>0,63</b>	0,11	0,23
<b>Dauerbrache No. 312</b>			
Biomasse feucht (g/m <sup>2</sup> )	0,22	-0,17	-0,11
Biomasse trocken (g/m <sup>2</sup> )	-0,44	<b>-0,62</b>	-0,57
Pfl. Wassergehalt g/m	0,41	0,03	0,07
Pfl. Wassergehalt %	<b>0,74</b>	<b>0,69</b>	<b>0,66</b>
Pfl. Biomasse %	<b>-0,74</b>	<b>-0,69</b>	<b>-0,66</b>
Wuchshöhe	-0,34	-0,70	-0,67
Bodenfeucht in 5 cm	<b>0,81</b>	<b>0,93</b>	<b>0,94</b>
Niederschläge 48 h (Kum.)	<b>0,71</b>	0,51	<b>0,64</b>
Niederschläge 24 h (Kum.)	0,69	0,33	0,42

Tab. 7-10: Einfache, lineare Korrelationskoeffizienten zwischen  $\sigma^o$  und verschiedenen Parametern extensiver Schläge bei 5-7 ERS-Terminen.

Es zeigt sich in Tab. 7-10, dass im Unterschied zu den intensiv genutzten Schlägen (Tabelle 7-2) nicht nur überwiegend pflanzliche Parameter ein Potenzial zur Erklärung der Varianz des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  besitzen, sondern auch die geometrische Variable Wuchshöhe. Wie bei den intensiv genutzten Schlägen wird deutlich, dass Pflanzenparameter die Rückstreuung stärker beeinflussen als die Bodenfeuchte oder die Niederschläge. Für einen visuellen Eindruck der extensiv genutzten Untersuchungsflächen zum Zeitpunkt der ERS-Beleuchtung siehe Abb. A9-A16.

Bei einer weiteren Verringerung auf zwei Termine verdeutlicht Tabelle 7-11, dass sich das Grünland, zumindest bei einer Untersuchungsgröße von fünf Schlägen, durch eine hohe Korrelation zwischen der pflanzlichen Biomasse und der Wuchshöhe auszeichnet (siehe dazu auch Abb. A8-A13). Für diese ausgewählten Termine besteht zwischen dem Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  und der feuchten pflanzlichen Biomasse ( $\text{g/m}^2$ ) sowie der Wuchshöhe (cm) ein offenbar deutlicher Zusammenhang. Je höher der pflanzliche Aufwuchs ist und je mehr pflanzliche Biomasse sich auf den extensiv genutzten Schlägen befindet, desto niedriger ist hierbei der Rückstreukoeffizient.

Schläge/Messwerte	20.06.95	Biomasse	Wuchs-	06.07.95	Biomasse	Wuchs-
	Sigma° in dB	feucht g/m <sup>2</sup>	höhe cm	Sigma° in dB	feucht g/m <sup>2</sup>	höhe cm
Wiese No. 2 Ost	-9,18	3403,2	45,0	-8,40	898,4	7,5
Wiese No. 2 West	-7,82	964,8	7,0	-8,91	1896,0	12,5
Weide No. 133	-9,31	2509,6	20,0	-9,97	2604,0	15,0
Dauerbrache No. 268	-9,63	974,4	12,0	-11,03	1778,4	20,0
Dauerbrache No. 312	-11,85	5314,4	100,0	-11,37	5652,8	120,0
Korrelation mit Sigma°		<b>-0,81</b>	<b>-0,88</b>		<b>-0,72</b>	<b>-0,69</b>
Korrelation Bio/WuHö			<b>0,96</b>			<b>0,96</b>

Tab. 7-11: Messwerte sowie einfache Korrelationen zwischen Rückstreukoeffizient, pflanzlicher Biomasse und Wuchshöhe von fünf extensiv genutzten Schlägen zu zwei ausgewählten ERS-Aufnahmetermen.

Das Bestimmtheitsmass der in Tab. 7-Y aufgeführten Schläge ist in der Abb. 7-3 für feuchte Biomasse mit einem Termin und zwei ERS-Aufnahmetermen und in Abb. 7-4 für die Wuchshöhe entsprechend dargestellt.

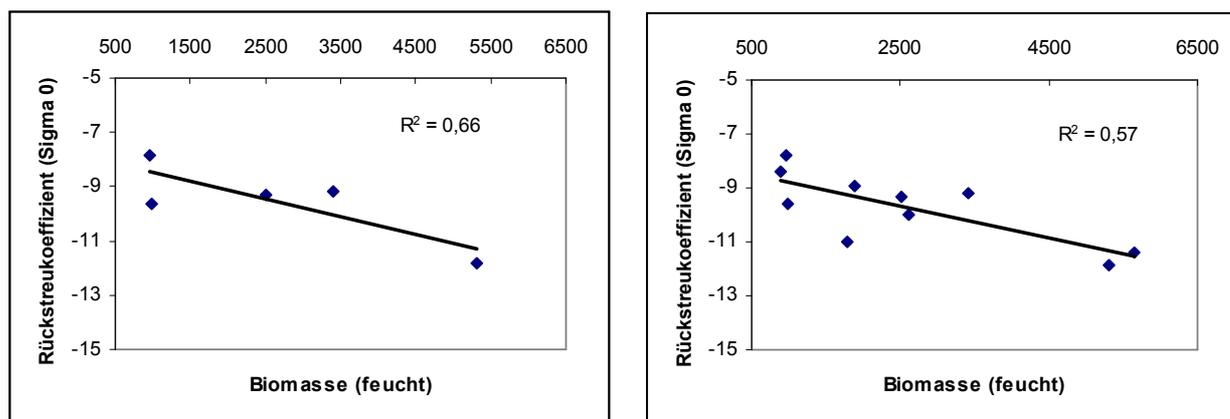


Abb. 7-3: Bestimmtheitsmaß  $r^2$  von extensiven Schlägen ( $n=5$ ) zwischen  $\sigma^0$  und feuchter Biomasse ( $\text{g/m}^2$ ); links: Termin 20.06.1995, rechts: Termine 20.06. & 06.07.1995.

Die relativ guten Werte für die feuchte Biomasse sollen jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass bei der Hinzunahme weiterer Termine das Bestimmtheitsmaß bei 3 Terminen auf  $r^2=0,43$ ; bei 4 Terminen auf  $r^2=0,36$  und bei 5 Terminen sogar auf  $r^2=0,21$  absinkt.

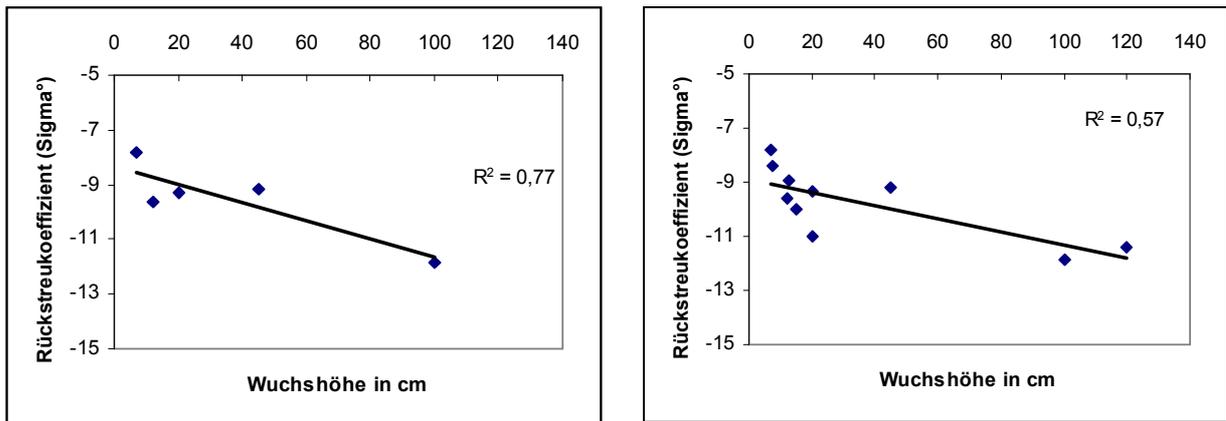


Abb. 7-4: Bestimmtheitsmaß  $r^2$  von extensiven Schlägen ( $n=5$ ) zwischen  $\sigma^0$  und Wuchshöhe (cm); links: Termin 20.06.1995, rechts: Termine 20.06. & 06.07.1995.

Für die Wuchshöhe liegt das Bestimmtheitsmaß für fünf extensive Schläge und einem Untersuchungstermin bei  $r^2=0,77$ , bei zwei Terminen bei  $r^2=0,57$ . Zusammen mit der feuchten Biomasse zwei Parameter, die über die Radarrückstreuung scheinbar gut beschrieben werden können.

Im Vergleich mit den Wuchshöhen der Tab. 7-11 fällt auf, dass bei sehr hohem Bewuchs das Radarsignal nicht mit einer entsprechend hohen Absenkung reagiert. Man könnte für eine Verbesserung der Zusammenhänge Überlegungen anstellen, ob für die Messung der Wuchshöhe speziell bei Grünland der maximale Höhenwert die entscheidende Angabe ist. Durch Variation dieses Wertes bei großen Wuchshöhen konnte durch „simulierte Mittelung“ der Wuchshöhe das Bestimmtheitsmaß bei einem Termin auf einen Wert von  $r^2=80$ , bei zwei Terminen auf  $r^2=0,60$  erhöht werden. Bei der Angabe der feuchten Biomasse stößt man allerdings an die Grenzen, da keine Mittelungen möglich sind. Diese Werte lassen sich hinsichtlich des Bestimmtheitsmaßes nicht „optimieren“.

Infolge der mäßigen Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse mit 11 Aufnahmetermeninen wurde ein zweiter Arbeitsschritt durchgeführt: die Terminanzahl wurde auf 7 reduziert, ausnahmslos mit absteigender Umlaufbahn<sup>21</sup>.

Biomasse feucht in $g/m^2$	Biomasse trocken in $g/m^2$	Pflanzenwasser-gehalt in $g/m^2$	Pflanzenwasser-gehalt in %	Bio-masse in %	Wuchs-höhe in cm	Boden-bedeckung %	Nieder-schläge 48h kum	Nieder-schläge 24h kum.
0,02	-0,37	0,12	0,55	-0,55	-0,06	0,31	0,21	0,20

Tab. 7-12: Multiple, lineare Korrelationskoeffizienten zwischen  $\sigma^0$  und diversen Parametern sämtlicher untersuchter Flächen extensiver Nutzung zu sieben ERS-Terminen;  $n=5$ .

<sup>21</sup> Ausgewählte Termine bei 7 ERS-Aufnahmen: 27.04., 02.06., 06.07., 10.08., 14.09., 19.10., 23.11.1995.

Tabelle 7-12 zeigt die Korrelationskoeffizienten zwischen der Rückstreuung und den neun Eingabeparametern. Dabei deuten die trockene Biomasse, der Pflanzenwassergehalt und die Bodenbedeckung ihr Potenzial zur Beschreibung der Radarrückstreuwerte schon vor der Regressionsanalyse an (vgl. Abb. 7-5).

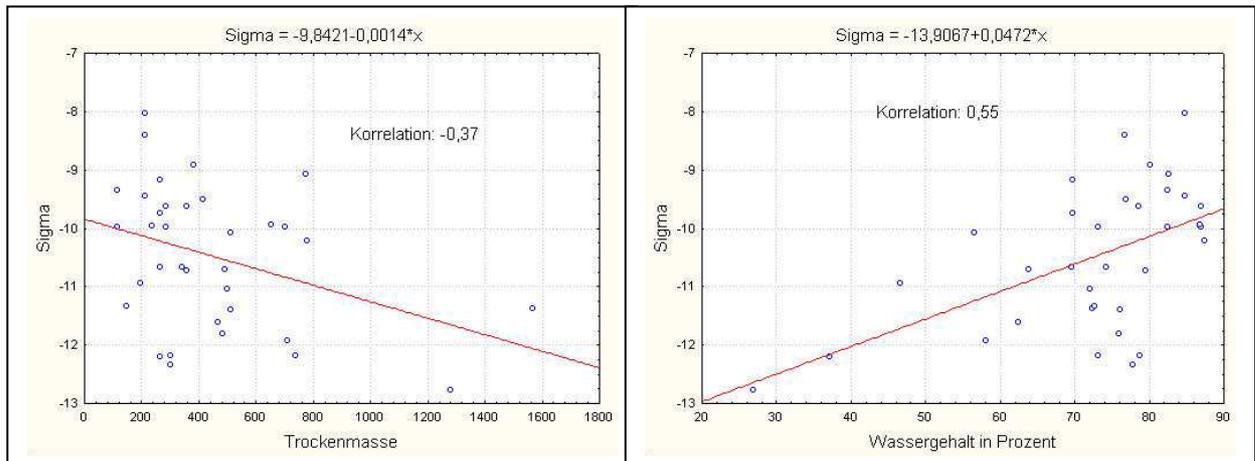


Abb. 7-5: Multiple Korrelationen von trockener Biomasse ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) und Pflanzenwassergehalt (in %) mit dem Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  bei extensiv genutzten Schlägen;  $n=5$ , 7 Aufnahmetermine.

Aus diesen neun Eingangsparametern wurden nach schrittweiser Selektion letztlich drei in das Gleichungssystem bei der multiplen Regressionsanalyse aufgenommen. In Tab. 7-13 sind die Bestimmtheitsmasse  $r^2$  der einzelnen Parametergruppen aufgeführt.

Grünland-Parameter	Bio-feucht , Bio-trocken, Bedeckung%	Bio-feucht , Bio-trocken, Wuhö, Bedeckung%	Bio-feucht , Bio-trocken, Wuhö, Bedeckung%, N48	Bio-feucht , Bio-trocken, Wuhö, BioWasser%, Bedeckung%, N48
$r^2$	<b>0.3906</b>	0.410	0.4185	0,4236

Tab. 7-13: Multipler Korrelationskoeffizient bei 7 ERS-Aufnahmeterminen zwischen  $\sigma^0$  und verschiedenen Parametern für Grünland,  $n=5$ .

Als Ergebnis ist festzuhalten, dass mit 39% die ERS-Rückstreuung über die Parameter feuchte Biomasse ( $\text{g}/\text{m}^2$ ), trockene Biomasse ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) und den Bedeckungsgrad (in %) laut der Regressionsanalyse gut beschrieben wird. Die Hinzunahme weiterer Parameter verbessert das Bestimmtheitsmass nicht wesentlich.

Die einzelnen Signifikanzniveaus der drei bedeutendsten Parameter ist Spalte  $\text{Pr}>|t|$  der Tab. 7-14 zu entnehmen. Dabei hat bei dieser Auswertung die trockene Biomasse auf Grund des geringen Wertes das höchste Signifikanzniveau. Weitere Details und Werte der einzelnen Verfahrensschritte zur multiplen Regressionsanalyse mit sieben Terminen befinden sich in Tab. B 22 & B23.

Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	19.18475000	<b>6.39491667</b>	6.65	0.0013
Error	31	29.79263857	0.96105286		
Corrected Total	34	48.97738857			
	R-Square	Coeff Var	Root MSE	Sigma Mean	
	<b>0.391706</b>	-9.360192	0.980333	-10.47343	
	Parameter	Estimate	Error	t Value	Pr >  t
	Intercept	-9.662377274	0.35288931	-27.38	<.0001
	<b>Bio_feucht</b>	0.000384314	0.00017605	2.18	<b>0.0367</b>
	<b>Bio_trocken</b>	-0.002934762	0.00076301	-3.85	<b>0.0006</b>
	<b>Bedeckungsproz</b>	-0.072619238	0.03229251	-2.25	<b>0.0318</b>

Tab. 7-14: Abschlußergebnis der multiplen Regressionsanalyse bei sieben ERS-Aufnahmetermen für die Parameter feuchte Biomasse, trockene Biomasse und Bedeckungsgrad in %, n=5.

#### 7.4 Ergebnisse und Diskussion der statistischen Analysen extensiv genutzter Flächen

Folgende Ergebnisse der statistischen Untersuchungen extensiv genutzter Schläge können somit festgehalten werden:

- eine Anzahl von nur fünf Versuchsflächen ist zu gering, um die Ergebnisse ausreichend zu untermauern,
- 11 Aufnahmetermine sind im Verhältnis dazu sehr viel; weder die multiple Regressionsanalyse noch die einfachen Korrelationen ergaben brauchbare Resultate,
- bei Verringerung der Termine von elf auf sieben liefert die multiple Regressionsanalyse tendenziell brauchbare Werte,
- aus sechs Eingangsparametern stellen sich drei Parameter – feuchte Biomasse, trockene Biomasse und Bedeckungsgrad – mit dem größten Informationsgehalt heraus; das Bestimmtheitsmaß beträgt  $r^2=0,39$ ,
- das Signifikanzniveau ist jedoch bis auf den Parameter trockene Biomasse weiterhin relativ niedrig,
- bei Reduzierungen auf fünf bis sieben Termine liefert auch die einfache, lineare Korrelation schon gute Hinweise auf Zusammenhänge zwischen den Pflanzenparametern und dem Rückstreukoeffizienten,
- bei einer Verringerung auf zwei bzw. einen Befliegungstermin können exemplarisch für feuchte Biomasse und die Wuchshöhe mittels einfacher Regression brauchbare Bestimmtheitsmaße zwischen diesen beiden Parametern und dem Rückstreukoeffizienten bestimmt werden:  $r^2=0,77$  bzw.  $r^2=0,66$ ,
- bei extensiver Nutzung wird das Radarsignal zumeist durch Pflanzenparameter beeinflusst, die überwiegend über die Dielektrizitätskonstante und die Struktur beschrieben werden: feuchte und trockene Biomasse, Bodenbedeckungsgrad und Wuchshöhe.

In der Literatur findet sich zu dieser Thematik folgendes: STOLZ & MAUSER ermitteln (1997) aus 12 ERS-Datensätzen (1992-94) im bayrischen Alpenvorland mittels 40 vor-Ort-Messungen auf 22 extensiv genutzten Wiesenstandorten zwischen dem Rückstreukoeffizienten und der trockenen Biomasse ebenfalls eine geringe Korrelation von  $r^2=0,54$ . Zwischen dem Rückstreukoeffizienten und der mittleren Wuchshöhe<sup>22</sup> hingegen wird eine Korrelation mit sämtlichen Aufnahmetermine von  $r^2=0,75$  ermittelt. Durch Beschränkung auf niederschlagsfreie Aufnahmetermine erhöhte sich die Korrelation sogar auf  $r^2=0,86$ . Damit ist nach Ansicht der Autoren die Abschätzung der Biomasseverteilung im Testgebiet möglich.

SVENDSEN & SARABANDI (1998) gehen einen Schritt weiter und erstellen für polarimetrische L- und C-Banddaten aus den Parametern Blätterdachhöhe, Pflanzenwassergehalt (Vol.%), Pflanzendichte ( $m^2$ ), Bodenfeuchte (Vol.%) und Bodenrauigkeit (RMS in cm) ein empirisches Grünland-Modell, um Vegetationsparameter aus SAR-Daten zu extrahieren. Dies gelingt mit einem RMS-Fehler von lediglich 6,4 cm bei durchschnittlich 12-38 cm Wuchshöhe der Testflächen.

HEROLD et al. (2000) untersuchen multifrequente und multipolarimetrisch Radardaten hinsichtlich hydrologisch relevanter Parameter. In der Rückstreukategorie „niedere Vegetation“ lassen sich Ackerbau und Grünlandnutzungen ebenfalls gut abtrennen, wobei die Stärke der Rückstreuung beim Grünland vom Pflanzenwassergehalt maßgeblich bestimmt wurde.

---

<sup>22</sup> Die mittlere Wuchshöhe setzte sich bei diesen Messungen zusammen aus: Höhe der unteren Krautschicht und gemittelte, maximale Wuchshöhe.

## 8 Visuelle Interpretation der Radardaten

An dieser Stelle soll das Potenzial von ERS-1/2 Radarsatellitendaten bei rein visueller Interpretation kurz dargelegt werden.

### 8.1 Landkreis Göttingen

Die Abb. 3-6 zeigt eine ERS-1-Farbkomposite des Göttinger Landkreises. Die Farbgebungen sind wie folgt entstanden: Der Aufnahmeterrnin vom 01.06.95 wurde auf den roten Kanal, der Termin vom 27.04.95 auf den grünen Kanal und der Termin vom 06.07.95 auf den blauen Kanal bei der digitalen Bildverarbeitung gelegt. Die Darstellung entstand durch Ausmaskierung mittels der digitalen Landkreisgrenze. Die Ausmaße des Landkreises Göttingen sind ca. 50 km (O-W) x 30 km (N-S). Die Beleuchtung der Erdoberfläche erfolgte durch die Radarantenne zu allen drei Terminen einheitlich aus ca. 98,5° (absteigende Umlaufbahn).

Beim Betrachten der Aufnahme des Landkreises Göttingen wird sofort ersichtlich, dass die Kombination der drei Radartermine eine passable visuelle Interpretation ermöglicht. Neben der in weiss dargestellten Stadt Göttingen (1) mit dem historischen Siedlungskern – hervorgerufen durch eine hohe Rückstreuung zu jedem Aufnahmeterrnin - fällt sofort die Schichtstufe des Göttinger Waldes als zentrales Element (2) ins Auge. Durch die Exposition der Schichtstufe zur Radarantenne wird ebenfalls zu jedem Aufnahmeterrnin eine hohe Rückstreuung und somit eine weiße Farbgebung bewirkt. Größere zusammenhängende Flächen forstlicher Nutzung befinden sich auf den Flächen des Göttinger und Reinhäuser Waldes (3), an der westlichen Grabenschulter des Leinetalgrabens (4) und weiter westlich im Bereich des Weserberglandes (5). Deutlich wird hierbei, dass die Mikrowellen des C-Bandes nicht eindeutig zwischen Laub- und Nadelwald unterscheiden. Die graue Farbgebung der Wälder wird durch eine gleichmäßig mittlere Rückstreuung zu jedem Aufnahmeterrnin hervorgerufen.

Die bunten Farbtöne repräsentieren überwiegend landwirtschaftlich genutzte Flächen, die auf Grund ihrer unterschiedlichen Rückstreuung während der drei Aufnahmeterrnne verschiedenfarbig sind. Diese Veränderungen, hervorgerufen durch die phänologiespezifische Rückstreuung der Pflanzenbestände, sind für einige intensive Nutzungsarten charakteristisch. Es fällt auf, dass die Rapsschläge (hellblau) überwiegend außerhalb der Leineau zu finden sind. Dies ist mit den geringeren Boden/Ackerzahlen außerhalb des sehr fruchtbaren Bodens in der Leineau begründet. Durch die durchweg besseren Böden in der Leineau werden dort bevorzugt Zuckerrüben (hellgelb und weinrot) angebaut. Die Mehrzahl der Schläge sind mit Wintergerste resp. Winterroggen (dunkelblau) und Winterweizen resp. Hafer (dunkelgrün) bestellt. Diese Getreideflächen verteilen sich ohne erkennbares Muster im gesamten Landkreis.

Im Gegensatz zu dieser multitemporalen Farbkomposite können einzelne ERS Aufnahmen nur für eine morphologische oder geotektonische Auswertung, bei der z. B. Höhenzüge oder Verwerfungen zu kartieren sind, herangezogen werden (SPÖNEMANN & SCHIECHE 1996). Selbst zu einem optimalen Zeitpunkt, bei dem zwischen den einzelnen Landwirtschaftspflanzen große Unterschiede bezüglich der Entwicklung und somit der Reflexion bestehen (z. B. 06. Juli), sind lediglich die Winterweizen- und Winterroggensschläge als dunkle Bereiche abzugrenzen. Die Schläge mit Zuckerrüben und Wintergerste sowie die Waldflächen haben denselben Grauton (siehe Abb. A17).

## 8.2 Testgebiet Reinshof

Der Ausschnitt des 8 km x 8 km großen Testgebietes (Abb. 8-1) verdeutlicht die Möglichkeiten, eine sinnvolle visuelle Abgrenzung auf Grundlage einer aus drei Aufnahmetermen bestehenden ERS-Farbkomposite durchführen zu können<sup>23</sup>.

Für eine bessere visuelle Abgrenzung der farbigen Landwirtschaftsflächen wurden aus insgesamt 16 DGK5-Blättern Grenzen digitalisiert und den ERS-Rasterdaten im Vektorformat in weisser Farbgebung überlagert. Diese aus Flurstückskarten oder älteren Luftaufnahmen durch das LGN<sup>24</sup> erstellten Schlaggrenzen verdeutlichen, dass eine manuelle Kartennachführung im festgelegten 5-Jahres-Turnus den heutigen schnellen Veränderungen bei der aktuellen Schlagaufteilung der Landwirte nicht mithalten kann.

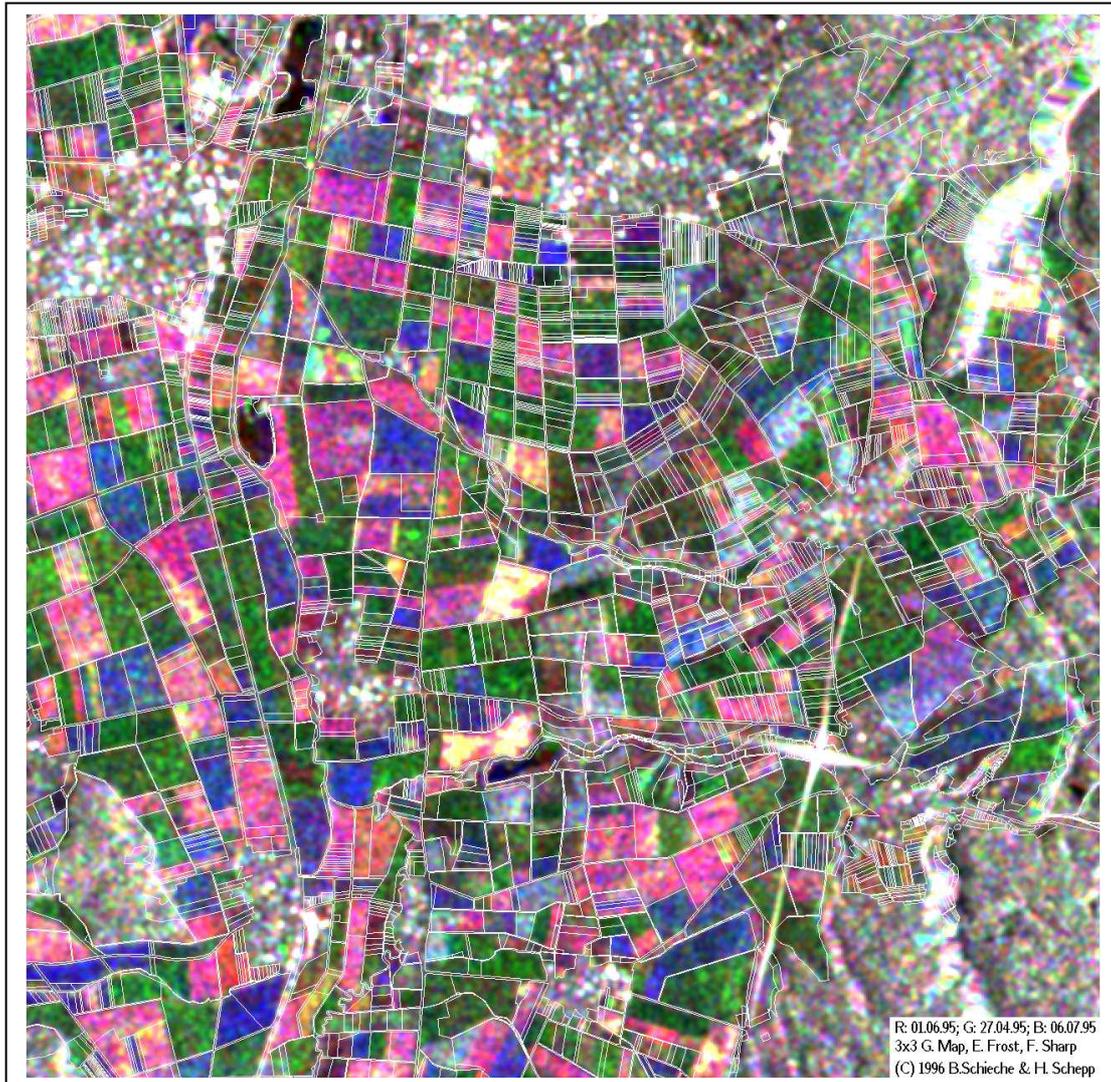


Abb. 8-1: Multitemporale Farbkomposite des Testgebietes Reinshof (8 km x 8 km), roter Kanal: 01.06.95; grüner Kanal: 27.04.95; blauer Kanal: 06.07.95.

<sup>23</sup> Anmerkung: Das auffällig weisse, sternenförmige Gebilde am rechten Bildrand ist ein sogenannter Überschwinger. Dies in der Radarfernerkundung bekannte Phänomen wird in diesem Fall durch ein Gewächshaus erzeugt, das hinsichtlich der Dachneigung und -ausrichtung exakt in Richtung der ERS-Radarantenne orientiert ist. Bei anderen ERS-Überflugbahnen tritt diese Erscheinung auf Grund anderer Beleuchtungswinkel der Radarantenne nicht auf.

<sup>24</sup> Landesvermessung + Geobasisdaten Niedersachsen.

Die termin- und nutzungsabhängige Farbgebung ausgewählter Landwirtschaftsflächen läßt sich wie folgt herleiten (siehe dazu auch Abb. A18):

Farbton	Nutzung	Mögliche Ursachen
Hellgelb bis Weiss	Zuckerrüben	- Bearbeitungsrichtung auf den Schlägen in Richtung Nord-Süd (genau 10°), - somit orthogonal zur Radarantenne, - an 2 Terminen (April & Juni) hohe Rückstreuung und zum 06.07. relativ geringer.
Bordeauxrot und Pink	Zuckerrüben	- Bearbeitungsrichtung auf dem Schlag in Richtung Ost-West bzw. Nordwest-Südost, - somit nicht orthogonal zur Radarantenne, - auf Grund des Feldaufganges von ZR nach dem 27.April relativ höhere Rückstreuung zum „roten“ und „blauen“ Termin.
Dunkelblau	Wintergerste und -roggen	- Abknicken der Ähren zur Reife, - somit relativ erhöhte Rückstreuung zum „blauen“ Zeitpunkt 06. Juli.
Grün	Winterweizen und Hafer	- Kein Abknicken der Ähren zur Reife, - während und nach dem Schossen hohe Absorption der Radarwellen im Bestand, - somit vor Beginn des Längenwachstums zum „grünen Termin“ (27.04.) relativ höhere Rückstreuung.
Cyanblau	Raps	- Stadium der Blüte zum „grünen“ Termin, - somit erhöhte Rückstreuung, - Abreife der Pflanzen im Sommer, - somit ebenfalls erhöhte Rückstreuung zum „blauen“ Termin, - ergibt additiv eine cyanblau Färbung.
Schwarzgrün	Grünland	- Kurze Gräser auf den Wiesen, Weiden und Dauerbrachen, - somit geringe Rückstreuung zu allen 3 Aufnahmetermen.

Tab. 8-1: Farbton, Nutzung und mögliche Ursachen der Reflexion von ausgewählten Landwirtschaftsflächen im Testgebiet Reinshof.

Die Abbildung 8-1 zeigt die optimale Terminkombination sämtlicher ERS-Aufnahmen zur visuellen Abgrenzung von Landwirtschaftsflächen. Dies gilt sowohl für die Terminauswahl als auch für die RGB-Kanalbelegung<sup>25</sup>. Sämtliche anderen Kombinationen boten nicht diese Unterscheidungsmöglichkeiten. Diese ansprechende visuelle Abgrenzung wird durch die signifikanten Unterschiede bezüglich der Phänologie der landwirtschaftlichen Hauptnutzungen zu den drei Terminen - Ende April, Anfang Juni und Anfang Juli – ermöglicht.

<sup>25</sup> Die drei Kanäle rot, grün und blau (RGB) ermöglichen bei der 8-Bit tiefen digitalen Bildverarbeitung die optische additive Farbmischung und somit die theoretische Erstellung von ca. 16 Mio Farben.

## 9 Analyse des Satellitenbildmaterials

Wie bereits einleitend erwähnt, verläuft die Bearbeitung der Radarbilder und der daraus abgeleiteten Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  in zwei Schritten, wobei zunächst nur die Aufnahmen von 1995 analysiert und anschließend die Merkmale der Rückstreuung über einen frühen Zeitraum (Winter / Frühjahr) sowie über die gesamte Anbauperiode (Sept. 1995 bis Aug. 1996) betrachtet werden.

Die Auswertung erfolgt zum einen durch die Temporal-Signaturen des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für die verschiedenen Nutzungen. Diese Verlaufssignaturen sollen die Möglichkeiten der Abgrenzung landwirtschaftlicher Nutzung mittels der temporalen Variabilität bestimmter, den Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  beeinflussenden, Objektparameter aufzeigen.

Die ermittelten Zusammenhänge gehen anschließend als Interpretationshilfe in die Klassifikation der Radarbilder ein.

### 9.1 Temporalsignaturen des Rückstreukoeffizienten $\sigma^0$

#### 9.1.1 Methodik

Die Auswertung multispektraler Bilder aus dem optischen und infraroten Spektralbereich stützt sich seit langem auf Spektralsignaturen, mit denen Objekte, z. B. Flächen landwirtschaftlicher Nutzung, aufgrund der in mehreren Spektralbereichen unterschiedlichen Strahlungsintensität unterschieden werden können.

Analog dazu macht man sich in der Radarfernerkundung den Umstand zunutze, dass die Radarrückstreuung verschiedener Reflexionsoberflächen vom Zeitpunkt der Aufnahme abhängig ist. Diesen Umstand machten sich mittels multitemporaler Analyse bereits u. a. SCHMULLIUS & NITHACK (1993 & 1994) und WOODING et al. (1993) zu nutze. BORGEAUD et al. (1994) führten das Konzept der Reflexionssignatur als Ausdruck der zeitlichen Variabilität ein.

Dieser multitemporale Ansatz berücksichtigt neben der Rückstreuintensität für eine bestimmte Nutzungsform zusätzlich Änderungen der Oberflächenstruktur innerhalb eines Beobachtungszeitraumes. Auf diese Weise erhält man aus mehreren Aufnahmen des gleichen monofrequentiellen SAR-Sensors für verschiedene Oberflächentypen jeweils eine charakteristische Temporalsignatur des Rückstreukoeffizienten.

Um eine größtmögliche Vergleichbarkeit zu garantieren, sollten Temporalsignaturen für eine Abfolge von Aufnahmezeitpunkten erstellt werden, die im Bestfall eine identische geometrische Aufnahmekonstellation aufweisen. Der Grund hierfür ist, dass die Rückstreuung unter Umständen von der Beleuchtungsrichtung abhängig ist. Dieser Fall tritt bei landwirtschaftlich genutzten Flächen bei wechselndem Verhältnis der Bearbeitungsrichtung zur Beleuchtungsrichtung auf.

Für die Auswertung der Temporalsignaturen der ERS-SAR-Daten werden deshalb ausschließlich Überflüge aus absteigender Orbitrichtung (desc-z; desc-w) verwendet. Zur Deutung der Signaturverläufe dienen die in Kap. 5 aufgezeigten Zusammenhänge zwischen ausgewählten Objektparametern und dem Rückstreukoeffizienten.

Eine Voraussetzung der Erstellung von Temporalsignaturen ist, dass sich die Oberflächen nur im Rahmen ihrer natürlichen Variation verändern und nicht dauerhafte Veränderungen im Sinne einer Degradation, Sukzession usw. erfaßt werden („change detection“). Der multispektrale Ansatz setzt für eine saisonübergreifende Analyse des Rückstreukoeffizienten außerdem voraus, dass die Temporalsignatur der Reflexionsoberfläche stabil ist, d. h. die Verläufe der Streukoeffizienten sind charakteristisch und damit reproduzierbar

(HOFFMANN 1998). Diese Annahme soll im Rahmen eines mehrjährigen Vergleichs der Rückstreuwerte im Testgebiet Reinshof verifiziert werden.

### **9.1.2 Vergleich der Temporalsignaturen für extensive und intensive Formen landwirtschaftlicher Nutzung**

Die Auswertung der Temporalsignaturen umfaßt zwei thematisch getrennt zu behandelnde Beobachtungszeiträume:

- (1) die Überflugtermine zwischen dem 02.04.1995 und dem 19.10.1995, die für die dominierenden landwirtschaftlichen Nutzungen den Zeitraum der phänologischen Entwicklung bis zur Ernte beinhalten;
- (2) die Überflugtermine zwischen dem 19.10.95 und dem 16.05.96, mit Ausnahme des Februar-Termins, dessen schlechte radiometrische Auflösung keine Differenzierung ermöglicht.

Die Radarbilder der beiden Zeiträume werden unter verschiedenen Aspekten analysiert: Der Schwerpunkt der Auswertung des ersten Beobachtungszeitraumes liegt in der Analyse des Rückstreuverhaltens und der zeitlichen Dynamik von extensiv genutzten landwirtschaftlichen Flächen und deren Abgrenzung zu intensiv genutzten Flächen. Die Termine des zweiten Beobachtungszeitraums schließen den Zeitraum der Bodenbearbeitungsmaßnahmen und Pflanzenentwicklung im Frühstadium ein und sollen mit den Möglichkeiten der Frühabschätzung landwirtschaftlicher Nutzung die Abgrenzung extensiver zu intensiven Landnutzung verbessern.

Das übergreifende Ziel der Auswertung ist die Ableitung charakteristischer Temporalsignaturen der Radarrückstreuung für eine maximale Anzahl intensiver und extensiver agrarischer Nutzungen zu verschiedenen Zeitpunkten der Anbauperiode.

#### **9.1.2.1 Abgrenzung extensiver und intensiver Landnutzung**

Die Differenzierung der Landnutzung geht aus den Tabellen 3-1 und 3-2 hervor. Als intensive Landnutzung werden im Untersuchungsgebiet verschiedene Getreidearten, Raps und Zuckerrübe unterschieden; für die Auswertung der extensiv genutzten Flächen erfolgt eine Gliederung in Grünland (Wiesen/ Weideland), Dauerbrache (mehrjährig) und Rotationsbrache (einjährig).

Die im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Temporalsignaturen stimmen in den Grundzügen mit denen anderer europäischer Regionen überein, sowohl im zeitlichen Wandel als auch in der Größenordnung des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  (vgl. ESA SPECIALIST PANEL 1995). Die Verschiebungen der Maxima und Minima resultieren aus der regional unterschiedlichen phänologischen Entwicklung.

Die saisonalen Reflexionsfaktoren unterscheiden sich im zeitlichen Verlauf für intensive landwirtschaftliche Nutzungen sehr markant. Eine signifikante Abgrenzung der dominierenden Ackerfrüchte ist bei Auswahl optimaler Überflugtermine während der Vegetationsperiode schon mit vier bis sechs ERS-Radarbildern möglich. Die Mittelwerte der vorherrschenden intensiven Nutzungen sind in Abb. 9-1 in einer zeitlichen Abfolge von acht Befliegungsterminen aufgetragen. Die Signaturverläufe sollen im Folgenden anhand der wichtigsten saisonalen Reflexionsfaktoren (vgl. Kap. 6.2) für die Hauptnutzungen im Untersuchungsgebiet exemplarisch erläutert werden (ZR=Zuckerrübe, RA=Winteraps, WR= Winterroggen, WG=Wintergerste, WW=Winterweizen).

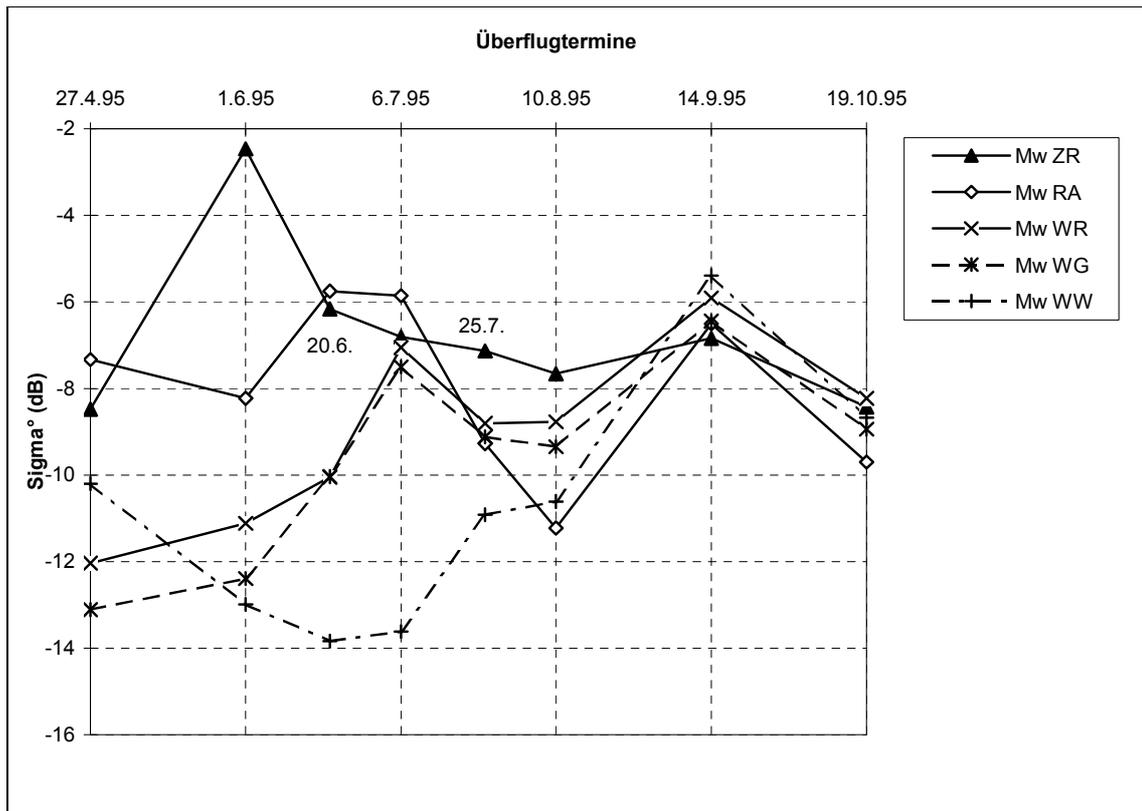


Abb. 9-1: Verlauf der Mittelwerte des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für die Hauptnutzungs-klassen (1995).

### 9.1.2.2 Temporalsignaturen von Winterraps

Rapsschläge (Abb. 9–2). sind vor der Blühphase (EC 59) durch relativ breite, überwiegend horizontal ausgerichtete, vitale Blätter gekennzeichnet. Diese ergeben für das Cvv-Radarsignal eine rauhe, dichte Oberfläche, die sich stark streuend auswirkt, so dass der Rückstreukoeffizient  $\sigma^0$  relativ hoch ist. Während der Blühphase (EC 65) scheint durch die nahezu flächendeckenden Blüten eine stärkere, diffuse Streuung vom Sensor weg einzusetzen. Mit der überwiegend horizontalen Schotenbildung (EC 79) wird die Oberfläche wiederum dichter und die Strahlung dringt nicht so tief in den Bestand ein. Infolge geringerer Volumenstreuung im Bestand sowie geringerer Ankoppelung der Radarwellen an überwiegend vertikale Pflanzenteile wird das Radarecho nun verstärkt zur Antenne reflektiert. Dies bleibt bei wachsender Reife (EC 80 & EC 83) durch die weiterhin vitalen Schoten so bestehen. Beginnend mit der zunehmenden Reife (EC 91) wird die Schicht der reflektierenden Schoten auf Grund abnehmenden Wassergehaltes lichter, so dass sich der Anteil der Volumenstreuung sich wieder erhöht und der Anteil der Ankoppelung vermindert. Ergänzend dazu findet evtl. eine zunehmende Rückstreuung von der Bodenoberfläche statt. Siehe dazu auch Abb. A4.

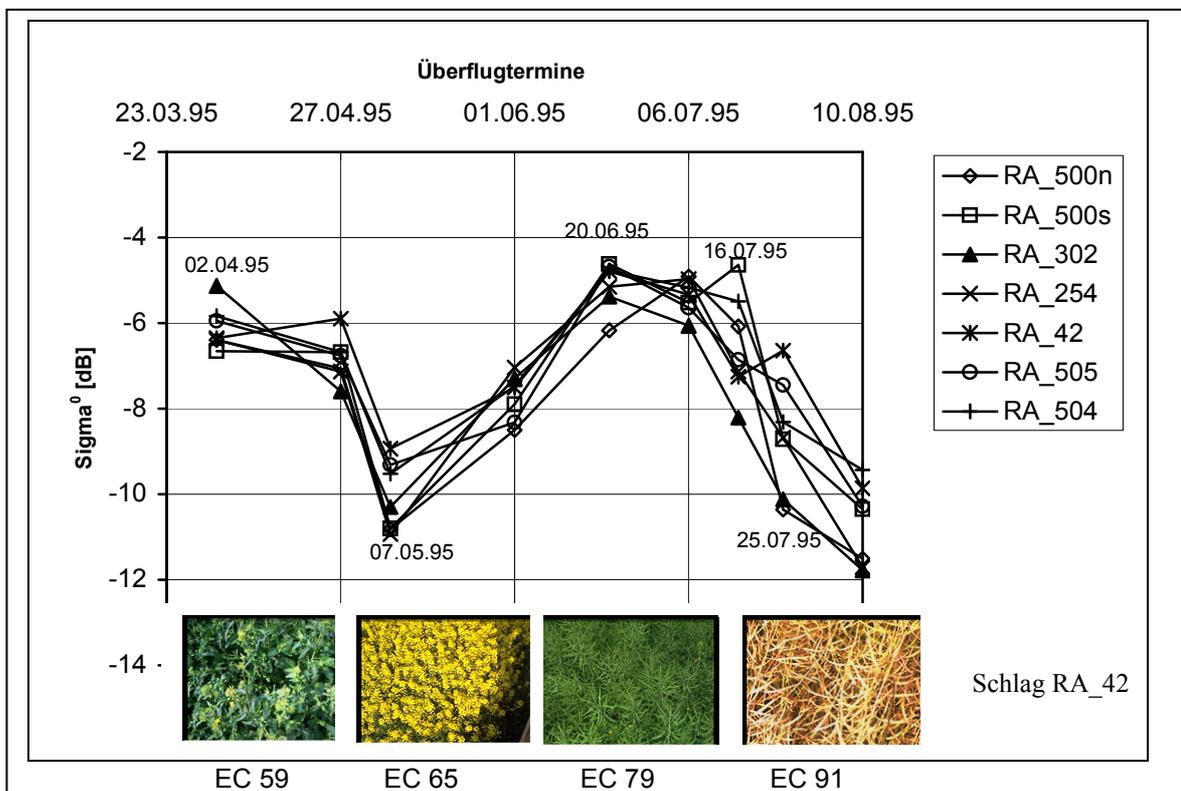


Abb. 9-2: Verlauf des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für Raps (RA), (1995).

### 9.1.2.3 Temporalsignaturen von Winterweizen und -gerste

In ähnlicher Weise wirken sich saisonale Faktoren auf die Rückstreuung von Getreideschlägen aus (Abb. 9–3). Allerdings beginnt hier die Untersuchung für Winterweizen mit dem Stadium des Schossens. Die damit verbundene Erhöhung des Anteils vertikaler Pflanzenteile bewirkt eine Absenkung der Rückstreuung infolge vermehrter Ankoppelung der Radarwellen u. a. an die Stengel. Bei beiden Getreiden steigt zu Beginn der Ährenreife (EC 70) die Reflexion zunächst aus analogen Gründen wie beim Raps an. Die Auswirkung

der Oberflächenstruktur des Bestandes wird durch den nun folgenden Unterschied von Wintergerste und Winterweizen deutlich. Da die Gerste sich schneller entwickelt, beginnt die Abreife bereits Anfang Juni. Mit der Ausbildung der stark begrannnten, waagrecht stehenden Ähren (EC 87) kommt es in diesem Stadium zu einer besonders starken Reflexion. Mit dem Übergang zur Vollreife (EC 91; nicht abgebildet) und der damit verbundenen Ährensenkung – gekoppelt an eine Verringerung des Wassergehaltes der Ähren – kommt es wieder zu einer erhöhten Durchlässigkeit der Radarsignale in den Bestand und somit zu einer Abnahme der Rückstreuung infolge erhöhter Volumenstreuung. Der weitere Verlauf der Rückstreusignatur ab dem 10.08. ist geprägt durch temporäre Faktoren der Bodenoberfläche, die abhängig sind von der Folgefrucht.

Letztlich scheint bei Wintergerste die Kombination aus dicht stehenden Ähren mit überwiegend horizontaler Ausrichtung ab dem EC 87 die Ursache für den signifikanten Anstieg der Rückstreuung zu sein.

Allein den Wiederanstieg mit der Oberflächenrauigkeit durch die Ährenentwicklung zu begründen (SCHMULLIUS et al. 1993; SCHMULLIUS & NITHACK 1993) ist nach den Befunden aus dieser Untersuchung nicht haltbar, da im Vergleich dazu die Ährenentwicklung bei Winterweizen zu keinem signifikanten Anstieg führt (siehe Abb. 9-3 sowie Abb. A1 & A2). Das Abwinkeln der Ähren sowie ein zunehmender Bodeneinfluß (ULABY & BUSH 1976) scheidet nach Betrachtung der Aufnahme von Wintergerste zum 02.06.95 (EC 71) ebenfalls aus, da zu diesem Zeitpunkt die Ähren abgewinkelt sind, der Bodenwassergehalt ist infolge starker Niederschläge deutlich erhöht, die Rückstreuung bleibt jedoch gering.

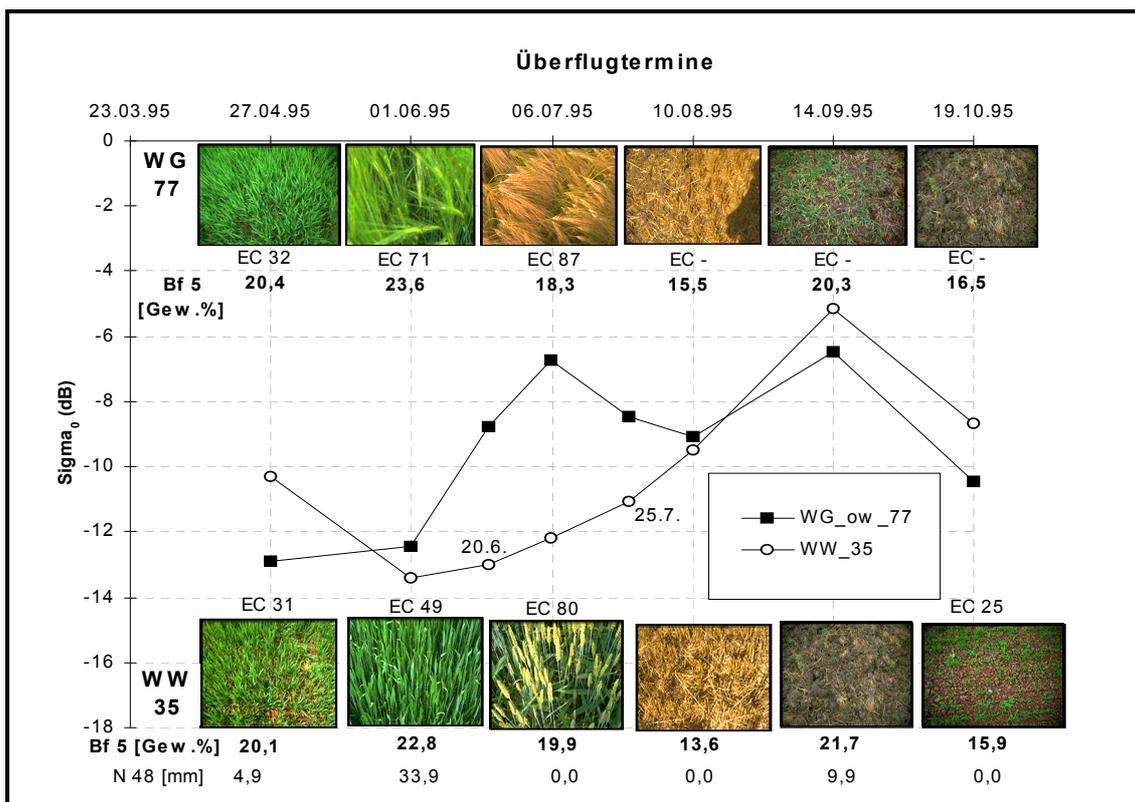


Abb. 9-3: Verlauf des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für Wintergerste (WG) und Winterweizen (WW) in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium (1995).

Das allein horizontal stehende Ähren für diesen Effekt verantwortlich sein können, scheidet nach den Ergebnissen im Testgebiet ebenfalls aus: der Rückstreukoeffizient von abgewinkelten Ähren des Winterroggen (siehe Abb. A3) verzeichnet zum EC 75 zwar ebenfalls einen Anstieg, jedoch ist dieser nicht so deutlich. Ein Grund scheint die sichtbar geringere Pflanzendichte zu sein, die beim Winterroggen keine nahezu „geschlossene Pflanzen-

schicht“ bildet. Inwiefern auch die Grannen einen Beitrag liefern, wurde nicht näher untersucht.

Laut HAMACHER et al. (2001) sind Wintergerste und Winterweizen im Juni und Juli am besten zu unterscheiden, da die Abreife einen klaren Effekt auf die Radarrückstreuung hat. Außerdem ist festzuhalten, dass es laut HAMACHER (2000), KÜHBAUCH (1999) und HAWLITSCHKA et al. (2001) während der Bestockung und des Schossens - also vor dem Ährenschieben – möglich ist, die Biomasse eines Getriedefeldes abzuschätzen. Für präzise Biomassekarten sollte allerdings eine höhere räumliche Auflösung verfügbar sein und vor allem die Schläge mit einer höheren Wiederholungsrate befliegen werden. Allein für eine Landnutzungsinventur sollten mindestens drei Radarszenen vorliegen.

### 9.1.2.4 Temporalsignaturen von Zuckerrüben und Mais

Ein grundsätzlich anderes Reflexionsverhalten zeigen die Zuckerrüben als eine Anbaufrucht mit breitblättriger Oberfläche (Abb. 9–4). Bis zum Bestandesschluß (EC 40) – erkennbar durch einen klaren Abfall der Rückstreuung - wird die Reflexion mehr oder weniger vom Zustand der Bodenoberfläche beeinflusst und kann stark variieren. Bei weitgehend geschlossenem Blätterdach ist die Rückstreuung und deren Schwankungen als Folge der nun unbedeutenden Veränderungen bis zur Ernte recht gering. Vor der Ernte (EC 45) kann die wahrscheinlich mit der Vitalitätsminderung einhergehende Erschlaffung der Blätter eine Abnahme der Reflexion infolge zunehmender Volumenstreuung bewirken (SPÖNEMANN & SCHIECHE 1997).

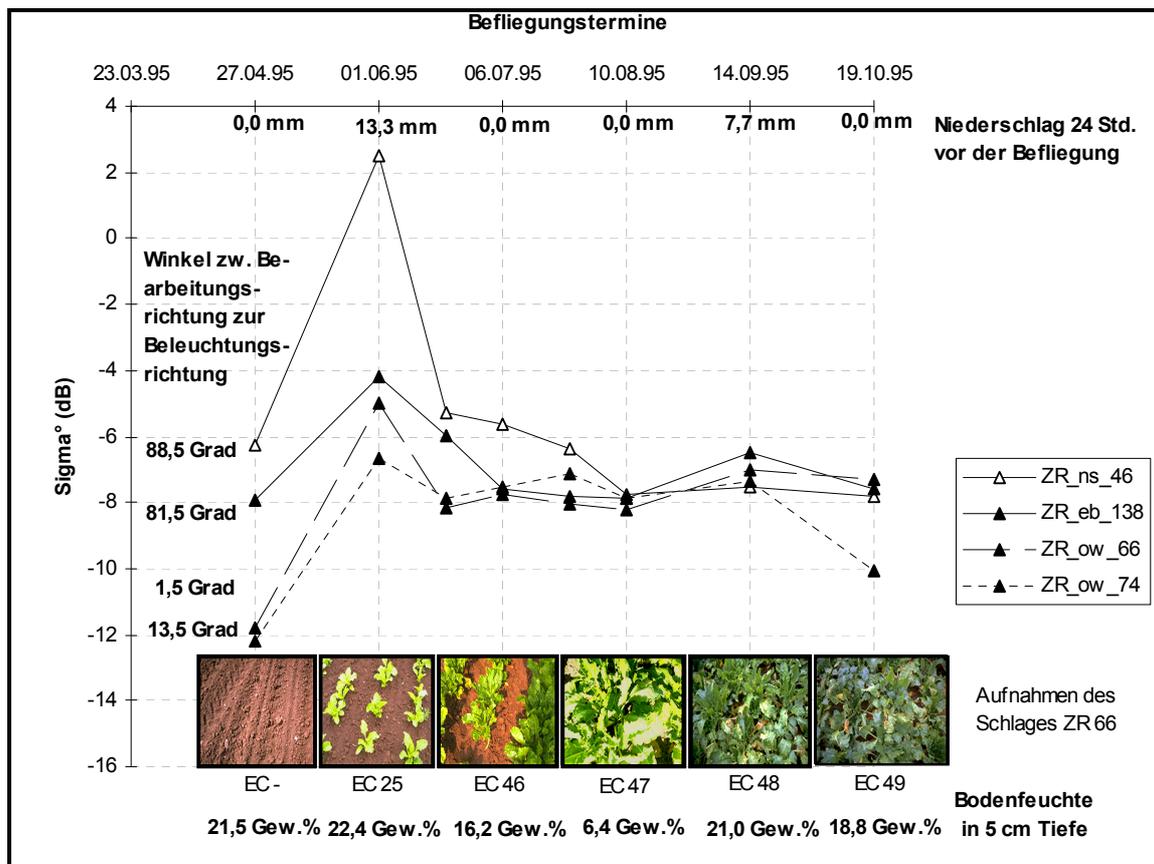


Abb. 9-4: Verlauf des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für Zuckerrübe (ZR), (1995).

Am Beispiel der Zuckerrübenschläge läßt sich der Einfluß der temporären Faktoren Bearbeitungs- bzw. Reihenrichtung und Bodenfeuchte gut demonstrieren. Bis zum Schließen des Bestandes (EC 20 bis EC 45) ist die Bearbeitungs- oder Reihenrichtung der Schläge wirksam (vgl. Kap. Bearbeitungsrichtung). Der Unterschied verliert sich erst mit vollständigem Blattschluß, der bei Schlag 46 am spätesten eingetreten ist. Bei geringer oder fehlender Pflanzenbedeckung wirken sich Niederschläge hoher Intensität über die Bodenfeuchte stark auf die Reflexion aus (vgl. LEEUWEN & BORGEAUD 1997). Die maximalen Rückstreuwerte am 1.6.1995 fallen mit dem maximalen 24-Stundenwert von 13,3 mm (gemessen vor dem ERS-Überflug) während der Untersuchungsspanne zusammen.

Der besonders hohe Rückstreuwert des Schlages 46 resultiert aus einer im Vergleich mit den anderen Schlägen nahezu orthogonalen Bearbeitungsrichtung ( $88,5^\circ$ ) zur Radarantenne (vgl. dazu: MÜLLER et al. 1993:69ff). Im Rahmen der Untersuchungen wurde auch ein Maisschlag aufgenommen, was natürlich keinesfalls einer statistisch abgesicherten Erhebung entspricht. Dennoch soll das Rückstreuverhalten bei ERS-1/-2-Aufnahmen hier vorgestellt werden. In Abb 9-5 ist erkennbar, dass auf Grund der zunächst ähnlichen Phänologie (April – Ende Mai) der Maisschlag nicht von Zuckerrüben abzugrenzen ist. Durch das frühere Auflaufen der Zuckerrüben zum 02. bzw. 20. Juni und der breiteren Blätter – gepaart mit dem höheren Blattwassergehalt und dem niederen Wuchs - reflektiert der Maisschlag anschließend von Juli bis September geringer. Sein Rückstreumaximum liegt Mitte Juli, wobei die vitalen, relativ breiten Blätter (siehe dazu Abb. A6) einen Beitrag hierfür liefern könnten.

Generell ist die Abtrennung von Zuckerrüben-, Mais- und Kartoffelschlägen<sup>26</sup> allein mittels ERS-Aufnahmen auf Grund der Zugehörigkeit zur radarspezifischen Reflexionsklasse „spätauflaufend, niederwüchsig, breitblättrig & vital“ nur unter Verwendung ausreichender Termine zu bewerkstelligen (SCHIECHE et al. 2001).

Der in der Literatur vielfach beschriebene Abfall der Signaturverläufen von Zuckerrüben Anfang April, bedingt durch die Einsaat und die damit verbundene „Glättung“ des Bodens, ist in der nachfolgenden Abbildung ebenso deutlich zu erkennen wie der Wiederanstieg nach der Rodung am 23. November.

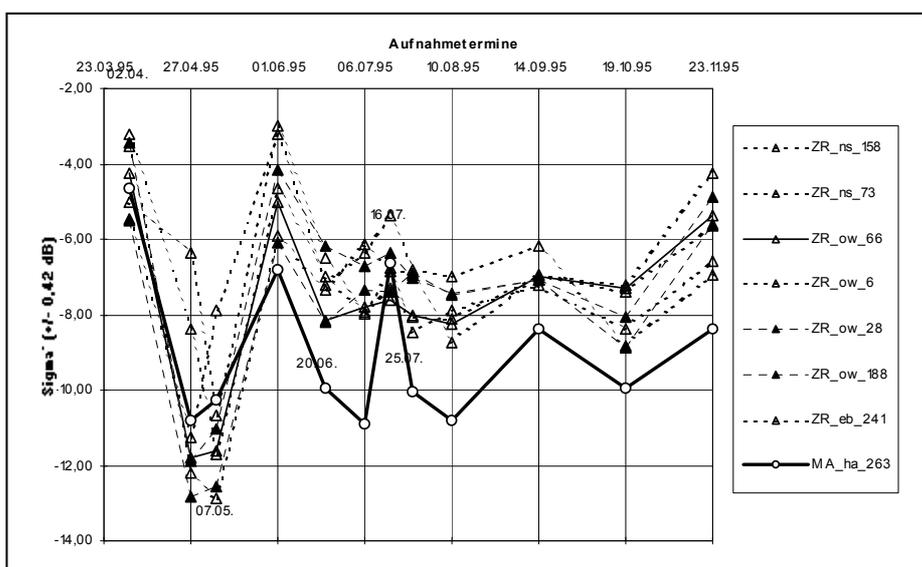


Abb. 9-5: Verlauf des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für Mais (MA) und Zuckerrüben (1995).

In der Literatur sind hinsichtlich Erntevorhersagen und Pflanzenwachstum von Zuckerrüben VYAS et al. (1995 & 1997) zuversichtlich gewesen und beobachteten eine Sensitivität

<sup>26</sup> Kartoffeln wurden innerhalb dieser Arbeit mangels Schlägen im Testgebiet nicht untersucht, jedoch bereits ausreichend in der Literatur genannt (u. a. LEEUWEN & BORGEAUD 1997, KÜHBAUCH 1999).

von ERS-Radardaten gegenüber Veränderung der Blattfläche in der frühen Wachstumsperiode. Auch XU et al. (1996) erstellten mit neun Zuckerrübenschlägen und einer ERS-Aufnahme vom 27.06.94 mittels des „Water Cloud Models“ einen hohen Zusammenhang zwischen dem Blattflächenindex und dem Radarrückstreu-querschnitt von  $r^2=0,84$ . Dabei wurde besonderes Augenmerk auf die exakte Kalibrationskonstante, die in situ Messungen der Pflanzen zum Aufnahmetag und den lokalen Einfallswinkel (schlagweise Kalkulation) gelegt, wobei die Terminwahl zu einem frühen Entwicklungsstadium auch hierbei entscheidend ist.

Im Gegensatz dazu kommt HAMACHER (2000) zu den Ergebnissen, dass für die Rückstreuung der Zuckerrüben hauptsächlich Geometrie und Orientierung der Blätter in Frage kommen. Allerdings ist es anhand von ERS Daten nicht möglich, eine Zustandsbeschreibung von Zuckerrüben zu geben. KÜHBAUCH (1999) und auch GNOSA (1997) kommen zu demselben Ergebnis: es wird nicht möglich sein, allein anhand von ERS-Daten eine Zustandsbeschreibung oder sogar eine Ertragsschätzung von Zuckerrüben zu geben.

### 9.1.2.5 Temporalsignaturen von Sommergetreide

Durch das späte Auflaufen des Sommergetreides sind die Rückstreuwerte bezüglich des saisonalen Verlaufes gegenüber den Rückstreuprofilen von Wintergetreiden verzögert (Abb. 9-6). Bis Anfang Juni werden diese Schläge von der Bearbeitungsrichtung und der Bodenfeuchte entscheidend beeinflusst. Danach setzt sowohl bei Sommergerste und Sommerweizen als auch beim Hafer der wachstumsbedingte Abfall der Rückstreuwerte ein.

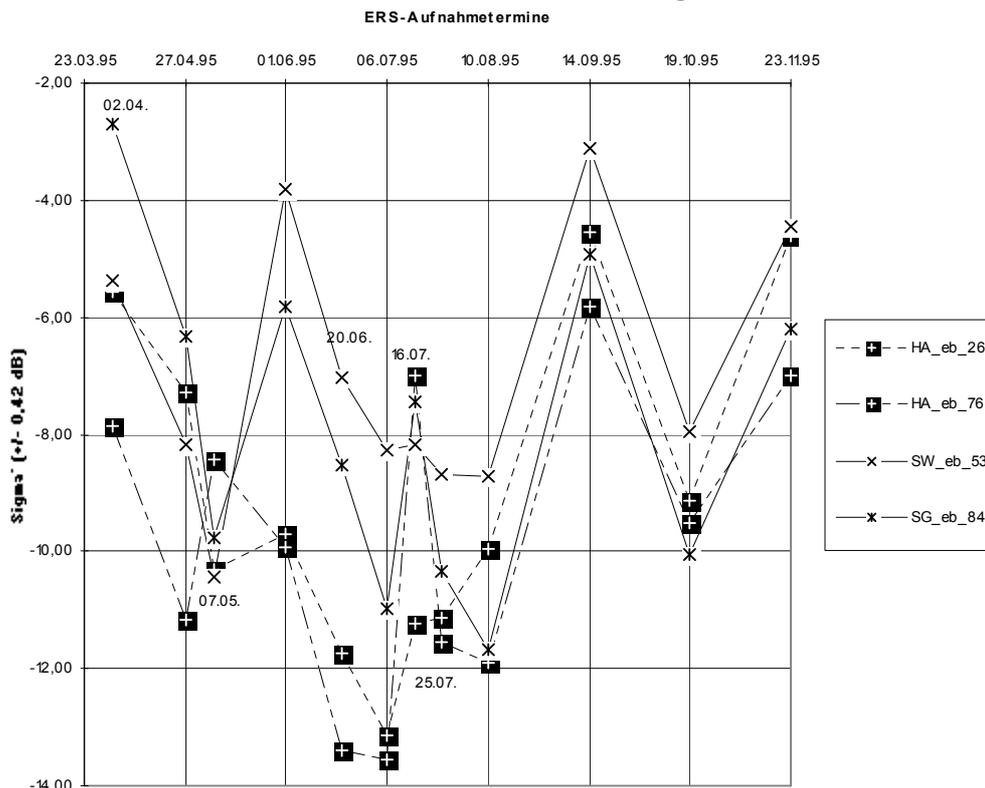


Abb. 9-6: Verlauf der Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für Hafer (HA), Sommerweizen (SW) und Sommergerste (SG), (1995).

Auf Grund des höheren Bewuchses bei Hafer zum 1. Juni (68 cm) wirken sich die starken Niederschläge am ERS-Aufnahmeterrin im Gegensatz zur Sommergerste (24 cm) nur sehr gering aus. Zum EC 75 ist beim Hafer Ende Juni bis Anfang Juli eine starke Dämpfung des Radarsignals durch den Bestand (siehe auch Abb. A7 & A8) zu beobachten. Durch die

Reifung des Getreides zum 16. bzw. 25. Juli ist dann wieder ein Anstieg der Rückstreuung zu verzeichnen. Der anschließend sehr unruhige Verlauf der Profile ab 14. September ist auf stärkere temporäre Einflüsse – vornehmlich Niederschläge und Bodenfeuchte – auf Grund überwiegend unbedeckten Boden zurückzuführen.

Aufgrund des gemeinsam späten Einsaattermins und der frühen Ernte sind die Rücksteupprofile und damit die Nutzungen in den Radaraufnahmen von denen der einjährigen Stilllegungen bzw. Rotationsbrachen nicht abzugrenzen (siehe Abb. 9-8). Dies führt auch bei den Nachfolgenden Klassifikationen zu einer zwangsläufigen Zusammenlegung der beiden Klassen.

### 9.1.2.6 Temporalsignaturen von Grünland

Zu den Flächen extensiver landwirtschaftlicher Nutzung zählen neben den Wiesen und Weideflächen (Dauergrünland <DG>) auch Dauerbrachen <DB> und Rotationsbrachen <RB> (einjährige Stilllegungen). Während Wiesen, Weiden und Dauerbrachen durch einen permanenten Bewuchs mit Gräsern oder Kräutern charakterisiert sind (siehe Abb. A10-A13), weisen Rotationsbrachen ein sehr heterogenes Bild in ihren Bewirtschaftungsformen auf (Abb. A6-A9). Dauergrünland und Dauerbrache sind Nutzungsarten mit geringer Auswirkung saisonaler Faktoren auf die Reflexion, die in der Regel ganzjährig relativ gering ist (Abb. 9-5). Dies verdeutlicht die geringe Standardabweichung der mittleren Rückstreuung über den Beobachtungszeitraum (Tab. 9-1).

Schwankungen ergeben sich durch Schnitt oder Beweidung. Dadurch wird die Vegetationsdecke dezimiert und infolge geringerer Volumenstreuung die Reflexion erhöht. Auch durch Spiegelung an der dichten, glatten Oberfläche oder bei lang anhaltender Trockenheit infolge Abnahme der Bodenfeuchte oder des Pflanzenwassergehalts wird die Reflexion herabgesetzt. Da aber auch Dauerbrachen aus Gründen der Feldpflege einem Beschnitt unterliegen, sind diese selbst im Gelände nicht eindeutig von extensiv genutzten Grünlandflächen zu unterscheiden. Deshalb müssen diese Nutzungen für eine thematische Auswertung zu einer übergreifenden Landnutzungsklasse (Grünland <GR>) zusammengefaßt werden.

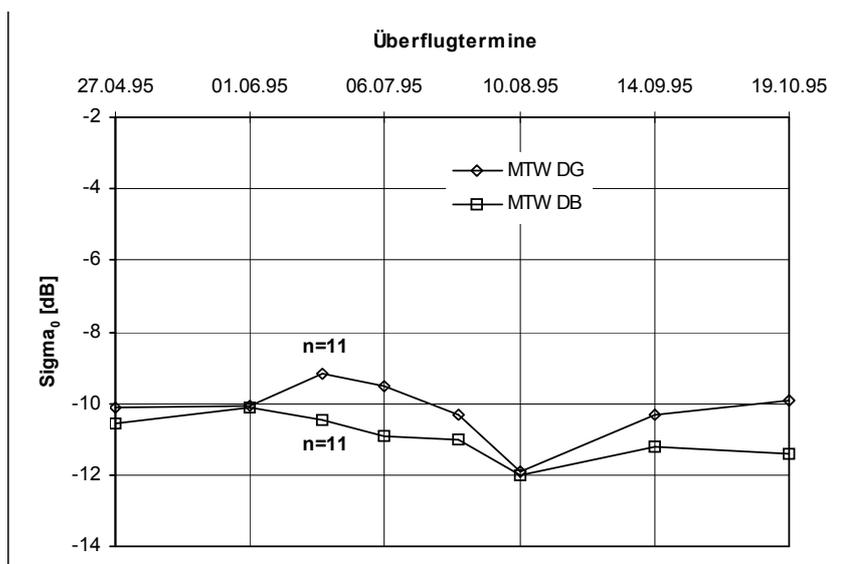


Abb. 9-7: Verlauf des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für Grünland (1995).

Orbit	dz	dz	dw	dz	dw	dz	dz	dz	
Datum	27.4.95	1.6.95	20.6.95	6.7.95	25.7.95	10.8.95	14.9.95	19.10.95	
Mw Wi	-9,32	-10,72	-9,73	-8,69	-10,05	-11,86	-9,75	-10,18	
Mw We	-10,88	-9,44	-8,60	-10,34	-10,62	-11,95	-10,92	-9,64	
Mw DL	-10,77	-9,83	-10,97	-10,63	-10,73	-11,74	-11,29	-11,50	
Mw DN	-10,32	-10,42	-9,96	-11,17	-11,33	-12,27	-11,17	-11,37	<DB> / <DG>
Mittelwert	-10,32	-10,10	-9,82	-10,21	-10,68	-11,96	-10,78	-10,67	MTW STDV
STDV.	0,71	0,58	0,97	1,07	0,53	0,22	0,70	0,91	0,71

Wi=Wiese; We=Weide; DL=Dauerbrache Leguminose; DN=Dauerbrache Nicht Leguminose (Gras)

Tab. 9-1: Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  extensiver Landnutzung: Dauergrünland/Dauerbrache.

YESOU et al. (1995) untersuchen verschieden Klassen extensiver Nutzung inklusive der Brachflächen in der Bretagne. Die Autoren empfehlen zur Abgrenzung von Landwirtschafts- und Brachflächen (Grünland- und Moorflächen, Buschvegetation) neben Daten aus dem Winterhalbjahr zwingend die Hinzunahme von ERS-Aufnahmen aus dem August, um Klassenüberschneidungen zu vermeiden.

Weitere Arbeiten zur Beschreibung der Nutzungsklasse Grünland speziell mittels ERS-Radaraufnahmen u. a. bei SCHADT et al. (1994) sowie PRIETZSCH & GROß (1994).

### 9.1.2.7 Temporalsignaturen von Stilllegungen

Die Verlaufssignaturen von Rotationsbrache bzw. einjährigen Stilllegungen hingegen sind sehr uneinheitlich. Je nach Begrünungs- und Bearbeitungsstand beherrschen saisonale oder temporäre Faktoren die Rückstreuwerte. Gemeinsames Merkmal der Temporalsignaturen sind nur deren durchgehend starke Schwankungen (vgl. Abb. 9–8). Diese schlagen sich in einer hohen mittleren Standardabweichung (1,93 dB) über den Beobachtungszeitraum nieder (Tab. 9–2). Eine befriedigende Trennung zu anderen Formen der extensiven und auch der intensiven Landnutzung erfordert deswegen eine größere Anzahl von Aufnahme-terminen und ihre Ausdehnung über die Wachstumsperioden der Ackerfrüchte hinaus. Nach systematischen Versuchen hat sich eine Folge von neun Terminen von Anfang April bis Ende Oktober als optimale Grundlage erwiesen (vgl. HURLEMANN 1997).

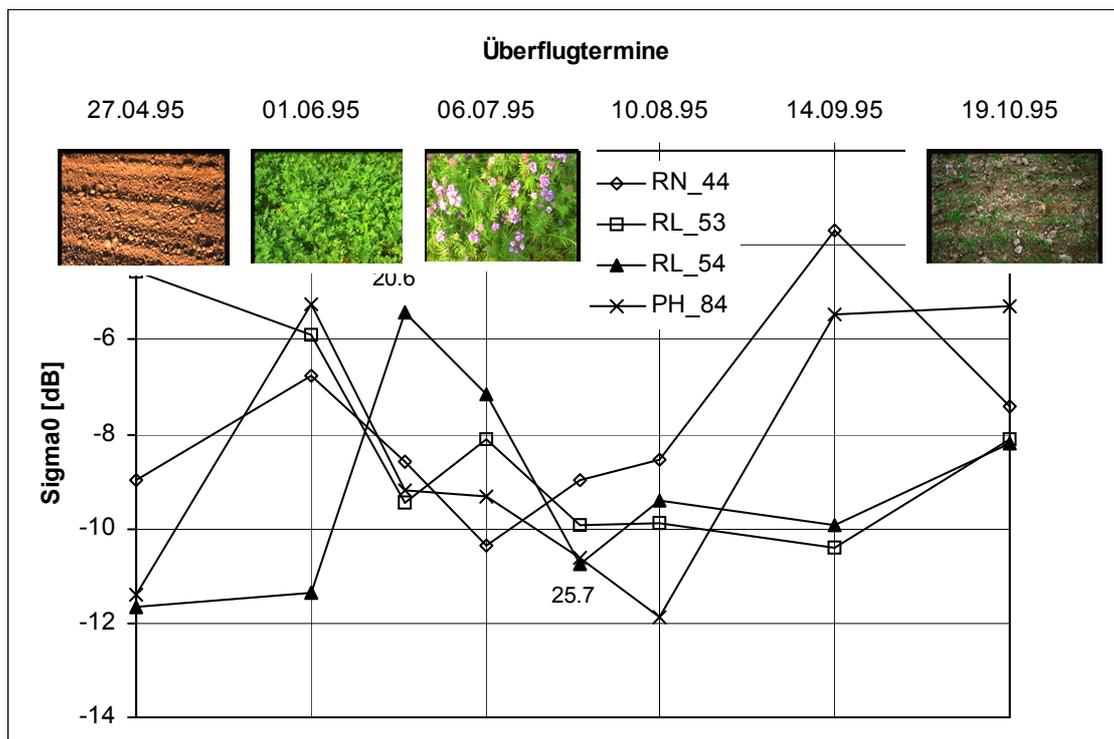


Abb. 9-8: Verlauf des Rückstreuoeffizienten  $\sigma^0$  für Rotationsbrachen (1995), Fotos oben vom Schlag Phacelia No. 84 zum 27.04., 02.06., 20.06. und 19.10.95.

Orbit	dz	dz	dw	dz	dw	dz	dz	dz	
Datum	27.4.95	1.6.95	20.6.95	6.7.95	25.7.95	10.8.95	14.9.95	19.10.95	
PH_eb_84	-11,41	-5,25	-9,17	-9,34	-10,62	-11,89	-5,48	-5,29	
PH_eb_265	-13,61	-5,22	-9,28	-9,24	-7,92	-11,59	-4,55	-8,35	
RN_eb_37s	-8,96	-6,32	-8,34	-8,61	-9,86	-9,00	-5,68	-3,17	
RN_eb_44	-8,96	-6,75	-8,58	-10,35	-8,99	-8,54	-3,70	-7,41	
RL_eb_53	-4,57	-5,91	-9,43	-8,09	-9,91	-9,89	-10,41	-8,12	
RL_eb_54	-11,67	-11,36	-5,42	-7,16	-10,73	-9,42	-9,92	-8,19	<RB>
Mittelwert	-9,86	-6,80	-8,37	-8,80	-9,67	-10,06	-6,62	-6,76	MTW STDV
STDV.	3,14	2,31	1,51	1,11	1,06	1,38	2,84	2,09	1,93

PH=Phazalie, RN=Rotationsbrache Nicht-Leguminose, RL=Rotationsbrache Leguminose

Tab. 9-2: Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  extensiver Landnutzung (Rotationsbrache).

Grund hierfür ist die Begrünungspflicht von Stilllegungen ab spätestens 15. Mai, dem Stichtag zur Abgabe der Beihilfeanträge und bis wenigstens bis zum 15. August, der offiziellen Beendigung der Stilllegungsverpflichtung<sup>27</sup>.

Kennzeichnend für einjährige Rotationsbrachen ist im allgemeinen eine spärliche Bodenbedeckung bis in den Mai hinein, bedingt durch die späte Aussaat, und ein anschließender schneller Aufwuchs der diversen Fruchtarten. Dies erschwert eine Abgrenzung von intensiven Sommerungen (Hackfrüchte und Sommergetreide; vgl. Abb. A7-A8 & A9-A11).

Daneben existieren Schläge, auf denen im entsprechenden Erntejahr keine Begrünung erfolgt (Schwarzbrache) und Schläge, die schon zu einem frühen Zeitpunkt mit Gräsern bestanden sind. Letztgenannte sind im Hinblick auf die Verlaufskurven von Wiesen, Weiden oder Dauerbrachen (allg. Grünland) nicht zu unterscheiden.

Innerhalb dieser Gruppe treten sowohl homogene Schläge auf, die z. B. mit Phazelia (*Phacelia tanacetifolia*), Ackersenf (*Sinapis arvensis*) und Ölrettich (*Raphanus sativus*) bestanden sind. Aber auch diverse Mischungen auf demselben Feld, z. B. Koriander (*Coriandrum sativum*), Ringelblumen (*Calendula officinalis*) und Buchweizen (*Fagopyron esculentum*) sind auf den stillgelegten Flächen vorzufinden. Die Phänologie ist auch bei einheitlicher Bewirtschaftung von Stilllegungsflächen sehr unterschiedlich, da die Flächen, im Gegensatz zu intensiver Nutzung, keine regelmäßigen Bearbeitungsstadien aufweisen, sondern, wie zum Beispiel bei Phazelia (PH-84), zeitlich willkürlich gehäckselt werden (SCHIECHE et al. 1999). YESOU et al. empfahlen bereits 1995 die Verwendung von multipolarimetrischen und multifrequentiellen Radardaten für eine weitere Unterscheidung von extensiv genutzten Flächen.

Zusammenfassend kann an dieser Stelle bereits festgehalten werden, dass eine Unterscheidung extensiver Nutzung mit Hilfe von ERS-SAR-Daten nur in sehr eingeschränktem Maße möglich ist, die Abgrenzung zu intensiv genutzten Flächen – mit Ausnahme der Rotationsbrachen von Sommergetreide - dagegen durchführbar erscheint.

<sup>27</sup> Verordnung (EG) 1251/99.

### 9.1.3 Frühabschätzung landwirtschaftlicher Nutzung

Für eine einzelne ERS-Szene können, wie in Kap. 6.1.1 beschrieben, anhand des Reflexionsverhaltens der Oberfläche verschiedene Gruppen von Bodenzuständen identifiziert werden. In Verbindung mit dem Zeitpunkt der Aufnahme kann so bereits eine beschränkte Zuordnung des Bodenbearbeitungsstadiums zu bestimmten Nutzpflanzen erfolgen. Im November ist z. B. das Wintergetreide bereits aufgelaufen und befindet sich, wie auch Winterraps, im Stadium der Vegetationsruhe, während potentielle Zuckerrübenschläge durch eine grobe Furchenstruktur gekennzeichnet sind.

Mit Hilfe der multitemporalen Auswertung können für die Monate vor Beginn der phänologischen Entwicklung (Sommerungen) bzw. in der Ruhephase (Winterungen) Änderungen des Bodenzustandes und der Bodenbedeckung erfaßt werden, die charakteristisch für eine bestimmte Landnutzungsform sind.

Die Auswertung des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  im Vergleich mit den Vegetations- und Bodenfaktoren führt zu einer Zusammenfassung der Temporalsignaturen aller kartierten Schläge in fünf Hauptnutzungsclassen (vgl. ERASMI 1997):

- Zuckerrübe bzw. Hackfrüchte / Sommerungen
- Winterweizen
- Wintergerste / -roggen
- Winterraps
- Grünland

Der Signaturverlauf der Mittelwerte aller Schläge für die jeweilige Klasse ist in Abb. 9-9 dargestellt.

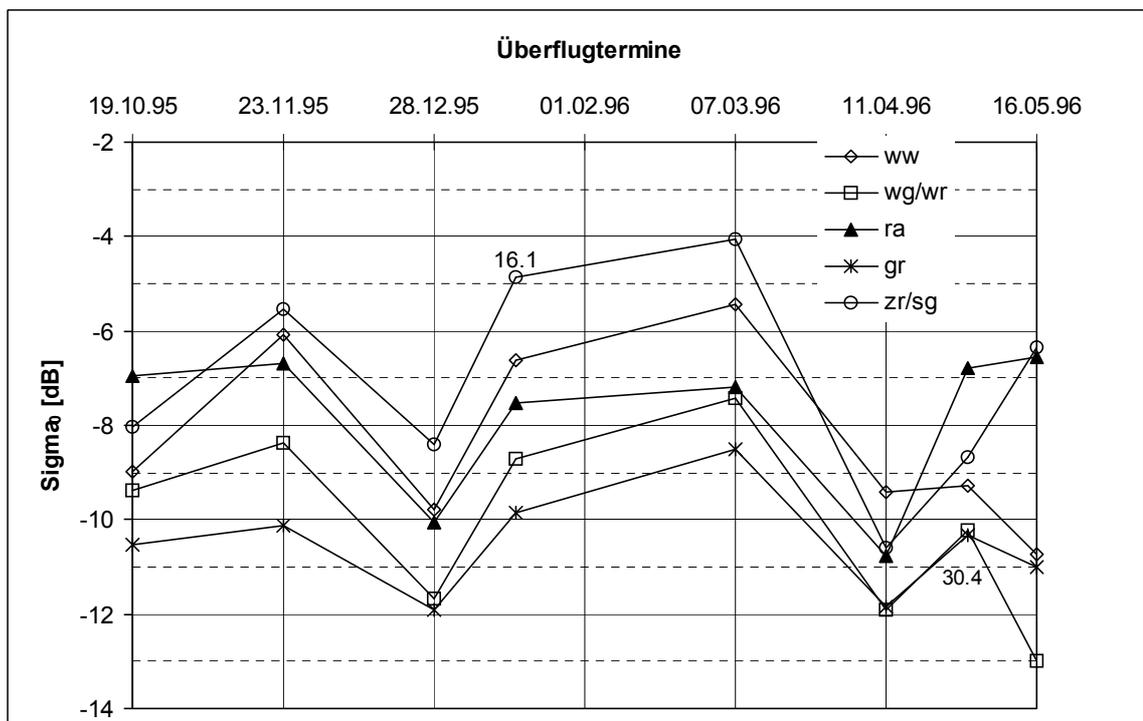


Abb. 9-9: Verlauf des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für die Hauptnutzungsclassen (1995/96).

Zuckerrüben und Sommergetreide zeigen über den Beobachtungszeitraum generell eine bedeutend höhere Rückstreuung als andere Nutzpflanzen. Ausnahme ist der Aussaatzeitraum, in dem es aufgrund der Einebnung des Saatbettes zu einem drastischen Abfall der Rückstreuintensität kommt. Danach erfolgt wieder ein Anstieg der Verlaufskurve, der bei

Zuckerrübenschläge deutlich steiler als bei Sommergetreide ausfällt (Abb. 6–10). Dies ist bedingt durch die planare, große Blattoberfläche und die Reihenstruktur in Zuckerrübenbeständen (vgl. KÜHBAUCH 1991). Als Sommergetreide tritt 1996 im Untersuchungsgebiet überwiegend Hafer auf.

Die temporale Signatur für Wintergetreide ähnelt bis zum Frühjahr der Verlaufskurve für unbestandene Flächen. Die Intensität der Rückstreuung liegt jedoch deutlich darunter, bedingt durch den unterschiedlichen Bodenbedeckungsgrad und den daraus resultierenden höheren Anteil an Volumenstreuung bei Wintergetreide, sowie die größere Bodenrauigkeit der unbestandenen, meist gepflügten Schläge.

Ab Mitte April ändert sich auch die Tendenz des Signaturverlaufs, was zu einer noch deutlicheren Abgrenzung dieser beiden Klassen führt. Mit Beginn der Bestockung ist die Struktur der Getreidebestände geprägt durch die senkrechte Orientierung der Stengel und die relativ klein dimensionierten Blatt- und Stengelorgane. Die Volumenstreuung aus den oberen Bereichen der Pflanzendecke durch Mehrfachstreuung an Halmen, Blättern und Ähren dominiert (BAYER 1995), das Radarsignal wird hierdurch abgeschwächt.

Innerhalb der Getreidearten kann Winterweizen anhand des Signaturverlaufs von Wintergerste und -roggen getrennt werden. Das Niveau der Rückstreuintensität von Gerste und Roggen liegt im Winterhalbjahr markant unter dem für Weizen (Abb. 9–12). Die Blätter der aufgelaufenen Gerste breiten sich grasähnlich flächenhaft über dem Boden aus, während bei Weizen meistens noch der Boden zwischen den Reihen unbedeckt bleibt (Abb. 9–10). Der höhere Bedeckungsgrad schlägt sich in einer schwächeren Rückstreuung nieder.

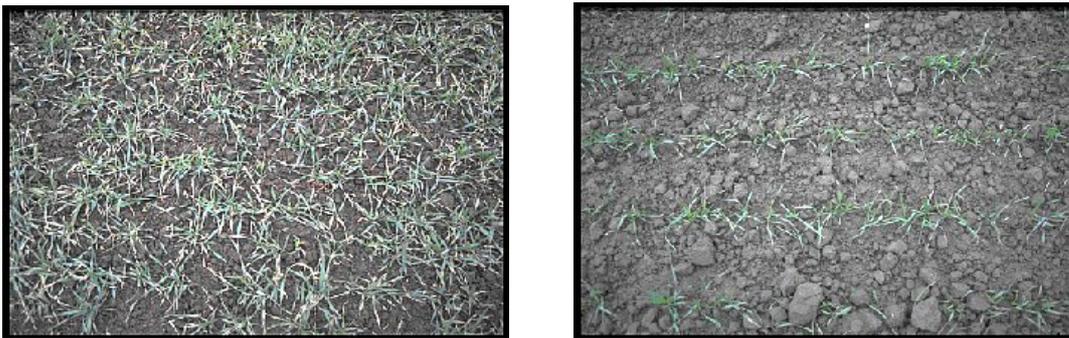


Abb. 9-20: WG-041 (23.11.95 - links) und WW-053.2 (23.11.95 - rechts).

Die Signatur des Winterraps hebt sich vor allem im Oktober und im Frühjahr von den Verlaufskurven der übrigen Kulturpflanzen ab. Die höheren Rückstreuwerte erklären sich durch die Größe und die Ausrichtung des Blattwerkes (vgl. DAVIDSON et al. 1996) und den hohen Anteil an Biomasse (Pflanzenwassergehalt), da sich der Raps durch den frühen Saattermin im Oktober bereits im Längenwachstum befindet.

Unter Grünlandflächen sind für das Untersuchungsgebiet, auf der Grundlage der Erkenntnisse aus Kap. 9.1.2, Dauergrünland <DG> (Wiese/Weide) und Dauerbrache <DB> zusammengefaßt. Der Verlauf des Rückstreuoeffizienten ist über den gesamten Beobachtungszeitraum recht stabil, da sich die Oberflächenstruktur nicht ändert. Die Schwankungen liegen innerhalb der Abweichungen durch temporäre Einflüsse wie Niederschlag, Bodentemperatur oder Bodenfeuchte.

Auch eine Abgrenzung von Aktivbrachen (Rotationsbrachen) zu anderen Nutzungen gestaltet sich schwierig, da sich die Bearbeitungsmaßnahmen bzw. die Phänologie und damit die Verlaufssignaturen innerhalb der vorgegebenen Zeitspanne, auch aufgrund der bereits in Kap. 9.1.2.6 & 9.1.2.7 erwähnten Vielfalt der Bracheformen, nicht von denen intensiver Nutzungen unterscheiden lassen.

Eine Differenzierung extensiver Nutzungen ist deshalb innerhalb dieses Beobachtungszeitraumes nicht möglich.

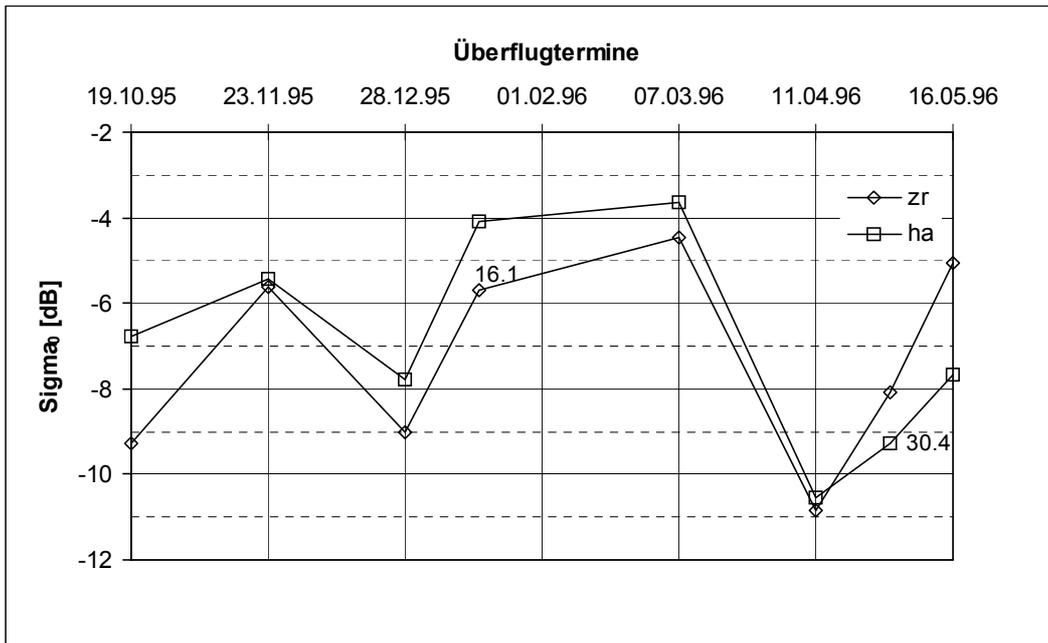


Abb. 9-11: Verlauf des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für Zuckerrübe und Hafer (1995/'96).

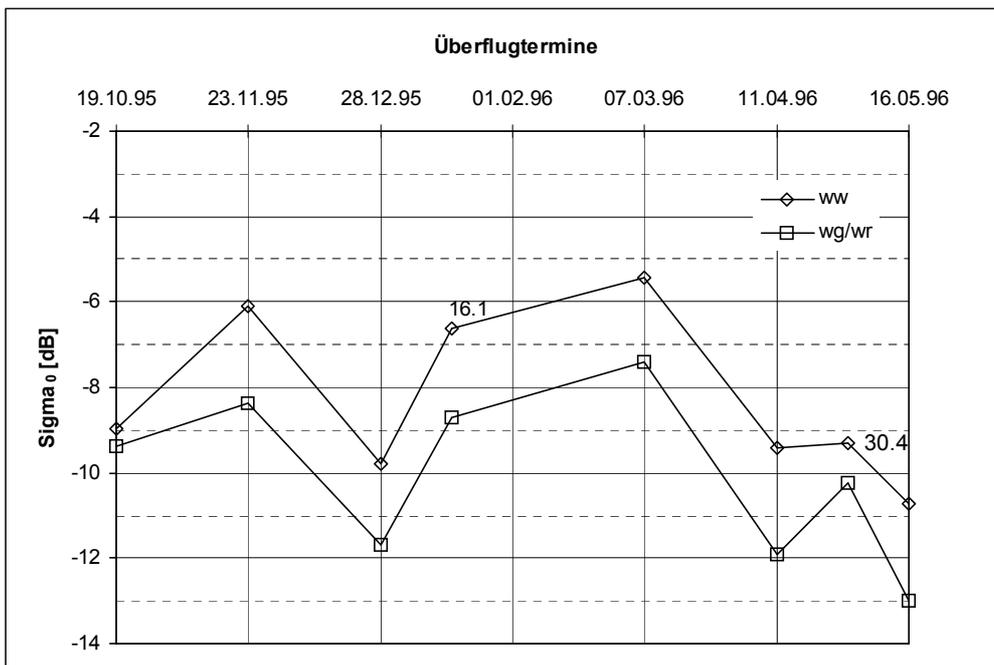


Abb. 9-12: Verlauf des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für Winterweizen (ww) und Wintergerste (wg); (1995/'96).

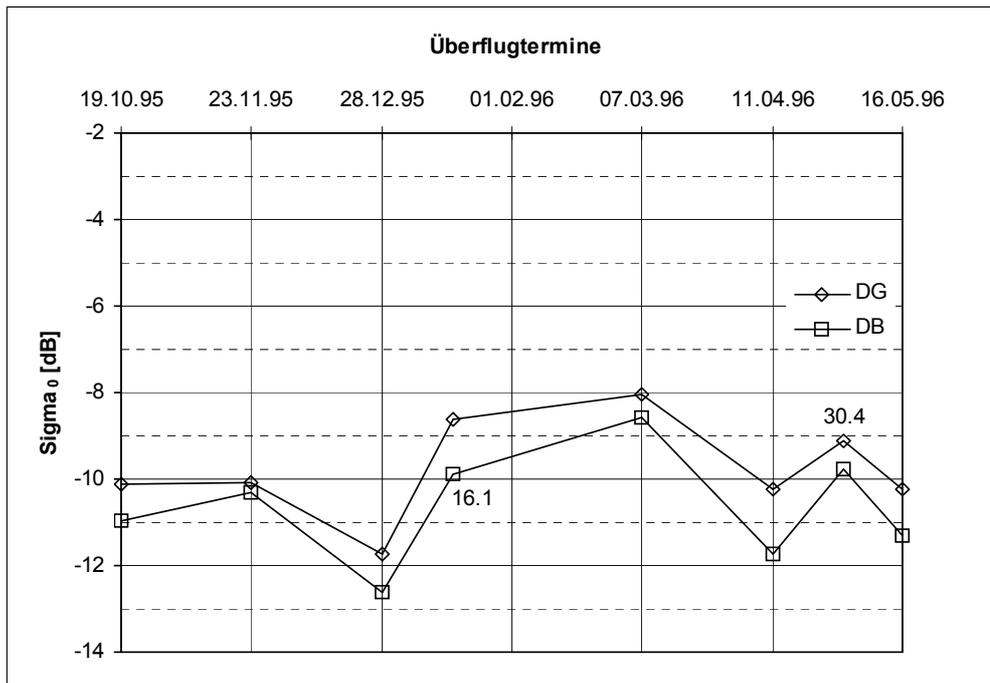


Abb. 9-13: Verlauf des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für Grünlandflächen (1995/'96).

#### 9.1.4 Mehrjähriger Vergleich der Temporalsignaturen

Durch eine Auswahl mehrjähriger ERS-SAR-Überflugtermine eröffnet sich die Möglichkeit, die Radarbilder aufeinanderfolgender Vegetationsperioden für die Hauptnutzungen im Untersuchungsgebiet zu analysieren.

Hinter diesem Ansatz verbirgt sich die Frage, inwiefern die jährliche Temporalsignatur des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  langfristige, saisonal wiederkehrende Merkmale beibehält, die für eine automatisierte jährliche Erfassung der landwirtschaftlichen Nutzung mittels ERS-SAR-Daten Grundlage dienen können.

Für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen wurde auf Grund des beschränkten Datensatzes ein zweijähriger Beobachtungszeitraum (1995-96) zwischen April und August bzw. September ausgewählt. Dieser Zeitraum umfaßt jeweils fünf Überflugtermine des absteigenden Orbits (desc-w). Die Verschiebung des Zeitrahmens ist bedingt durch die Repetitionsrate des Satelliten von 35 Tagen, was zu einem Versatz der Temporalsignatur von 16 Tagen für die beiden aufeinander folgenden Perioden führt. Dies ist bei der Auswertung der Temporalsignaturen hinsichtlich der pflanzenspezifischen Entwicklungsstadien zu berücksichtigen. Der Verlauf des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für 1995 und 1996 ist in den folgenden Diagrammen dargestellt.

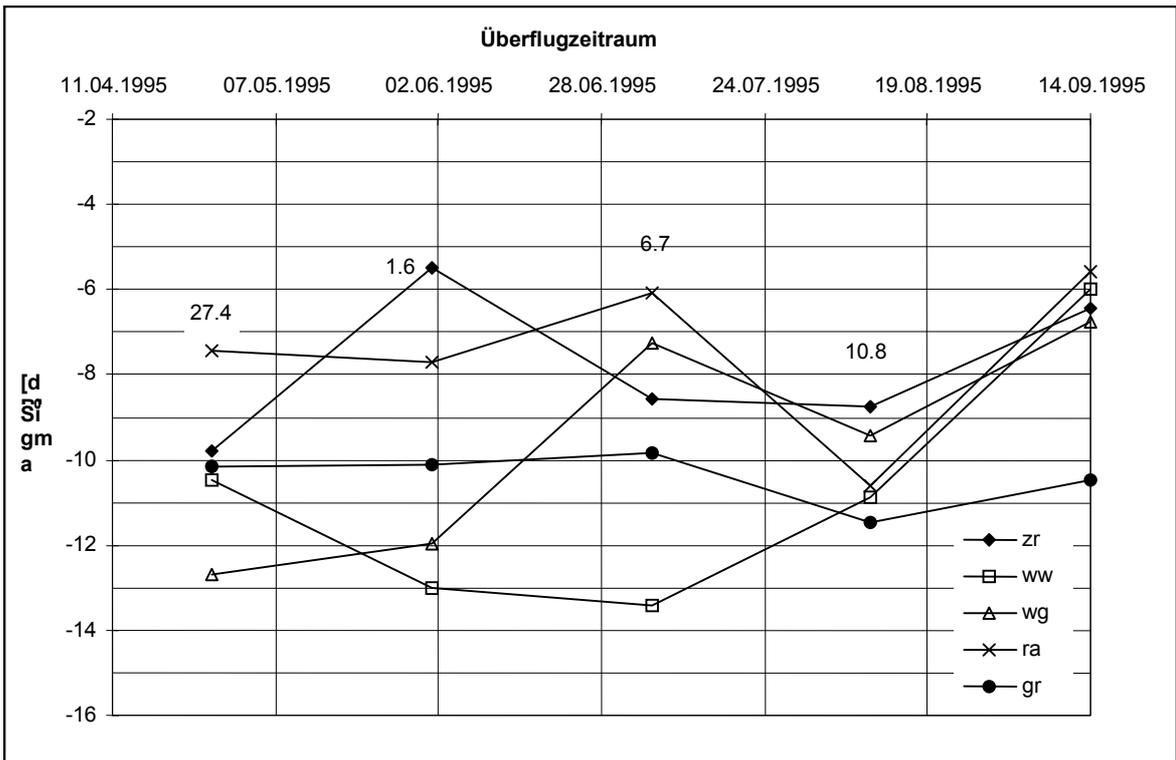


Abb. 9-14: Verlauf des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für die Hauptnutzungsklassen (1995; 5 Termine).

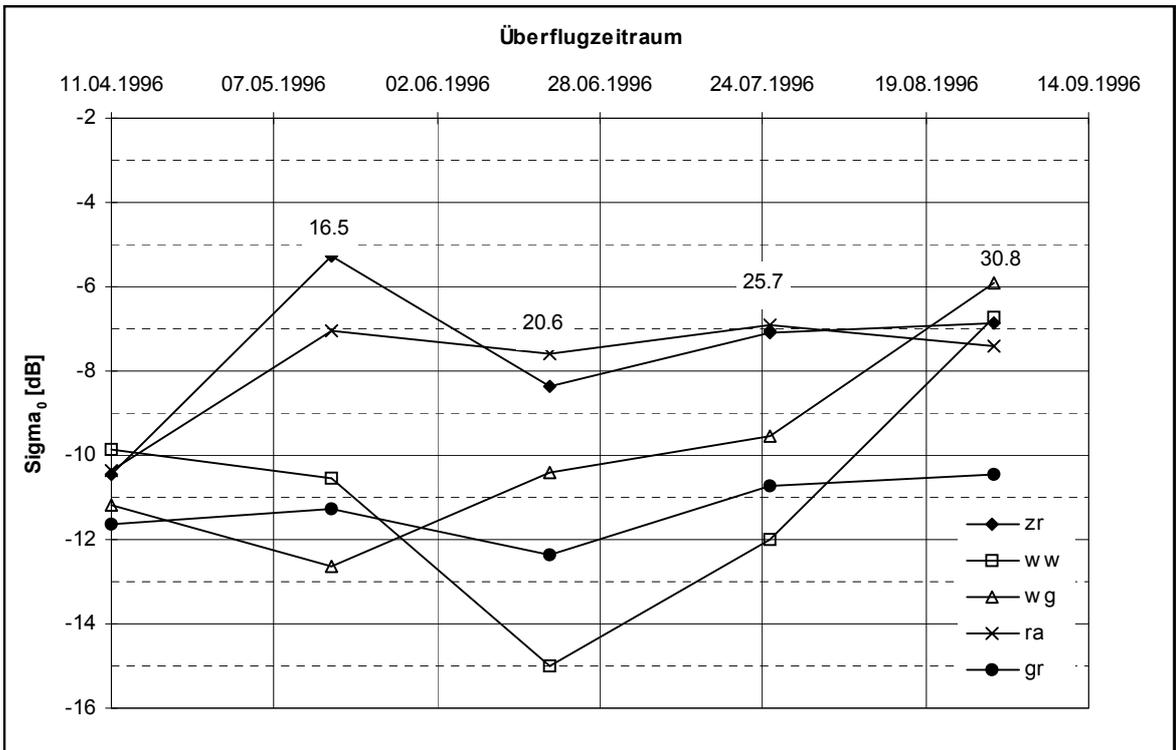


Abb. 9-15: Verlauf des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für die Hauptnutzungsklassen (1996; 5 Termine).

Die Signatur von Zuckerrübe zeigt für beide Jahre einen stabilen Verlauf ab dem Reihenschluß im Juni, ebenso wie die Rückstreuwerte von Grünlandflächen über den gesamten Betrachtungszeitraum relativ konstant sind. Die Temporalsignaturen der übrigen Nutzungen zeigen zum Teil erhebliche Abweichungen im Jahresvergleich, die zum einen durch temporäre Einflüsse wie z. B. die Bodenfeuchte zu erklären sind, zum anderen ihre Ursache in der Verschiebung des Überflugzeitraumes bzw. der jeweiligen Befliegungstermine haben können. Der Verlauf des Rückstreukoeffizienten für Winterweizen zeigt zum Beispiel 1995 einen deutlichen Abfall ab dem zweiten Überflug, während der Wert im folgenden Jahr erst ab dem dritten Termin abfällt. Der Beobachtungszeitraum 1996 beginnt ca. zwei Wochen früher, daraus resultierend wird die Rückstreuung während des zweiten Überflugtermins Mitte Mai noch von der Bodenoberfläche beeinflusst, während Anfang Juni 1995 die Reflexion durch Volumenstreuung im Pflanzenbestand dominiert wird, was mit einer Abnahme des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  verbunden ist. Generell sind aber die im Untersuchungsgebiet vorherrschenden Nutzungen anhand ihrer Temporalsignatur in beiden Jahren zu unterscheiden.

Zu vergleichbaren Ergebnissen kommen SAICH & BORGEAUD (1998): Die Signaturen landwirtschaftlicher Pflanzen werden durch Niederschläge, Temperatur und den Einfallswinkel gestört, so dass eine Korrektur dieser Größen notwendig ist. Außerdem sind nur in den Sommermonaten die breitblättrigen Pflanzen von den Getreiden zu unterscheiden. Spezifische Pflanzen (Zuckerrüben/Kartoffeln, Weizen/Gerste) können auch zu anderen Zeitpunkten im Jahr getrennt werden. Diese Termine sind allerdings über die Jahre hinweg nicht stabil.

Laut HAMACHER (2000) ist es trotz dreijähriger Untersuchungen nicht möglich, anhand der ERS-1/-2 Rückstreuwerte Rückschlüsse auf die Entwicklung und die Vitalität des Zuckerrübenbestandes zu ziehen. Bei Wintergerste hingegen konnte zum Zeitpunkt des Ährenschiefens bzw. der Blüte ein absolutes Reflexionsminimum bestimmt werden. Für Winterweizen gelang dies wiederum nicht.

### 9.1.5 Ergebnisse der Auswertung der Temporalsignaturen

Die den Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  beeinflussenden Pflanzen- und Bodenparameter werden in drei Kategorien unterteilt (permanente / temporäre / saisonale Faktoren; s. Kap. 6). Die temporären und permanenten Faktoren stellen im Rahmen der Untersuchung "Störfaktoren" dar, deren Auswirkungen bei der Analyse der saisonalen Faktoren zu berücksichtigen sind.

Die Auswertung des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  einer multitemporalen Zeitreihe für die Wachstumsphase landwirtschaftlicher Nutzung 1995 führt zur Differenzierung der wichtigsten Intensivanbaufrüchte (Zuckerrübe, Winterweizen, Wintergerste / -roggen, Raps) und deren Abgrenzung gegen Flächen extensiver Nutzung (Dauergrünland inkl. Dauerbrache, Rotationsbrache). Die weitere Unterscheidung der extensiven Nutzungen aufgrund der Verlaufssignaturen ergibt jedoch wenig zufriedenstellende Ergebnisse. Grünlandflächen, speziell Wiesen und Weiden, zeigen zwar einen sehr charakteristischen, flachen Verlauf über den Beobachtungszeitraum (vgl. Abb. 9-7), die Abgrenzung von Rotationsbrachen (vgl. Abb. 9-8) sowohl gegenüber anderen Formen der extensiven Nutzung als auch der Sommergetreiden (vgl. Abb. 9-6) ist aber aufgrund der mannigfaltigen Bearbeitungsmuster sowie der gleichen Einsaattermine nur mit Einschränkungen möglich. Je nach Art der Brache ergibt sich eine Überschneidung der Verlaufssignatur mit anderen Formen der extensiven und intensiven Nutzung.

Die Analyse der Stillstandsphase bis zum Beginn der Pflanzenentwicklung im Frühjahr, zum Zwecke der Frühabschätzung landwirtschaftlicher Nutzung (1995/'96) erbrachte

ebenfalls eine Gliederung der Verlaufssignaturen. Eine Differenzierung extensiver Nutzung ist aber innerhalb der begrenzten Zeitspanne nicht möglich.

Die Analyse der Verlaufssignaturen bestätigt die allgemeine Annahme, dass der Rückstreukoeffizient  $\sigma^0$  von C-Band-Radar-Daten hinsichtlich der Betrachtung landwirtschaftlich genutzter Oberflächen während der Wachstumsphase durch die verschiedenen Pflanzenparameter bestimmt wird. Außerhalb dieses Zeitraumes dominieren temporäre und saisonale Bodenfaktoren die Radarrückstreuung.

Die Quantifizierung dieser Einflüsse erfolgte bereits in Kap. 7 über eine multiple Regressionsanalyse, die die Wirkung verschiedener Pflanzen- und Bodenparameter auf die Stärke des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  getrennt voneinander betrachtet.

Generell können die Rückstreucharakteristika der Radarsignale, speziell die der Cvv-Antenne, als Unterscheidungsmerkmal nicht auf die in den Landwirtschaft üblichen Klassen von intensiver und extensiver Nutzung übertragen werden, sondern – wie auch bereits in der Literatur erwähnt - nach den vorliegenden Untersuchungen eher in Klassen wie „schmale“ oder „breitblättrige“ Pflanzen. Eine weitere Unterteilung scheint die Wuchshöhe mit den Blattstockwerken zu sein, also eher „niederwüchsig“ oder „hochwüchsig“. Außerdem ist der Pflanzenwassergehalt in der für die Rückstreuung hauptsächlich verantwortlichen Pflanzenschicht entscheidend, also die Einteilung in „trocken“ oder „vital bzw. feucht“.

Somit sieht es nach Zusammenfassung der temporalen Rückstreusignaturen innerhalb dieser Untersuchungen so aus, als würden drei Hauptcharakteristika landwirtschaftlicher Pflanzen eine radarspezifische Einteilung nach der Rückstreuintensität ermöglichen:

Rückstreuung relativ gering	Rückstreuung relativ hoch
Schmalblättrig	Breitblättrig
Hochwüchsig	Niederwüchsig
Trocken (geringer Pflanzenwassergehalt)	Feucht (hoher Pflanzenwassergehalt)

Tab. 9-3: Die Hauptcharakteristika zur radarspezifischen Einteilung landwirtschaftlicher Pflanzen.

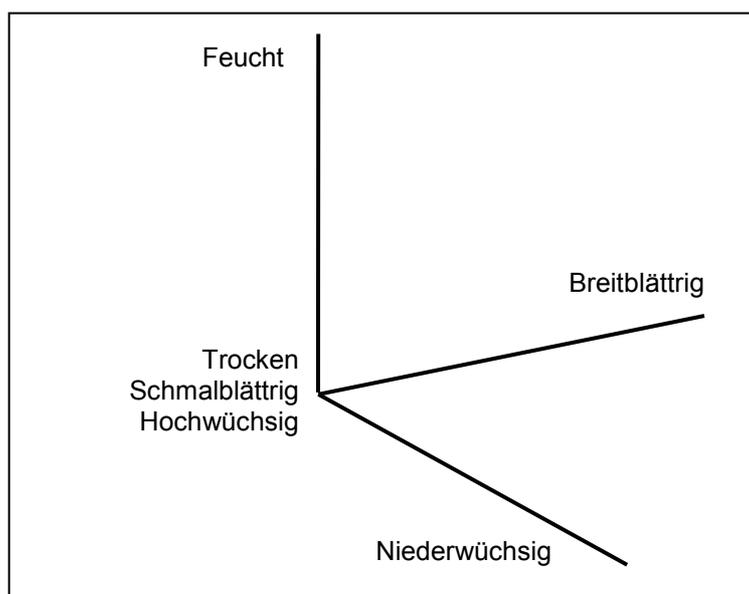


Abb. 9-16: Achsen der Hauptcharakteristika zur radarspezifischen Einteilung landwirtschaftlicher Pflanzen.

Dabei können die Zugehörigkeiten bei landwirtschaftlichen Pflanzen beim Durchlaufen der Entwicklungsstadien gewechselt werden. Dies ist sowohl durch saisonale Änderungen in der Pflanzengeometrie als auch durch die damit verbundene, saisonale Änderung des Wassergehaltes der pflanzlichen Biomasse bedingt. Dass sich temporäre Einflüsse wie z. B. Niederschläge oder extreme Temperaturen auf die generelle Einteilung ebenfalls verändernd bzw. störend auswirken, ist anhand der Temporalsignaturen belegbar.

Eine weitere Komponente spielt bei der Bestimmung ebenfalls eine wesentliche Rolle: die Zeit resp. der Zeitpunkt des Auflaufens der Pflanzen. Hier wäre eine Einteilung in „frühauflaufend“, also Winterungen und „spätauflaufend“, also Sommerungen als sinnvoll zu erachten.

Beispiele:

1. Extensiv genutzte Flächen (Wiese, Weide, Dauerbrache), die überwiegend mit einem Gras/Kleegemisch permanent begrünt sind, werden somit eher in den Bereich „schmalblättrig“ eingeordnet. Durch das ständige Mähen wird ein höherer vertikaler Aufwuchs größtenteils verhindert, so dass die weitere Einteilung „niederwüchsig“ greift. Da die Gräser kein Reifestadium mit einhergehender Verringerung des Blattwassergehaltes, außer bei witterungsbedingten Trockenperioden, vorweisen können, ist diese Nutzungsgruppe als eher „feucht“ einzustufen. Dies gilt für den Zeitraum nach der Begrünung auch für die einjährigen Rotationsbrachen mit überwiegend Gras-Einsaat.

2. Die Stilllegungsnutzung mit Phacelia ist eher zwischen der schmal- und der breitblättrigen Klasse einzuordnen. Außerdem gehört sie zu den höherwüchsigen Pflanzen und mehr in den vitalen Bereich, da auch hier eine Abreife fehlt. Temporäre Störungen werden hierbei neben der Witterung auch durch das ständige Häckseln verursacht.

Ein Abtrennung von der „permanent begrünt“ Klasse gelingt auch nur, wenn bei der Auswahl der Termine sowohl der Zeitraum vor Mitte Mai als auch der Zeitraum nach Mitte August mit berücksichtigt wird. Grund hierfür sind die festgelegten Rahmenbedingungen durch die VERORDNUNG (EG) 1251/99. Ob durch das ständige Häckseln der Pflanzenbestände und der damit verbundenen typischen Sägeblatt-Signatur eine Abgrenzung durch eine Terminauswahl im Juni und Juli ebenfalls gelingt, ist derzeit nicht geklärt. Dafür müsste die Repetitionsrate der Aufnahmetermine erhöht werden, um solche individuellen Monatsgänge zu erfassen.

## **9.2 Klassifikation der Satellitenbilder**

Die Ableitung thematischer Informationen aus Satellitenbildern stützt sich in der vorliegenden Arbeit auf bekannte Rechenverfahren zur Zuordnung der Bildpunkte im Merkmalsraum. Im Mittelpunkt der Arbeiten stand nicht die Entwicklung neuer Klassifikationsalgorithmen, sondern die Anwendung der zur Verfügung stehenden Verfahren zur Entwicklung einer Methodik, die einen operationellen Arbeitsablauf für die Detektierung landwirtschaftlicher Nutzung aus Radarsatellitenbildern darstellt.

Hierzu wurde das Bildmaterial systematisch analysiert, wobei die Einteilung in zwei Untersuchungszeiträume entsprechend der statistischen Auswertung der Verlaufssignaturen beibehalten wurde (Kap. 8.1). Hinzugenommen wurden die Befliegungstermine des zentralen Bildrahmens bis zum 30.08.1996 (siehe Tab. 3-6) für den interanuellen Vergleich der Klassifikationen (Kap. 9.2.3.3).

### **9.2.1 Klassifikationsablauf**

Das Ablaufschema der thematischen Auswertung schließt verschiedene Verfahren der Merkmals- bzw. Mustererkennung ein.

In der vorliegenden Untersuchung wurden zwei Algorithmen der Bildklassifikation verwendet: Zum einen ein Verfahren der unüberwachten Klassifikation oder "Cluster-Analyse", zum anderen eine Kombination dieses Verfahrens mit einer überwachten Klassifikation (Maximum-Likelihood Klassifikation).

Die unüberwachte Klassifikation oder "Cluster-Analyse" erfolgt mittels ISODATA-Verfahren (BOCK 1995, LILLESAND & KIEFER 1994). Die Bildverarbeitungssoftware EASI/PACE ermöglicht hierbei die Festlegung von Grenzwerten für verschiedene statistische Eingabeparameter, die durch eine empirische Analyse für den jeweiligen Anwendungsbereich optimiert wurden (vgl. ERASMI 1997).

Bei dem kombinierten Verfahren geht das Ergebnis der Cluster-Analyse als a priori-Wissen in Form von Trainingsgebieten in die überwachte Klassifikation ein.

Die überwachte Klassifikation erfolgt mittels maximaler Mutmaßlichkeit ("maximum likelihood"), d. h. für jedes zu klassifizierende Bildelement werden die Wahrscheinlichkeitsdichten für alle mit Trainingsgebieten erfaßten Objektklassen ermittelt (KRAUS & SCHNEIDER 1988). Die größte Wahrscheinlichkeitsdichte entscheidet über die Zuordnung zu der entsprechenden Objektklasse.

Auf die Beschreibung der Algorithmen und deren Parameter wird an dieser Stelle verzichtet und auf die allgemeinen Lehrbücher zur digitalen Bildauswertung von Fernerkundungsdaten bzw. die Handbücher der Bildverarbeitungssoftware EASI/PACE verwiesen (PCI 1996).

Die Klassifikation läuft in mehreren Schritten ab, die in Abb. 9-17 schematisch dargestellt sind. Zunächst erfolgt eine Abgrenzung der landwirtschaftlichen Nutzung zu den nicht-agrarischen und den nicht interpretierbaren Flächen (Kap. 9.2.2.) über verschiedene Merkmale der Satellitendaten und zusätzliche Informationen aus topographischen Karten. Auf der Basis dieser Abgrenzung wird eine Arbeitsmaske erstellt, die in den folgenden Arbeitsschritten ausschließlich Flächen landwirtschaftlicher Nutzung berücksichtigt. Die thematische Auswertung dieser Auswahlflächen enthält zum einen die isolierte Betrachtung der einzelnen Radarbilder (monotemporaler Ansatz), zum anderen die systematische Kombination der Radarbilder verschiedener Überflugtermine und der synthetischen Bildkanäle. Die Arbeiten während dieses Abschnittes betrachten jeweils nur den Ausschnitt der Klassifikationsbasis, wie in Kap. 5 definiert. Die aussagefähigsten Ergebnisse dieser Untersuchungen bilden die Grundlage einer Klassifikation mit bekannten Merkmalen (über-

wachte Klassifikation), um die Flächen der landwirtschaftlichen Nutzung des Landkreises Göttingen zu ermitteln.

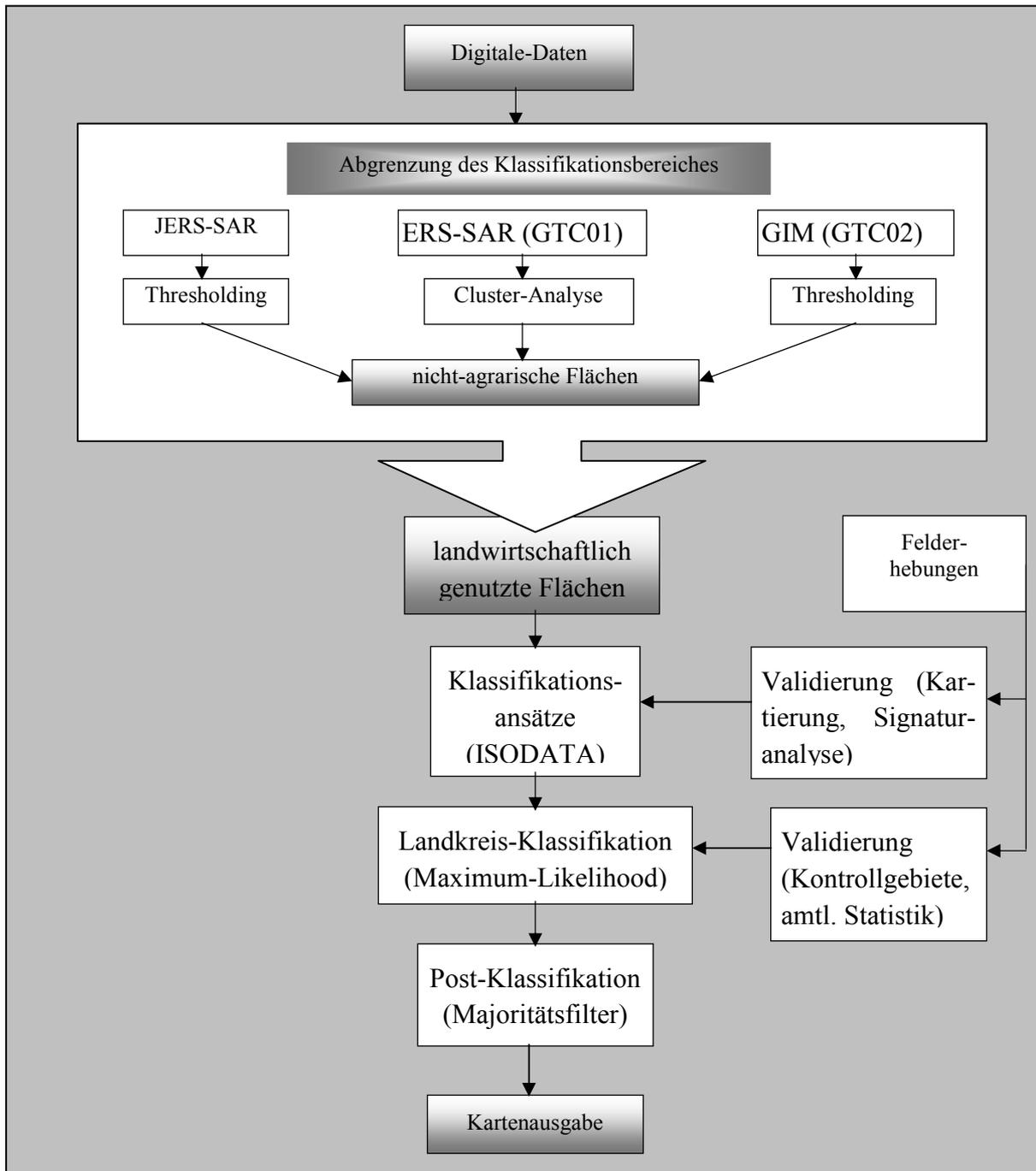


Abb. 9-17: Flußdiagramm für den Klassifikationsablauf.

## 9.2.2 Einschränkungen der Klassifikationsbereiche

### 9.2.2.1 Überlagerungs- und Schattenbereiche

Die ERS-SAR-Daten wurden bereits in früheren Arbeitsschritten in Bezug auf reliefbedingte Verzerrungen geometrisch und radiometrisch korrigiert. Bedingt durch die Abbildungsgeometrie von SAR-Sensoren treten für den gewöhnlich anzutreffenden Fall des unebenen Geländes zusätzlich Sonderfälle der Reliefverzerrung auf, die durch kein Korrekturverfahren behoben werden können. Dies ist vor allem dadurch bedingt, dass höher gelegene Geländepunkte von der Wellenfront früher erreicht werden als tiefer gelegene. Die Folge sind Überlagerungs- und Schattenbereiche, aus denen keine Oberflächeninformation aufgezeichnet werden kann:

- **Überlagerung („Layover“):** Ist der Hangneigungswinkel einer dem Sensor zugewandten Fläche größer als der Einfallswinkel ( $\Theta$ ) der Radarstrahlen, kommt es zu einer Überlagerung mehrerer Bildpunkte in einem einzigen Punkt. Die Schrägdistanz vom Sensor zum Gipfel ist kürzer als die Entfernung zum Hangfuß, somit werden die Rückstreusignale vom Scheitel eher aufgezeichnet, als die des Sockelbereiches.
- **Schatten („Shadow“):** Vom Sensor abgewandte Hänge reflektieren im Gegensatz zu den zugewandten Hängen ein schwächeres Signal zum Sensor. Ab einer gewissen Hangneigung wird die Oberfläche vom Sendeimpuls sogar überhaupt nicht mehr erreicht, der Hangbereich liegt im Radar-Schatten (KRAUS & SCHNEIDER 1988). Dies ist der Fall, wenn der Hangneigungswinkel größer ist als der Depressionswinkel ( $\gamma$ ) (vgl. Abb. 5-2; Kap.5.3).

Der vorliegende ERS-SAR-Datensatz weist vor allem Überlagerungsbereiche auf. Schattenbereiche treten in Anbetracht der Sensorkonfiguration des ERS-SAR nur an sensorabgewandten Steilkanten auf (Neigung  $> 67^\circ$ ). Diese Bereiche werden auf Basis der GIM-Maske von einer Analyse vorab ausgeschlossen.

Mit Hilfe einer Schwellenwertoperation (Thresholding) wird für diejenigen Neigungswerte, die entweder zum Überlagerungs- oder zum Schatteneffekt führen, eine Maske erzeugt, die diese Bereiche von einer weiteren Betrachtung ausschließt (siehe nachfolgende Abb. 9-18).

Ein Informationsverlust in Bezug auf landwirtschaftlich genutzte Flächen ist durch diese Operation nicht zu erwarten, da auf den beschriebenen Flächen aufgrund der extremen Hangneigung in der Regel keine agrarische Nutzung stattfindet.

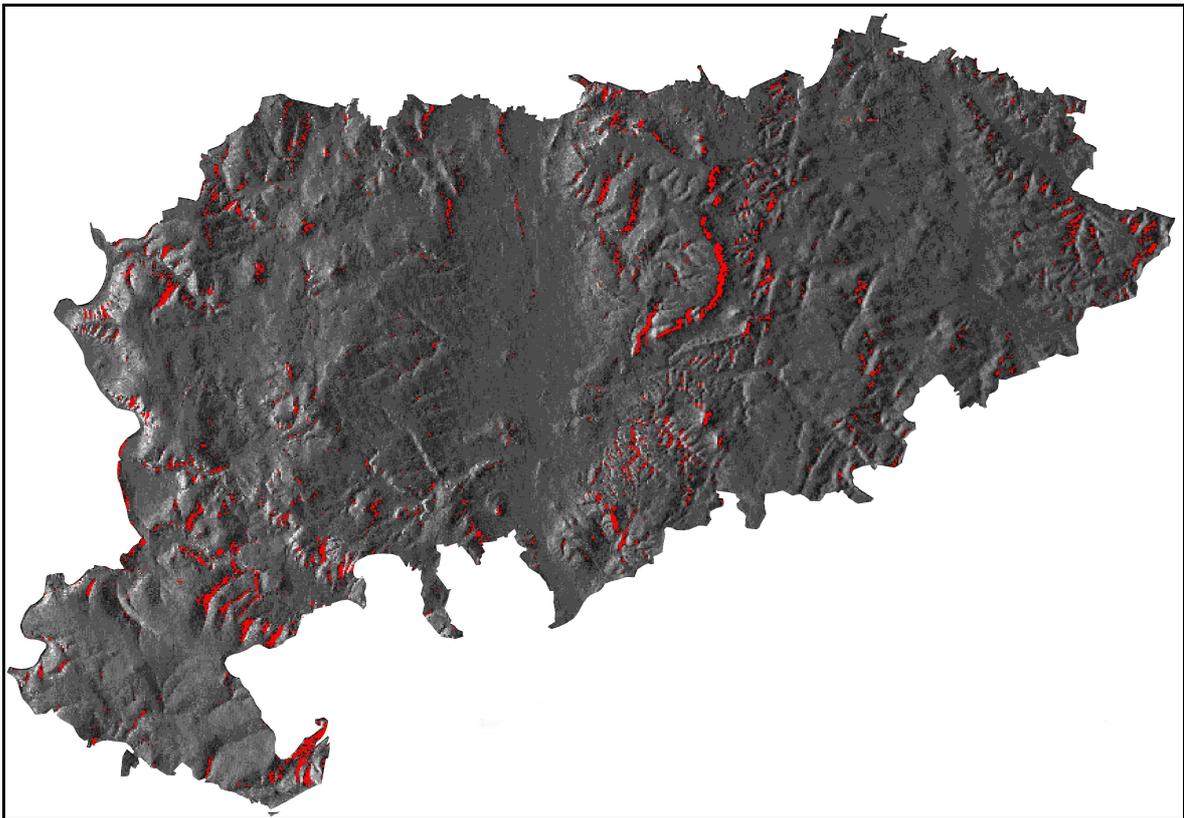


Abb. 9-18: ERS-1 GTC02-Produkt (GIM) mit Überlagerungs- und Schattenbereichen (rot), Landkreis Göttingen (07.03.96).

### 9.2.2.2 Nicht-agrarische Flächen

Wasserflächen zeichnen sich, unabhängig von der Wellenlänge, durch eine sehr niedrige Rückstreuintensität aus. Bei glatten Oberflächen überwiegt die spiegelnde Reflexion. Beeinflusst wird das Reflexionsverhalten durch die Windgeschwindigkeit, die zu einer Aufrauung der Wasseroberfläche infolge der Wellenbildung führen kann. Der höhere Anteil der diffusen Reflexion trägt zu einem Anstieg des Radarechos bei. Im C-Band ist aber dennoch eine deutliche Abgrenzung zu relativ ebenen Ackerflächen möglich.

Bei der Rückstreuung von Waldbeständen im C-Band überwiegt die Volumenstreuung an Blättern, Nadeln, Zweigen und kleinen Ästen. Die Rückstreusignaturen unterscheiden sich während der Vegetationsperiode kaum von denen landwirtschaftlich genutzter Flächen, da die Größenordnungen der streuenden Objekte denen bestockter Ackerflächen ähneln (BAYER 1995).

Für den Zeitraum der Vegetationsruhe kann jedoch eine Abgrenzung anhand der temporalen Signatur getroffen werden, die sich durch einen sehr gleichmäßigen Verlauf gegenüber den Agrarflächen auszeichnet. Dies wird im Vergleich der Signaturverläufe zwischen Oktober und April für Getreideschläge und Mischwaldflächen im Referenzgebiet deutlich (Abb. 9-19). Eine ähnlich stabile Signatur wird zwar auch für Grünland festgestellt, das Intensitätsniveau liegt aber deutlich unter dem für Waldflächen.

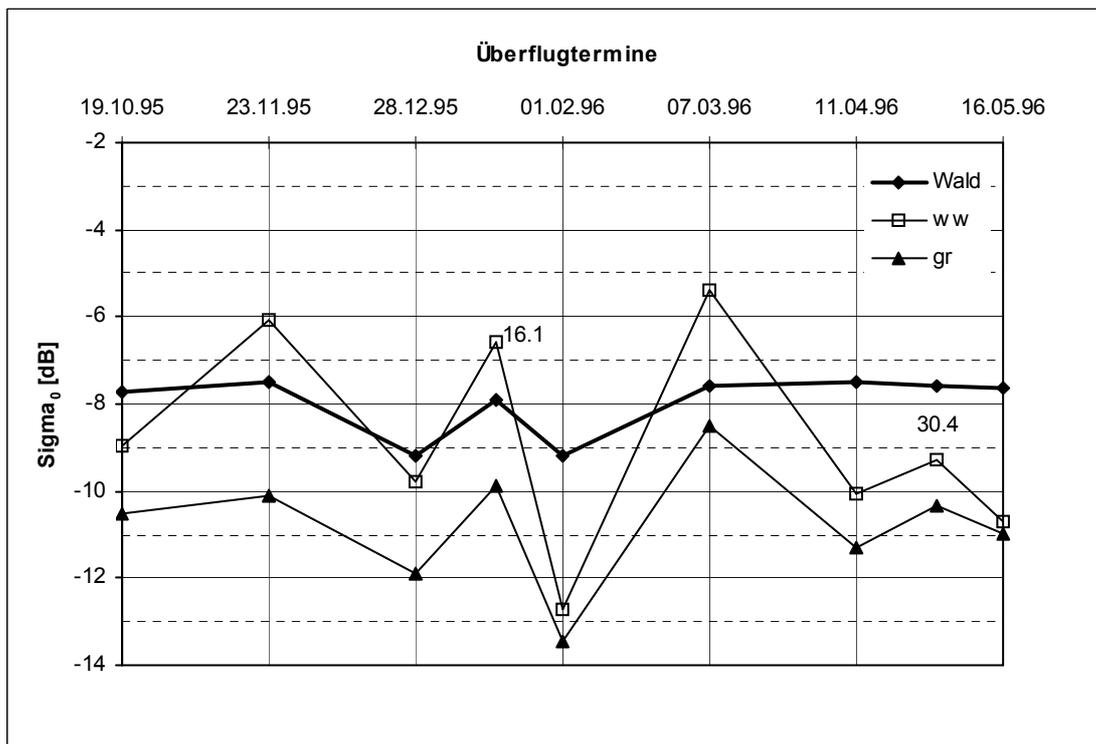


Abb. 9-19: Verlauf des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für Waldflächen und landwirtschaftliche Nutzung.

Die Rückstreucharakteristik von Siedlungsflächen ist geprägt durch die spiegelnde Eckreflexion an Boden und Hauswänden („Corner Reflexion“), die aber abhängig von der Aufnahmerichtung relativ zur Gebäudeausrichtung ist. Die mittlere Rückstreuintensität liegt in dicht bebauten Gebieten deutlich über der für Waldflächen. In mäßig dicht bebauten Siedlungen ähnelt der Signaturverlauf dem der Waldflächen, bedingt durch die umgebende Baumvegetation und den höheren Anteil an Grünflächen.

Eine Trennung von Wald- und Siedlungsflächen scheint für eine monofrequente Auswertung im C-Band deshalb kaum möglich, wurde im Rahmen des Projektes aber auch nicht angestrebt und wird deshalb nicht weiter verfolgt.

Die Abgrenzung der Wald- und Siedlungsbereiche sowie der Wasserflächen von den Agrarflächen erfolgte nach drei unterschiedlichen Ansätzen:

- Schwellenwertoperation mit L-Band-SAR-Daten:  
Für den Landkreis Göttingen lag zusätzlich zu den ERS-SAR-Daten eine JERS/1-SAR-Szene vor, die den Landkreis Göttingen abdeckt. Mit Hilfe dieses Radarbildes konnte über ein Schwellenwertverfahren, welches Bildelemente ausmaskiert, wenn sie einen vorher definierten Wert über- bzw. unterschreiten, eine zeitsparende Methode zur Abgrenzung nicht-agrarischer Flächen entwickelt werden (vgl. KLINGSÖHR 1997). Die Tauglichkeit für C-Band Daten ist jedoch begrenzt auf dicht bebaute Siedlungen, deren Rückstreuintensität sich deutlich von den meisten anderen Bildbereichen abhebt. Ähnlich hohe Rückstreukoeffizienten werden nur auf sehr rauen, kahlen Bodenoberflächen mit senkrechter Bearbeitungsrichtung gemessen.
- Multitemporale Klassifikation mit C-Band-SAR-Daten:  
Der Eingabedatensatz für die unüberwachte Klassifikation (ISODATA-Clustering) beinhaltet neben den Aufnahmen mit der höchsten Differenz der Rückstreuwerte zwischen den zu trennenden Klassen (28.12. / 01.02. / 11.04.) einen synthetischen Bildkanal, der für jedes Pixel die maximale temporale Variabilität des Rückstreukoeffizienten

$\sigma$  über den Beobachtungszeitraum angibt. Dieser ermöglicht bereits bei visueller Interpretation eine gute Unterscheidung zwischen Ackerland/Grünland und nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen. Als Referenzdatensatz für die Aggregation dient die Topographische Karte 1 : 50 000 „Göttingen und Umgebung“.

- Digitalisierung topographischer Karten:  
Um die Ergebnisse der Ausmaskierung nicht-agrarischer Flächen bewerten zu können, muß zusätzlich eine Maske vorliegen, die die tatsächliche Verteilung der Nutzungsarten möglichst genau darstellt. Hierzu wurden die Flächen nicht landwirtschaftlicher Nutzung auf der Basis topographischer Karten im Maßstab 1:50.000 am Digitalisieretablett vektorisiert. Anschließend erfolgte die Konvertierung in ein Rasterformat und der Import in die Bildverarbeitungssoftware (vgl. HURLEMANN 1997).

Das Streudiagramm in Abb. 9-20 zeigt die Abgrenzung der zu betrachtenden Klassen im zweidimensionalen Merkmalsraum. Die Klassenellipsen umschließen 90 % der Pixel für die jeweilige Klasse. Die Kombination von zwei optimalen Eingabebildern ermöglicht also bereits eine akzeptable Differenzierung dieser beiden Objektklassen.

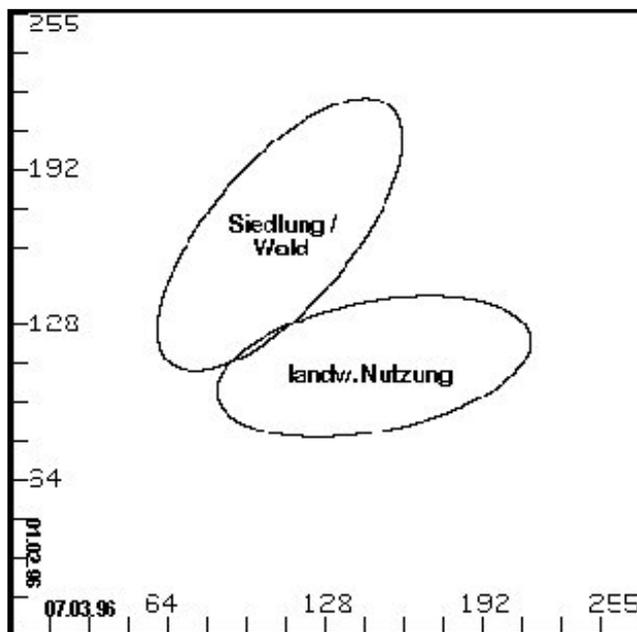


Abb. 9-20: Streudiagramm des Merkmalsraumes für Agrar- und sonstige Flächen.

### 9.2.2.3 Abgrenzungsergebnisse

Die mittels der Arbeitsschritte aus Kap. 9.2.2.2 gewonnene Maske blendet alle nicht zu interpretierenden Bereiche der ERS-SAR-Daten für den Landkreis Göttingen aus.

Das C-Band des ERS-1 Satelliten erweist sich grundsätzlich als tauglich, um nicht landwirtschaftlich genutzte Flächen von Agrarflächen zu trennen. Mit dem unüberwachten ISODATA-Verfahren wird dabei eine Genauigkeit von ca. 93,5 % erreicht, bezogen auf die Flächenerhebung des Statistischen Landesamtes für 1995. Dieses Ergebnis ist vergleichbar mit dem einer monotonen Auswertung im L-Band für 1995, auch wenn der Arbeitsaufwand die simple Methode der Schwellenwertbildung bei weitem übersteigt. Überraschend ist der Vergleich der Klassifikationsergebnisse mit der manuellen Auswertung der topographischen Karten. Diese weist gegenüber der amtlichen Statistik einen Fehlbetrag von über 5.000 ha auf (Tab. 9-4), der nicht auf Digitalisierungsfehler zurückzuführen ist, sondern durch die fehlende Berücksichtigung der Verkehrsflächen des Landkreises bedingt ist. Eine Korrektur dieser erheblichen Abweichung konnte über die Extraktion der Verkehrsflächen aus digitalen TK25-Kartenblättern erreicht werden (HURLEMANN 1997). Der hohe Arbeitsaufwand, sowie der geringe operationelle Nutzen dieser Methode lassen jedoch eine Anwendung im weiteren Verlauf des Projektes nicht als sinnvoll erscheinen. Auch scheint eine Ausmaskierung des Verkehrsnetzes, in Anbetracht der räumlichen Auflösung des Radar-Sensors, keine entscheidenden Vorteile bei der Landnutzungsanalyse zu bewirken.

Für die in den folgenden Kapiteln angestrebte Klassifikation der Kulturpflanzen wird deshalb das Ergebnis der Satellitenbildauswertung herangezogen, um eine Arbeitsmaske zu erstellen, die, abgesehen von den Verkehrswegen, ausschließlich agrarische Flächen abdeckt.

	Statistik [ha]	Bildauswertung [ha]	Flächenanteil [%]
JERS	53.531	50.712	94,73
ERS-1	53.531	50.148	93,68
TK50	53.531	48.290	90,21

Tab. 9-4: Flächenstatistik des Landkreises Göttingen (1995) für nicht-agrarische Flächen.

### 9.2.3 Klassifikationsansätze

Die Datenbearbeitung erfolgt zunächst für einen Ausschnitt von 8\*8 km, der als Klassifikationsbasis dient. Innerhalb dieses Ausschnittes liegt das Testgebiet Reinshof mit den Referenzarealen, die für die spätere Zuordnung zu den Objektklassen benötigt werden. Von den 6.400 ha der Klassifikationsbasis sind 2180 ha vorab als nicht landwirtschaftlich genutzte Fläche eingeordnet, so dass 4220 ha als potentielle Nutzungsfläche in die Klassifikation eingehen.

Um die Auswirkung verschiedener Aufnahmezeiten systematisch zu untersuchen, werden mehrere Zeitreihen unterschiedlicher Anzahl analysiert.

Für jeden Datensatz wird eine unüberwachte Klassifikation für die landwirtschaftlich genutzten Flächen durchgeführt, inklusive der anschließenden Nachbearbeitungsverfahren. Die Bewertung der Klassifikation erfolgt durch den Vergleich der klassifizierten Flächen mit den kartierten Flächen im Testgebiet Reinshof. Eine Konfusionmatrix gibt für jedes Klassifikationsergebnis den Überblick über die korrekt erkannten Pixel sowie über die fehlerhafte Zuordnung zu anderen Objektklassen. Aus den Werten der Konfusionsmatrix errechnet sich die gewichtete Klassifikationsgenauigkeit unter Berücksichtigung der Flä-

chengröße für eine zu bewertende Nutzung. Dieser gewichtete Wert bewirkt, dass selten auftretende Nutzungen, mit einer geringen flächenmäßigen Ausdehnung, das Klassifikationsergebnis nicht verfälschen.

### 9.2.3.1 Monotemporaler Ansatz

Die monotemporale Radarbildauswertung sollte im Rahmen der Fragestellung als Beispiel für minimalen Dateneinsatz und, damit verbunden, minimalen Kostenaufwand vorab exemplarisch untersucht werden. Hierbei gelangte bereits die visuelle Interpretation des Bildmaterials zu dem Schluß, dass die Anzahl der zu unterscheidenden Landnutzungsklassen gering zu halten sein wird.

Als Beispieldaten wurden die Überflugtermine vom 01.06.1995 und 06.07.1995 ausgewählt, die aus der visuellen und statistischen Auswertung als kontrastreich hervorgingen.

Die Klassifikation erfolgte auch in diesem Fall mittels ISODATA-Clustering, was bei der eindimensionalen, monotemporalen Auswertung lediglich zu einer Schwellenwertbildung führt, welche die Clustergrenzen definiert.

Die Ergebnisse der anschließenden Aggregation zu Objektklassen der landwirtschaftlichen Nutzung sind in Tab. 9-5 dargestellt. Eine befriedigende Genauigkeit lieferte lediglich eine Klassifikation, die nur drei Nutzungen unterscheidet: Zuckerrüben (ZR), Wintergetreide (WT) und Grünland (GR).

	4 Nutzungen	3 Nutzungen
	R <sub>G</sub> [%]	R <sub>G</sub> [%]
01.06.95	60,44	--
06.07.95	65,22	82,56

Tab. 9-5: Ergebnisse der monotemporalen Klassifikation (Klassifikationsbasis 1995).

Die Ergebnisse können einen groben Eindruck von der Verteilung der Hauptanbaufrüchte im Untersuchungsgebiet vermitteln. Eine weitergehende Differenzierung, wie sie für die Landnutzungserfassung im Rahmen des Projektes notwendig wäre, ist aber nicht erreichbar.

### 9.2.3.2 Multitemporaler Ansatz

Der multitemporale Ansatz verfolgt zwei methodisch zu trennende Ziele (vgl. Kap. 9.1.4): Zum einen sollen die Möglichkeiten der Abgrenzung intensiver und extensiver landwirtschaftlicher Nutzungen über den gesamten Verlauf der Vegetationsperiode untersucht werden. Zum anderen wird – ebenfalls unter dem Aspekt der Differenzierung extensiver und intensiver Nutzung - ein methodischer Ansatz zur Frühabschätzung landwirtschaftlicher Nutzung aus Radarsatellitendaten erprobt.

Die Einteilung der Landnutzungsklassen orientiert sich in allen Klassifikationsversuchen an den Ergebnissen der statistischen Auswertung des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$ . Als Referenzdatensatz stehen für die Klassifikationsbasis zwei Landsat/TM-Aufnahmen von 1995 zur Verfügung.

#### Abgrenzung extensiver und intensiver Landnutzung:

Die Analyse des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  führte zu dem Schluß, dass durch eine multitemporale Auswertung der Radarbilder des Untersuchungsgebietes maximal sechs Klassen landwirtschaftlicher Nutzung (vier intensive und zwei extensive Nutzungen) unterschieden werden können. Dieses Vorwissen bildet die Grundlage für die Zusammenfassung der durch das ISODATA-Verfahren gewonnenen Gruppen gleicher temporaler bzw. spektraler (Landsat/TM) Merkmale.

Die Güte der Klassentrennung und die Resultate der Klassifikationen werden in Konfusionsmatrizen pixelweise durch den Vergleich mit der Referenzkarte (Kartierung) geprüft. Daraus ergeben sich die Anteile der richtig und der falsch bzw. der nicht zugeordneten Pixel. Der Anteil der richtig zugeordneten Pixel der Klassen des Testgebietes ist in den folgenden Tabellen unter  $R_{CM}$  (=Resultate der Konfusionsmatrix) aufgelistet. Die Fläche der klassifizierten Nutzung wird für die Referenzareale mit derjenigen der kartierten Flächen verglichen. Unter Berücksichtigung der Gesamtfläche der landwirtschaftlichen Nutzung für das Testgebiet wird hierdurch für jede Nutzung der Betrag der Abweichung von der kartierten Nutzung berechnet (vgl. SPÖNEMANN & SCHIECHE 1997).

Die unter  $Diff_A$  (=Differenz der Arealanteile) aufgeführten Werte stellen somit die aus Fehlklassifizierungen resultierenden Abweichungen der klassifizierten von den wirklichen Anteilen dar. Die Summe der Abweichungen ergibt mit dem Komplementärwert die jeweilige gewichtete Gesamtgenauigkeit ( $R_G$ ).

Die unterschiedlichen Zeitreihen werden zunächst unter der Prämisse ausgewählt, mit einem möglichst kleinen Datensatz (wenig Überflugtermine) ein ausreichendes Ergebnis zu erreichen. Daran anschließend soll das für das vorliegende Datenmaterial optimale Klassifikationsergebnis erarbeitet werden.

Der kleinste verwendete multitemporale Datensatz enthält Kombinationen von drei Überflugterminen. Einerseits wurden Bilder identischer Rahmen („Frames“) klassifiziert, was den Vorteil bietet, dass sich die Szenen relativ einfach ko-registrieren lassen und keine Randbereiche entstehen, in denen bei der Bearbeitung verschiedener Bildrahmen Daten fehlen können. Ergänzend wird eine Klassifikation mit drei Terminen einer möglichst kurzen Zeitspanne durchgeführt, um die Möglichkeiten der Datenverfügbarkeit im Falle einer operationellen Anwendung der Radardaten bewerten zu können. Die gewichteten Klassifikationsgenauigkeiten ( $R_G$ ) für die Flächen des Testgebietes sind in nachfolgender Tab. 9-5 zusammengestellt.

	<b>R<sub>G</sub> [%]</b>
<b>desc./asc.</b> (20.06./06.07./16.07.)	71,70
<b>desc.</b> (27.04./01.06./06.07.)	74,38
<b>asc.</b> (02.04./07.05./16.07.)	73,96

Tab. 9-6: Klassifikationsgenauigkeiten multi-temporalen ERS-SAR-Daten für das Testgebiet (drei Überflugtermine; 1995).

Die Werte zeigen, dass Klassifikationen mit Daten identischer Bildrahmen zu besseren Ergebnissen führen, da die temporale Signatur über einen längeren Beobachtungszeitraum einen charakteristischen Verlauf aufweist. Insgesamt sind die Resultate mit unter 75 % Genauigkeit aber relativ gering, zumal die Klasse <RB> (Rotationsbrache) nicht zugeordnet werden kann.

Die weiteren Untersuchungen konzentrieren sich deshalb auf Datensätze, welche die saisonalen Veränderungen der zu differenzierenden Objektklassen möglichst vollständig umfassen. Hierzu werden Klassifikationen mit bis zu neun Überflugterminen durchgeführt (Tab. 9-6). Die Klassifikation mit sechs ERS/1-SAR-Szenen liefert bereits ein gutes Ergebnis für das Testgebiet Reinshof, bezogen auf die gewichtete Gesamtgenauigkeit für die zu differenzierenden Klassen von 82,4 %. Diese ist vergleichbar mit der bitemporalen Landsat/TM-Klassifikation. Auch die Arealabweichungen sind von gleicher Größenordnung. Ein Vergleich des Klassifikationsergebnisses mit der Referenzkarte ist in Abb. 9-21 dargestellt.

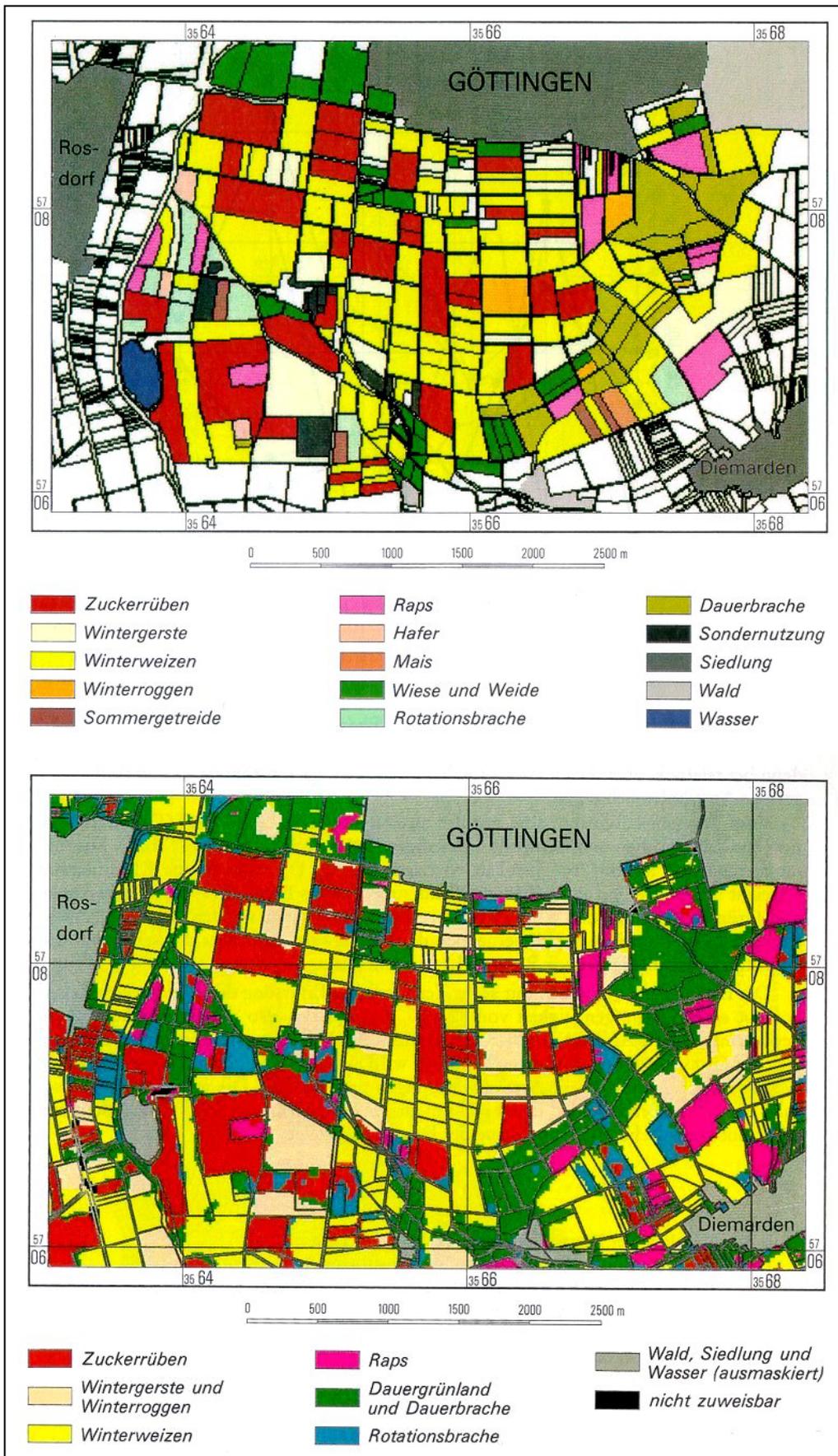


Abb. 9-21: Kartierung und Klassifizierung der Landnutzung im Testgebiet Reinshof 1995.

Eine wesentliche Steigerung, vor allem für die extensiv genutzten Flächen, wird aber für die ERS-SAR-Bilder mit der Hinzunahme dreier Termine des Spätsommers und Herbstanfangs erreicht (87,7 %), und auch die Arealabweichungen sind geringer. Die wichtigste Verbesserung betrifft die Rotationsbracheschläge <RB>, deren recht niedriger Diff<sub>A</sub>-Wert bei einer Genauigkeit von 68 % eine realistische Größenordnung der Erfassung anzeigt. Die monotemporale LANDSAT/TM-Klassifikation erfasst im Testgebiet Reinsdorf nur Zuckerrüben und Grünland mit befriedigender Genauigkeit. Die Gesamtgenauigkeit ist mit 76,7 % (Tab. 9-7) aber relativ gering. Die bitemporale Klassifikation erreicht mit 83,4 % ein deutlich besseres Ergebnis. Außer Zuckerrüben und Grünland ist auch der Winterweizen recht genau erkannt worden. Die Arealabweichungen bleiben unter 4 %, wobei jedoch der Wert für die Klasse <RB>, angesichts der sehr niedrigen Klassifikationsgenauigkeit von R<sub>CM</sub> = 31,3 %, nicht aussagekräftig ist.

	Landsat/TM				ERS-1			
	monotemporal <sup>1</sup>		bitemporal <sup>2</sup>		6 Termine <sup>3</sup>		9 Termine <sup>4</sup>	
	R <sub>CM</sub> [%]	Diff <sub>A</sub> [%]	R <sub>CM</sub> [%]	Diff <sub>A</sub> [%]	R <sub>CM</sub> [%]	Diff <sub>A</sub> [%]	R <sub>CM</sub> [%]	Diff <sub>A</sub> [%]
WW	81,8	-7,1	90,5	-3,6	85,7	-5,6	90,5	-3,7
WG+R	45,7	-6,1	73,1	-3,8	76,3	-3	83,3	-2,1
ZR	97,0	-0,6	90,7	-1,9	92,5	-1,5	92,6	-1,5
RA	67,3	-1,7	70,7	-1,4	77,9	-1,1	80,7	-1,0
GR	85,7	-2,5	86,5	-2,7	77,7	-3,9	86,4	-2,4
RB	11,3	-4,5	31,3	-3,5	52	-2,5	68,1	-1,6
<b>Σ Diff<sub>A</sub></b>		<b>23,3</b>		<b>16,6</b>		<b>17,6</b>		<b>12,3</b>
<b>R<sub>G</sub></b>	<b>76,7</b>		<b>83,4</b>		<b>82,4</b>		<b>87,7</b>	

<sup>1</sup> 3.5.95 <sup>2</sup> 3.5. + 29.6.95 <sup>3</sup> 27.4., 16.5., 1.6., 20.6., 6.7., 25.7.95,

<sup>4</sup> 27.4., 16.5., 1.6., 20.6., 6.7., 25.7., 10.8., 14.9., 19.10.95.

Tab. 9-7: Klassifikationsgenauigkeiten von Landsat/TM und ERS-SAR (Klassifikationsbasis 1995)

### 9.2.3.3 Frühabschätzung landwirtschaftlicher Nutzung:

Das Ergebnis der Analyse des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für den Beobachtungszeitraum bis Mitte Mai ergibt eine Unterscheidung von maximal fünf Klassen landwirtschaftlicher Nutzung (vgl. Kap. 9.1.3). Auf die Detektierung von Rotationsbrache <RB> wird von Beginn an verzichtet. Das Hauptaugenmerk in Bezug auf extensiv genutzte Flächen kann innerhalb dieses Zeitraumes deshalb lediglich auf der Abgrenzung von Grünlandflächen zu intensiver Nutzung liegen.

Die Terminauswahl innerhalb des Beobachtungszeitraumes wurde systematisch variiert, um zum einen eine möglichst frühe Separierung der Landnutzung mit akzeptabler Genauigkeit herbeizuführen und zum anderen das bestmögliche Klassifikationsergebnis zu erzielen. Die ermittelten gewichteten Klassifikationsgenauigkeiten für den jeweiligen Ansatz sind in Tab. 9-8 zusammengefaßt.

	Aufnahmetermine	Anzahl der Termine	Anzahl der Klassen	R <sub>G</sub> [%] (multitemporal)	R <sub>G</sub> [%] (multitemporal + Mittelwert-Kanal)
<i>A</i>	23.11.95 bis 07.03.96	4	5	59,1	62,4
<i>B</i>	23.11.95 bis 30.04.96	6	5	65,4	69,5
<i>C</i>	23.11.95 bis 16.05.96	7	5	75,3	75,4
<i>D</i>	19.10.95 bis 07.03.96	5	5	60,7	64,3
<i>E</i>	19.10.95 bis 30.04.96	7	5	67,5	68,2
<i>F</i>	19.10.95 bis 16.05.96	8	5	76,3	76,7
<i>G</i>	07.03.96 bis 16.05.96	4/5	5	68,8	73,1
<i>H</i>	19.10.95 bis 16.05.96	8	4	85,6	85,8

Tab. 9-8: Übersicht der Gesamtklassifikationsgenauigkeiten R<sub>G</sub> für die untersuchten Bildkombinationen.

Die Güte der Klassifikation nimmt erwartungsgemäß mit der Ausweitung des Betrachtungszeitraumes im Frühjahr zu. Die Zeitreihen *A* bis *C* bzw. *D* bis *F* zeigen einen Anstieg der Klassifikationsgenauigkeiten von rund 16 % für multitemporale Kombinationen.

Auch die Hinzunahme eines weiteren Herbst-Termins, in diesem Fall des 19.10.95, führt zu einer Verbesserung der Resultate. Der Grund hierfür liegt vor allem in der besseren Erkennbarkeit von Rapsflächen im Radarbild, die sich aufgrund ihrer Phänologie zu diesem Zeitpunkt markant von den übrigen Kulturpflanzen abheben.

Deutlicher wird der Unterschied in den Klassifikationsgenauigkeiten bei der Betrachtung der kompletten Fehlermatrix für eine Klassifikation mit und eine Klassifikation ohne die Oktober-Aufnahme (Tab. 9-9). Die gravierende Differenz zwischen den Werten für die Klasse „Raps“ verliert aber bei der Berechnung der Gesamtgenauigkeit an Bedeutung, da sie nur einen sehr geringen Flächenanteil von 3,6 % ausmacht. Dies ist auch die Erklärung für die generell schlechte Erkennbarkeit von Raps im Untersuchungsgebiet. Hinzu kommt die geringe Flächengröße der kartierten Rapsschläge (Ø 2,19 ha).

	23.11.95.-16.05.96		19.10.95-16.05.96	
	R <sub>CM</sub> [%]	Diff <sub>A</sub> [%]	R <sub>CM</sub> [%]	Diff <sub>A</sub> [%]
WW	72,4	12,1	74,6	11,1
WG/WR	53,1	6,6	41,7	8,2
RA	22,4	3,0	54	1,8
ZR	94,1	1,3	94,6	1,2
GR	90	1,7	91,9	1,3
Σ Diff <sub>A</sub>		<b>24,7</b>		<b>23,7</b>
<b>R<sub>G</sub></b>	<b>75,3</b>		<b>76,3</b>	

Tab. 9-9: Fehlermatrix für multitemporale Klassifikationen (1995/'96).

Bei der weitergehenden Betrachtung der Konfusionsmatrizen fällt auf, dass die Klasse "Wintergerste/-roggen" ebenfalls nur einen geringen Anteil an richtig klassifizierten Pixeln aufweist. Dieser liegt teilweise unter dem Anteil der Pixel, die der Klasse "Winterweizen" zugeordnet werden. Dies bedeutet, dass diese beiden Klassen trotz der in Kap. 9.1.2 nachgewiesenen unterschiedlichen temporalen Signaturen durch eine Clusterbildung im Merkmalsraum nicht getrennt werden können (vgl. Streudiagramm in Abb. 9-22).

In einer weiteren Klassifikation werden deshalb diese beiden Klassen zu einer Klasse "Wintergetreide" (wt) zusammengefaßt, wodurch sich die Anzahl der zu separierenden Klassen auf vier verringert. Das Ergebnis ist eine Erhöhung der Gesamtklassifikationsgenauigkeit auf 85,6 % (Reihe **H** in Tab. 9-8).

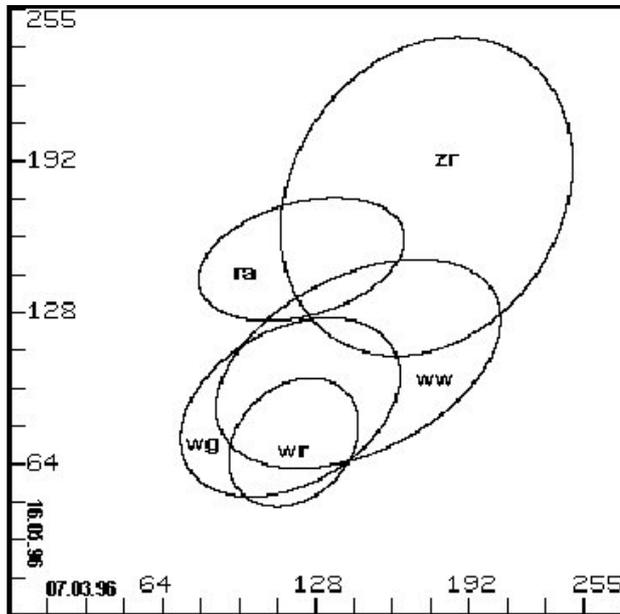


Abb. 9-22: Streudiagramm für verschiedene Kulturpflanzen im zweidimensionalen Merkmalsraum.

Zusätzlich zu den behandelten Zeitreihen erfolgt eine Klassifikation, welche die Herbst- und Winterperiode nicht mit einbezieht (Reihe **G** in Tab. 6-8) und außerdem ein Versuch, der ausschließlich die aus der multitemporalen Bildreihe gewonnen synthetischen Kanäle (Tab. 9-10) berücksichtigt (vgl. Kap. 5.5.1). Die Gesamtklassifikationsgenauigkeit ist jedoch in beiden Versuchen nicht zufriedenstellend, was hauptsächlich durch die schlechte Erkennbarkeit der intensiven Nutzung bedingt ist. Grünlandflächen hingegen können gut separiert werden, wie die Fehlermatrix für die Klassifikation der synthetischen Kanäle veranschaulicht.

	synthetische Kanäle	
	R <sub>CM</sub> [%]	Diff <sub>A</sub> [%]
WW	64,9	15,4
WG/WR	30,1	9,9
RA	27,0	2,8
ZR	68,5	6,8
GR	86,6	2,2
$\Sigma$ Diff <sub>A</sub>		<b>37,1</b>
<b>R<sub>G</sub></b>	<b>62,9</b>	

Tab. 9-10: Fehlermatrix für synthetische Kanäle (1995/'96).

Das weitere Vorgehen zielt deshalb auf eine Integration der synthetischen Kanäle in die bereits verwendeten Zeitreihen ab. Hierzu muß zunächst der Informationsgehalt der synthetischen Kanäle näher untersucht werden.

Die Grauwerte im Variations-Kanal sollen Aufschluß über das Ausmaß der temporalen Variabilität der Rückstreuintensität für verschiedene Objekte geben. Da sich die Ackerflächen bezüglich ihres Signaturverlaufes aber hauptsächlich in ihrem Niveau und kaum in dem Differenzbetrag der Intensitäten unterscheiden, werden landwirtschaftliche Nutzungen mit Hilfe dieses Verfahrens schlecht separiert (Abb. 9-23a).

Im Maximum-Kanal (Abb. 9-23b) ist für jedes Pixel codiert, an welchem der Aufnahme-terminen die maximale Rückstreuung empfangen wurde. Dieser korreliert jedoch nur bedingt mit einem Stadium der Bodenbearbeitung, da Störfaktoren, wie in Kap. 6.1.1 dargestellt, das Radarecho beeinflussen können. Dies hat zur Folge, dass im Maximum-Kanal der März-Termin unabhängig vom Bodenzustand der Schläge dominiert.

Die Bildung des arithmetischen Mittels kann zum einen eine Angleichung von Klassen durch die Unterdrückung der Extremwerte bewirken. Andererseits führt sie aber, wie im vorliegenden Fall der Temporalsignaturen, zu einer Hervorhebung der Niveauunterschiede zwischen den Nutzungen. Der Mittelwert-Kanal (Abb. 9-23c) scheint deshalb geeignet, in weitere Klassifikationsversuche einbezogen zu werden und die beiden anderen synthetischen Kanäle werden von der folgenden Bearbeitung ausgenommen.

Zu den Zeitreihen aus Kap. 7.3.2.1 wird jeweils ein Mittelwert-Kanal, bestehend aus dem Mittel aller Aufnahmetermine der betreffenden Zeitspanne hinzugefügt und gleichzeitig der Termin mit dem geringsten Kontrast (28.12.95) aus den Datensätzen entfernt. Für die Reihe **G** entfällt dieser Austausch, die Anzahl der Eingabebilder erhöht sich um den Mittelwert-Kanal (Tab. 9-8).

Die Modifikation der Eingabebilder zeigt eine Verbesserung der Ergebnisse für Klassifikationen mit einer geringen Zahl von Eingabebildern (**A**, **D**, **G**). Die Gesamtklassifikationsgenauigkeiten für die März-Klassifikationen bleiben aber ungenügend. Dagegen ergibt sich für die Bildreihe **G** eine bemerkenswerte Verbesserung auf einen Wert von 73,1 %. Auf die Gesamtklassifikationsgenauigkeiten der übrigen Zeitreihen hat der Mittelwert-Kanal aber nur einen geringen positiven Effekt (vgl. ERASMI 1997).

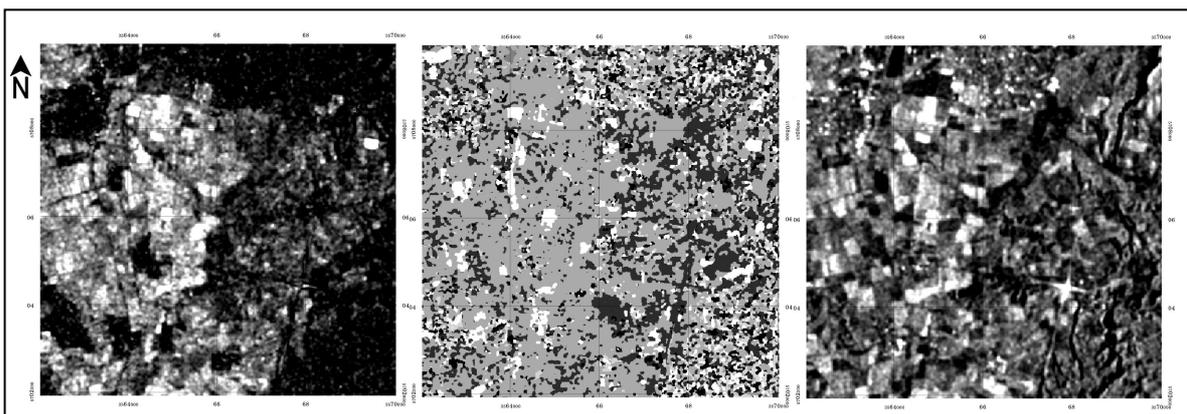


Abb. 9-23 a b c: Synthetische Bildkanäle aus ERS-SAR-Bildern (5 Eingabebilder).

Die folgende Abbildung zeigt die Klassifikationsergebnisse der Zeitreihen **F** bzw. **H** (vgl. Tab. 9-8) inklusive des Mittelwert-Kanals für vier bzw. fünf Nutzungsklassen.

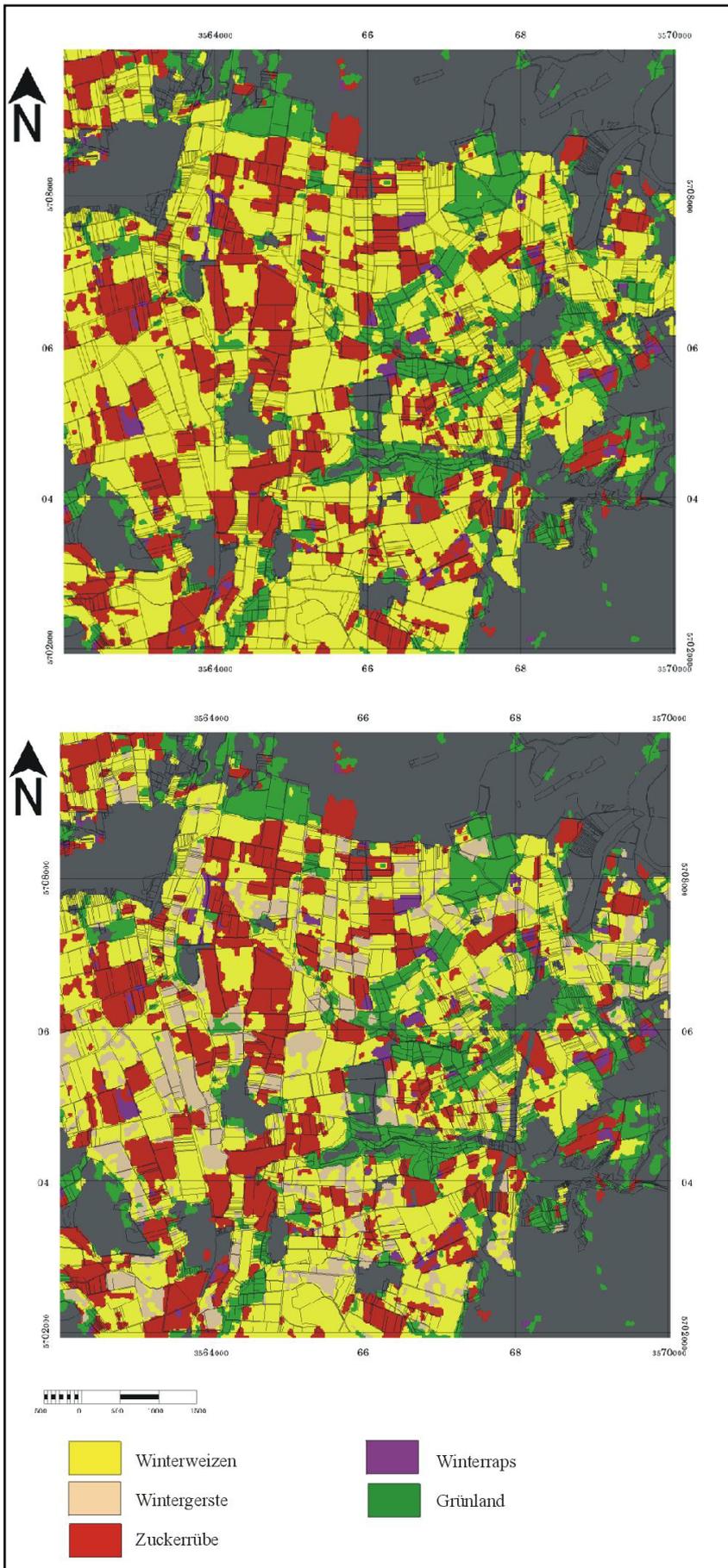


Abb. 9-24: Klassifikationsergebnisse für den Ausschnitt der Klassifikationsbasis (Zeitreihe vom 19.10.95 bis 16.05.96).

### 9.2.3.4 Mehrjähriger Klassifikationsansatz

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung erfolgte eine Klassifikation des Bildmaterials in sechs Klassen der landwirtschaftlichen Nutzung entsprechend den vorangegangenen Arbeiten. Der Datensatz für die Cluster-Analyse besteht aus den fünf Radarbildern und einem Mittelwert-Kanal aus der jeweiligen Zeitreihe. Die Ergebnisse dieser Klassifikationen enthält die Klassifikationsmatrix in Tab. 9-11.

	1995		1996	
	R <sub>CM</sub> [%]	Diff <sub>A</sub> [%]	R <sub>CM</sub> [%]	Diff <sub>A</sub> [%]
WW	91,6	3,3	88,6	5,0
WGWR	87,5	1,7	61,1	5,5
RA	88,4	0,6	40,0	2,3
ZR	95,7	0,9	92,1	1,7
GR	90,1	1,7	79,3	3,4
RB	39,5	2,2	46,3	0,8
$\Sigma$ Diff <sub>A</sub>		<b>10,4</b>		<b>18,7</b>
R <sub>G</sub>	<b>89,6</b>		<b>81,3</b>	

Tab. 9-11: Genauigkeiten der Klassifikation für 1995 und 1996

Die Auswertungen beider Jahre erbringen ein gute Gesamtgenauigkeit von über 80 %. Auffallend ist aber die deutlich höhere gewichtete Klassifikationsgenauigkeit (R<sub>G</sub>) der Radarbilder von 1995. Die Ursachen hierfür sind:

- (1) die schlechte radiometrische Auflösung des Überflugtermins vom 11.04.1996 und
- (2) die geringe Größe der Referenzschläge von Raps.

Die Qualität der Aufnahme vom 11.04.1996 macht eine Unterscheidung von Klassen landwirtschaftlicher Nutzung so gut wie unmöglich. Die Rückstreuung der zu diesem Zeitpunkt überwiegend gering bedeckten Oberflächen wird dominiert durch den temporären Faktor Bodenfeuchte. Nach der langen Frostperiode des Winter 1995/96 (vgl. Kap. 3.1.2) ist die Sättigung des auftauenden Bodens zu diesem Zeitpunkt sehr hoch, was zu einer überwiegend vom Sensor weg gerichteten Oberflächenreflexion der Radarstrahlen führt. Der Rückstreuoeffizient  $\sigma^0$  ist deshalb für das gesamte Testgebiet relativ homogen. Die durchschnittliche Größe der kartierten Rapsschläge im Testgebiet Reinshof liegt für die Anbauperiode 1996 bei  $\varnothing$ 2,19 ha (1995:  $\varnothing$ 3,44 ha). Da auch die Gesamtfläche der Rapsschläge deutlich unter der des Vorjahres liegt (Tab. 3-2), ist eine Abgrenzung zu anderen Nutzungen nur unzureichend möglich, was sich in der niedrigen Klassifikationsgenauigkeit für diese Klasse niederschlägt. Der Einfluß auf die Gesamtgenauigkeit ist aber aufgrund des Flächenanteils der Referenzareale von nur 3,6 % gering.

Die Erkennbarkeit der dominierenden intensiven Ackerfrüchte (Zuckerrübe und Winterweizen) ist aber in beiden Jahren mit Werten von ca. 90 % als sehr gut zu bewerten. Extensive Nutzungen zeigen wie schon in den vorangegangenen Ansätzen zur Klassifikation ein geteiltes Ergebnis. Während Grünlandflächen aufgrund der geringen Schwankungsamplitude der Rückstreuwerte gut von anderen Formen der landwirtschaftlichen Nutzung zu unterscheiden sind, gestaltet sich die Detektierung von Rotationsbrachen schwierig. Neben der Vielfältigkeit der Bracheformen liegt die Ursache hierfür, wie bei den Rapsflächen, in der geringen durchschnittlichen Schlaggröße sowie dem geringen Anteil an der Gesamtflä-

che der Referenzareale. Die Trennbarkeit von Bracheflächen erfordert außerdem eine größere Anzahl von Befliegungsterminen über die Wachstumsperiode intensiv genutzter Flächen hinaus (vgl. Kap. 9.2.2.2).

#### 9.2.4 Klassifikation für den Landkreis Göttingen

Die Erfassung der Landkreisfläche unter Ausmaskierung aller nicht-landwirtschaftlicher Flächen des Landkreises Göttingen verläuft anhand der Arbeitsschritte aus Kap. 9.2.2.2.

Die Klassifikation erfolgt, wie bereits im Ablaufschema in Kap. 9.2.1 dargelegt, auf der Grundlage der Auswertung für die Klassifikationsbasis bzw. der Klassifikationsgenauigkeiten für die Referenzareale des Testgebietes Reinshof. Das Ergebnis der Cluster-Analyse geht als Trainingsdatensatz in die Maximum-Likelihood Klassifikation ein. An den Zwischergebnissen der überwachten Klassifikation schließt sich wiederum die Zusammenfassung der Cluster zu den gewünschten Objektklassen an. Die Aggregation verläuft nach dem identischen Zuordnungsprinzip wie bei den entsprechenden Klassifikationsansätzen für die Klassifikationsbasis.

Die für die Landkreisklassifikation ausgewählten Bildreihen sind in Tab. 9-11 zusammengestellt. Die Auswahl richtet sich nach den Ergebnissen des multitemporalen und des mehrjährigen Ansatzes (Kap. 9.2.3.1 + 9.2.3.2). Als Beispiel ist in Abb. 9-25 das Ergebnis der Klassifikation einer Zeitreihe von 1995 dargestellt.

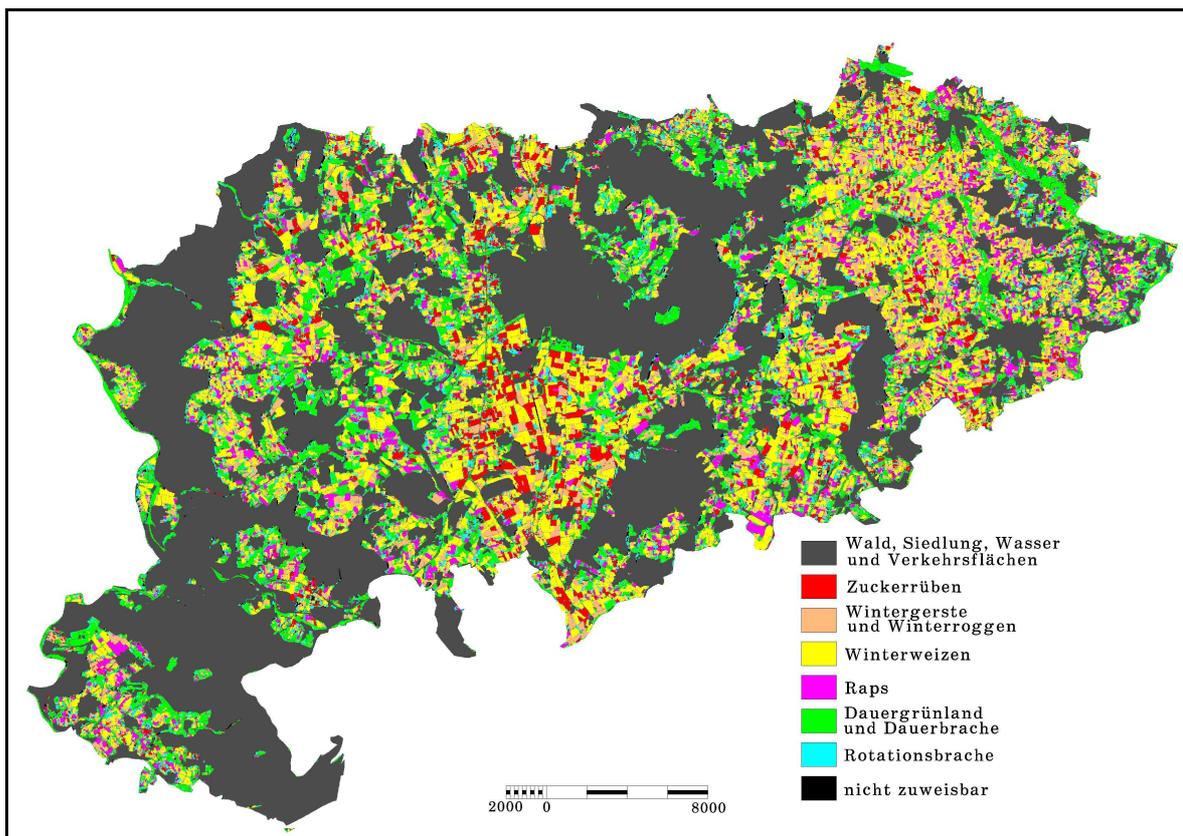


Abb. 9-25: Klassifikationsergebnis LK Göttingen (ERS-1, 9 Termine 1995).

Zur Bewertung der Klassifikationsergebnisse werden im Anschluß an die Aggregation der Cluster und die Postklassifikation (durch Majoritätsfilter) zwei verschiedene Verfahren angewendet, die in den folgenden Kapiteln erläutert werden.

Bezeichnung der Zeitreihe	Überflugtermine
Landsat/TM monotemporal	3.5.95
ERS-1, 6 Termine 1995	27.4./16.5./1.6./20.6./6.7./25.7.
ERS-1, 9 Termine 1995	27.4./16.5./1.6./20.6./6.7./25.7./10.8./14.9./19.10.
ERS-1, 8 Termine 1995/'96 (5 Klassen)	19.10./23.11./28.12./16.1./7.3./11.4./30.4./16.5.
ERS-1, 8 Termine 1995/'96 (4 Klassen)	19.10./23.11./28.12./16.1./7.3./11.4./30.4./16.5.
ERS-1, 5 Termine 1995	27.4./1.6./6.7./10.8./14.9.
ERS-1, 5 Termine 1996	11.4./16.5./20.6./25.7./30.8.

Tab. 9-12: Zeitreihen für die Landnutzungsklassifikation des Landkreises Göttingen.

#### 9.2.4.1 Validierung anhand der Kontrollgebiete

Das Ergebnis der Klassifikation für den Landkreis Göttingen wird anhand eines weiteren Kontrollgebietes, für das im Rahmen der Felderhebungen ebenfalls eine Kartierung durchgeführt wurde überprüft. Die Flächen des Testgebietes Reinshof kommen für diesen Arbeitsschritt nicht in Frage, da sie als Trainingsgebiete in die Landkreisklassifikation eingegangen sind.

Die Validierung erfolgt anhand des Testgebietes Weende-Nord (vgl. Abb. 3-1). Die Auswertung der Referenzareale erfolgt nach dem Prinzip der pixelbasierten gewichteten Klassifikationsgenauigkeit, wie in Kap. 9.2.3.2 beschrieben. Die Ergebnisse für die Hauptnutzungen ( $R_{CM}$ ) sowie die Gesamtgenauigkeit ( $R_G$ ) für eine Klassifikation mit jeweils fünf ERS-Bildern für das jeweilige Wirtschaftsjahr sind in Tab. 9-13 abgetragen.

	$R_{CM}$ [%] (5 Termine 1995)	$R_{CM}$ [%] (5 Termine 1996)
WW	92,7	93,7
WG	74,5	79,1
ZR	93,0	93,0
<b><math>R_G</math> [%]</b>	<b>89,7</b>	<b>88,8</b>

Tab. 9-23: Ergebnisse der Klassifikation für das Kontrollgebiet Weende-Nord.

Diese Methode der Validierung ermöglicht eine objektive Beurteilung der Klassifikationsgüte, ist jedoch in der vorliegenden Untersuchung eingeschränkt durch die niedrige Anzahl der Referenzschläge pro Nutzung und die geringe Flächengröße des Gesamtareals.

Für die Hauptnutzungen im Landkreis werden Übereinstimmungen von durchschnittlich über 85 % erreicht, was einem guten bis sehr guten Ergebnis entspricht.

#### 9.2.4.2 Validierung anhand der amtlichen Statistik

Die Klassifikationsgüte der ERS-SAR-Daten richtet sich neben der pixelbasierten Bewertung vor allem nach dem Vergleich mit den offiziellen Angaben des Statistischen Landesamtes. Da der Flächenerhebung der Landesämter aber eine weitergehende Differenzierung der landwirtschaftlichen Nutzungen zugrunde liegt, müssen diese zunächst in der Form zusammengefaßt werden, dass sie einen direkten Vergleich mit den aus den Satellitenbildern klassifizierten Hauptnutzungsarten ermöglichen.

Hierzu sind dem Dauergrünland die Klassen "Klee und Klee gras" und "Grasanbau auf Ackerland" (zusammen 0,1 %) zugeordnet worden, weil sie sich auch rein optisch stark gleichen. Die Ackerlandbrache ist mit Rotationsbrache gleichgesetzt worden und schließt die Flächenstillegung ein. Die damit verbundenen Verschiebungen der Flächenanteile sind zwar wegen der geringen Flächengrößen der betroffenen Klassen relativ unbedeutend, beeinträchtigen aber die strenge Vergleichbarkeit.

Die landwirtschaftliche Nutzfläche des Landkreises Göttingen ist nach den Verfahren aus Kap. 9.2.2.2 aus der topographischen Karte 1:25.000 durch Digitalisierung und aus den Bilddaten durch Klassifizierung ermittelt worden. In beiden Fällen erhält man eine positive Abweichung vom Wert der amtlichen Statistik (Tab. 2-1, Kap.2), die zwei Gründe haben kann:

1. Der Anteil der Verkehrsflächen erhöht die klassifizierte Fläche.
2. Die amtliche Flächenerhebung beruht auf Angaben der landwirtschaftlichen Betriebe mit Sitz im Kreisgebiet, berücksichtigt aber nicht die Lage der Nutzflächen inner- oder außerhalb der Kreisgrenze.

Der Vergleich von Klassifikationsergebnissen mit der amtlichen Statistik unterliegt also - zusätzlich zu den Problemen der Klassendefinition (siehe oben) - auch aus diesem Grund dem Vorbehalt der ungleichen Bezugsbasis.

Das Ergebnis der monotemporalen LANDSAT/TM-Auswertung ist mit einer Gesamtgenauigkeit von 40 % unbrauchbar (Tab. 6-13). Die zweite Landsat/TM-Aufnahme vom 29.06.95 kann für eine Auswertung auf Landkreisebene nicht herangezogen werden, da sie den westlichen Teil des Landkreises nicht vollständig abdeckt. Die hohe Abweichung der Arealanteile ( $Diff_A$ ) resultiert vor allem aus der schlechten Trennbarkeit von Grünland- und Getreideflächen in dem frühen Stadium der phänologischen Entwicklung (03.05.), wobei die eine Klasse auf Kosten der anderen drastisch überschätzt wird.

Die ERS-Daten ergeben mit 6 Aufnahmen eine Gesamtgenauigkeit von 71 %, mit 9 Aufnahmen von 82 %. Mit diesem Wert ist bei einer Anzahl von 6 Klassen eine recht geringe mittlere Fehlerquote erreicht, die sich in sehr geringen Arealabweichungen äußert. Am deutlichsten wird die Zunahme der Klassifikationsgüte anhand des Rückgangs der Grünlandüberschätzung sichtbar. Diese Ergebnisse werden durch eine visuelle Interpretation der Klassifikationsergebnisse und die pixelbasierte Auswertung des Kontrollgebietes Weende-Nord bestätigt.

Die geringen Abweichungen der  $Diff_A$ -Werte von der amtlichen Statistik können deswegen als brauchbares Ergebnis der ERS-Datenanalyse beurteilt werden (vgl. SCHIECHE et al. 1997 sowie HURLEMANN 1997).

Die Bewertung der ERS-SAR-Daten von 1996 mittels der amtlichen Statistik ist nicht möglich, da für das Wirtschaftsjahr 1995/'96 keine Totalerhebung der landwirtschaftlichen Nutzung auf Kreisebene durchgeführt wurde. Diese findet nur alle vier Jahre statt. In An-

betrachtet der durchgeführten Klassifikationen und der Validierung der Ergebnisse liegt gerade hier ein mögliches Anwendungspotenzial der ERS-SAR-Daten, die zwar das amtliche Verfahren der Flächenerhebung nicht ersetzen, aber doch unterstützen können.

	Landsat/TM monotemporal			ERS-1 (6 Termine)			ERS-1 (9 Termine)		
	ha	%	Diff <sub>A</sub> [%]	ha	%	Diff <sub>A</sub> [%]	ha	%	Diff <sub>A</sub> [%]
LNF <sup>1</sup>	59024	100,0	+3,5	59024	100,0	+3,5	59024	100,0	+3,5
WW	15928	27,0	-3,6	17068	28,9	-1,7	17838	30,2	-0,4
WG +R	4490	7,6	-10,6	6930	11,7	-6,5	8390	14,2	-4,0
ZR	8015	13,6	+6,8	5786	9,8	+3,0	5764	9,8	+3,0
RA	3716	6,3	-3,7	5712	9,7	-0,3	5516	9,3	-0,7
GR	23242	39,4	+23,2	16750	28,4	+12,2	12871	21,8	+5,6
RB	1490	2,5	-8,7	5071	8,6	-2,6	6466	11,0	-0,2
nicht zugeordnet	2142	3,6	-3,6	1706	2,9	-2,9	2179	3,7	-3,7
		Diff <sub>A(Σ)</sub> [%]	60,2			29,2			17,6
		R <sub>G</sub> [%]	39,8			70,8			82,4

<sup>1</sup> Digitalisierung TK25

Tab. 9-34: Ergebnisse der Klassifikation des Landkreises Göttingen.

### 9.2.4.3 Ergebnisse und Diskussion der Klassifikationsansätze

#### Monotemporaler Ansatz:

Der monotemporale Ansatz zeigt, dass mit dem geringstmöglichen Dateneinsatz nur eine sehr beschränkte Differenzierung von Oberflächenmerkmalen erreicht werden kann, die außerdem sehr stark von temporären Faktoren beeinflusst wird. Durch eine Schwellenwertbildung kann eine Abgrenzung von maximal drei Klassen landwirtschaftlicher Nutzung erreicht werden.

#### Multitemporaler Ansatz:

Die Klassifikation aus Aufnahmeterminen während der Vegetationsperiode erzielt für die nach der Analyse des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  zu differenzierenden Fruchtarten (WW, WG/WR, ZR, RA, GR, RB) im Durchschnitt befriedigende Ergebnisse.

Abgesehen von der Reduktion der Klassenzahl durch Zusammenlegung und der dadurch bedingten Vernachlässigung der sehr gering vertretenen Nutzungsarten, ist die Erfassung der Ackerfrüchte und des Grünlandes weitgehend korrekt. Auch die Schläge mit Rotationsbrache sind in bemerkenswertem Umfang richtig erfaßt worden. Fehlerhafte Zuordnungen treten vor allem entlang der Schlaggrenzen und bei geringen Schlaggrößen auf und sind das Ergebnis von Mischpixeln. Die Flächengenauigkeit könnte durch schlagbezogene Segmentierung erhöht werden, die aber auf Landkreisebene aufgrund fehlender digitaler Karteninformationen nicht möglich ist und außerdem einen sehr hohen Arbeits- und Rechenaufwand erfordern würde.

Die Auswertung der Bildreihen zur Frühabschätzung landwirtschaftlicher Nutzung zeigt, dass eine Differenzierung der angestrebten fünf landwirtschaftlichen Hauptnutzungs-klassen (WW, WG/WR, ZR, RA, GR) grundsätzlich durch die alleinige Verwendung von Aufnahmen aus Winter und Frühjahr möglich ist.

Adäquate Gesamtklassifikationsgenauigkeiten werden nur für Zeitreihen erreicht, die einen Aufnahmetermin aus dem Mai beinhalten. Die Erkennbarkeit von Rapsflächen ist jedoch auch zu diesem Zeitpunkt für das Untersuchungsgebiet ungenügend, was in der geringen Anzahl der Referenzareale und der geringen Schlaggröße der Rapsschläge begründet ist.

Die Differenzierung der Wintergetreidearten (Weizen / Gerste / Roggen) ist ebenfalls nicht akzeptabel, da sich die Klassen im Merkmalsraum schneiden oder gänzlich überdecken. Der Versuch einer Aggregation in einer einzigen Landnutzungsklasse erhöht die Gesamtklassifikationsgenauigkeit um ca. 10 %.

Dieser Ansatz einer Klassifikation unter Berücksichtigung von nur 4 Klassen wird für den vorliegenden Datensatz favorisiert, da er drei Hauptnutzungsklassen (WW, ZR, GR) gut separiert, die einen Anteil von 90 % an der Gesamtfläche der Referenzareale aufweisen (vgl. Kap. 3, Tab. 3-1 und 3-2). Die Anzahl der abgrenzbaren Klassen der intensiven Nutzung ist jedoch für eine Anwendung im Bereich der agrarstatistischen Auswertung zu einem frühen Zeitpunkt der Wachstumsphase nur bedingt ausreichend.

#### Mehrjähriger Ansatz:

Die Übertragbarkeit der Temporalsignaturen für landwirtschaftliche Nutzung auf mehrere Anbauperioden ist beeinträchtigt durch temporäre Oberflächenfaktoren zu Beginn und zum Ende der Wachstumsperiode (Witterung, Bodenfeuchte, Bodenrauhigkeit) sowie durch die Verschiebung des Beobachtungszeitraums des jeweiligen Jahres, als Folge der niedrigen Wiederholungsrate des ERS-1-Satelliten.

Für die Beobachtungszeiträume 1995 und 1996 ergeben sich hierdurch Unterschiede in der Gesamtgenauigkeit der Klassifikation von rund 8 %. Die Trennung der Hauptnutzungen im Testgebiet Reinshof durch die Cluster-Analyse erzielt aber dennoch in beiden Zeiträumen mit über 80 % gute Ergebnisse. Die Erkennbarkeit extensiver Nutzung, vor allem von Rotationsbrache, ist dagegen für den untersuchten Zeitraum von April bis August nur unzureichend.

Innerhalb der Literatur sind ebenfalls folgende Ergebnisse zu Klassifikationen mittels Radardaten hinsichtlich der Abgrenzung landwirtschaftlicher Flächen beschrieben:

Im Vergleich von neun ERS-Aufnahmen zu vier SPOT-XS-Aufnahmen belegen KATTENBORN & KLAEDTKE (1997) in einem spanischen Testgebiet, dass mittels ISODATA-Clustering landwirtschaftliche Nutzpflanzen sinnvoll zu unterteilen sind. Damit könnten bei den Nutzungskontrollen der EU ERS-Radaraufnahmen die optischen Satellitenaufnahmen ergänzen oder sogar ersetzen.

GÜNZL et al. (1997) klassifizieren 12 ERS-SLC Szenen mittels eines „Fuzzy Logic“-Algorithmus. Dabei sind Kenntnisse über landwirtschaftliche Anbauregeln sowie über Einflüsse des lokalen Klimas und der Bodengesellschaften auf die Einsaat, das Pflanzenwachstum und den Erntezeitpunkt wichtig.

Ebenfalls mittels unüberwachter ISODATA-Klassifikation teilen KIDD & LEMOINE (1998 & 1997) den Nutzen von Radardaten für das MARS-Programm diverse Landwirtschaftsflächen erfolgreich ein. Besonders für sogenannte „schnelle Gebietsabschätzungen“ (rapid area estimates) ist der operationelle Einsatz der ERS-Radardaten von Vorteil. Die Ergebnisse: 139 von 205 Schlägen (74,3%) bzw. 156 von 205 Schlägen (78,4%) wurden während der Frühling- bzw. Sommeruntersuchung richtig klassifiziert, sofern Winterweizen und Sommergerste zu einer Klasse aggregiert werden. Die erzielten Resultate waren insgesamt besser als die Werte der Klassifikationen mit optischen SPOT-Daten.

Die Klassifikationen von REICH & GÜTH (1998) führen innerhalb des Projektes EMAP mit Datensätzen von 1996 bis 1998 unter der Verwendung von Maximum-Likelihood sowie Neural-Net-Klassifikationen zu außerordentlich guten Ergebnissen (richtig klassifiziert): Winterweizen (85,7%), Wintergerste (97,7%), Sommergerste (89,4%), Raps (97,8%), Mais (91,7%) und Grünland (95,5%). Einschränkend ist allerdings festzuhalten, dass nur Schläge mit einer Breite von mehr als 80 m klassifiziert werden. Außerdem sind sämtliche 499 Schläge vorab an der Signaturgenerierung für die Klassifikationen beteiligt.

KLENKE et al. (1999) gelingt nach Isolierung des Reliefeffektes auf die ERS-PRI-Daten mittels Hauptkomponententransformationen überwachte Maximum-Likelihood-Klassifikationen für die Klassen „Ackerland“ und „Grünland“ nach erfolgter GIS-Bearbeitungen von 79,8% bzw. 82,5% Genauigkeit. Mittels ISODATA-Klassifikation der ERS-1/-2 SLC-Datenpaare werden ebenfalls die Waldgebiete zuverlässig abgegrenzt. Eine Trennung weiterer Nutzungen aus den Kohärenzinformationen hingegen gelingt nicht.

Aktuellere Untersuchungen zur Klassifikation und Modellierung von Radardaten beschäftigen sich schwerpunktmäßig mit polarimetrischen und interferometrischen Radardaten (u. a. HELLMANN et al. 1998, HUBER 1998, ULBRICHT 1998, BÖRNER 1998). HEROLD et al. (2000) erzielen unter Verwendung von multifrequenten, multipolarimetrischen Radardaten (L, C, X-Band) mit Hilfe des Levelansatzes (vgl. DOBSON 1995) und L-band basierten Hauptkomponenten eine Genauigkeit von 88,3% für sieben Klassen (Siedlung, Nadelwald, Laubwald, Feldfrüchte, frisch gemähte Wiese, nicht gemähte Wiese, Weide).

## **10 Diskussion der Ergebnisse aus der Aufbereitung und Auswertung des Satellitenbildmaterials**

Die bearbeiteten ERS-GTC-Daten umfassen den Zeitraum zwischen April 1995 und August 1996. Dieser Zeitraum deckt die Hauptwachstumsperiode der regional dominierenden landwirtschaftlichen Nutzung für zwei aufeinanderfolgende Jahre ab. Zusätzlich wird der Zeitraum der Ruhephase und Bodenvorbereitung zwischen den Vegetationsperioden erfaßt. Die Aufbereitung des Bildmaterials bestand zunächst in der Anwendung bekannter Methoden der Postprozessierung (geometrische Entzerrung, radiometrische Bildverbesserungsmaßnahmen), soweit dies für die bereits Geoid-entzerrten Daten notwendig war. Darüber hinaus sollte ein operationell anwendbares Verfahren, auf der Basis verfügbarer Algorithmen und Programme zur Bildaufbereitung entwickelt werden (Kap. 5).

Die Auswertung des Datenmaterials diente der Extraktion von Informationen zur Ableitung von Oberflächenzustandsformen landwirtschaftlicher Flächen. Die zentrale Problematik liegt hierbei in der Bewertung des Potenzials von C-Band-Radardaten bezüglich der Differenzierung und Quantifizierung extensiver und intensiver Landnutzung. Hierzu erfolgte eine detaillierte Analyse des Radarrückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  in Zusammenhang mit den für verschiedene Testflächen durchgeführten Felderhebungen (vgl. Kap. 7 und Kap. 9.1) durch zwei unterschiedliche Ansätze: Zum einen wurden Korrelationsanalysen zur Herleitung von Zusammenhängen zwischen dem Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  und quantitativen Boden- und Pflanzenparametern durchgeführt (Kap. 7), zum anderen erfolgte eine Analyse des zeitlichen Ganges des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  (temporale Signaturanalyse), um anhand charakteristischer Verläufe extensive und intensive Landnutzung zu erkennen (Kap. 9.1).

Auf der Grundlage des gewonnenen Wissens über die Interaktionen verschiedener landwirtschaftlich genutzter Flächen mit den Mikrowellen des SAR-Sensors wurden digitale Landnutzungskartierungen bzw. -klassifizierungen aus ERS-SAR-Daten für den Landkreis Göttingen erstellt (vgl. Kap. 9.2).

### **10.1 Bewertung des Informationsgehaltes der ERS-SAR-Daten für die Abgrenzung extensiver und intensiver landwirtschaftlicher Nutzung**

Die quantitative Analyse des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  in Abhängigkeit von Flächen landwirtschaftlicher Nutzung führte zu folgenden Ergebnissen: Die dominierenden Variablen, welche die Radarrückstreuung von landwirtschaftlichen Pflanzenbeständen beeinflussen, sind Pflanzenparameter, die durch die Dielektrizitätskonstante beschrieben werden (z. B. Biomasse, Pflanzenwassergehalt). In einigen Fällen kann die geometrische Struktur ebenfalls zur Beschreibung von Rückstreuungsphänomenen dienen (z. B. vertikal oder planar ausgerichtete Pflanzenbestandteile). Die Bodenfeuchte hat offensichtlich ab einer gewissen Menge an pflanzlicher Biomasse auf dem Schlag keinen signifikanten Einfluß auf die Erfassung landwirtschaftlicher Kulturen aus C-Band-Radardaten zu haben (vgl. Kap. 6.1.3).

Die Analyse der temporalen Signaturen des Radarrückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  führte zur Abgrenzung von sechs Hauptnutzungsklassen landwirtschaftlicher Nutzung im Landkreis Göttingen, vier Klassen intensiver Nutzung (Winterweizen, Wintergerste /-roggen, Zuckerrübe, Raps) und zwei Klassen extensiver Nutzung (Grünland, Rotationsbrache).

Die Erkennbarkeit der unterschiedlichen Nutzungen richtet sich hierbei vor allem nach dem Betrachtungszeitraum und dem Grad der Bodenbedeckung. Die Auswertung der Radarbilder wird jedoch zum Teil in erheblichem Maße durch temporäre Faktoren zum Zeitpunkt des Überfluges des ERS-Satelliten erschwert (vgl. Kap. 6.1). Entsprechend der Ziele des Projektes konzentrierten sich die Untersuchungen auf zwei Zeitrahmen der Vegetationsperiode Winter und Frühjahr.

Die temporalen Signaturen der Intensivanbaufrüchte zeigen für den Zeitraum der Vegetationsperiode jeweils einen unterschiedlichen Verlauf, der eine relativ deutliche Abgrenzung erlaubt. Während das Maximum der Rückstreuung von Rapsflächen zum Zeitpunkt der Vollreife gemessen wird, erreichen die Werte für Zuckerrübenschläge zu Beginn der Wachstumsperiode ein Maximum. Getreideflächen hingegen reflektieren während der Wachstumsphase einen geringeren Anteil der elektromagnetischen Strahlung im Mikrowellenbereich. Winterweizen erreicht im Reifestadium maximale Werte, Wintergerste mit dem Abknicken der Ähren zu Reifebeginn (vgl. Kap. 9.1.2.3).

Die Erfassung extensiver Nutzung führte nur in Teilbereichen zu zufriedenstellenden Ergebnissen. Generell können zwei Klassen extensiver Landnutzung unterschieden werden, Grünland („permanent bedeckt“) und Rotationsbrachen bzw. einjährige Stilllegungen („zeitweise bedeckt“). Grünlandflächen können aufgrund der geringen temporalen Amplitude und der insgesamt niedrigen Werte der Rückstreuung über den gesamten Betrachtungszeitraum sehr gut gegen andere Formen der extensiven Landnutzung abgegrenzt werden, wobei allerdings eine Unterscheidung von Grünland unterschiedlicher Nutzung (Wiese, Weide, Dauerbrache) mittels ERS-SAR-Daten nicht möglich ist. Die Differenzierung von einjährigen Stilllegungen, sogenannten Rotationsbrachen, erwies sich besonders gegenüber dem Sommergetreide als problematisch. Dies ist durch die zeitlich nahezu parallelen Aufwuchstermine, die hohe Diversität und den nur in seltenen Fällen einheitlichen Bearbeitungszustand der stillgelegten Flächen bedingt. Die geringe Repetitionsrate des ERS erschwert außerdem eine sichere Abgrenzung. Immerhin sind durch die erhöhten Rückstreuwerte bei einjährigen Stilllegungen auf Grund fehlenden Aufwuchses im Frühjahr und im Herbst sowie permanenter Häckselung im Unterschied zu den begrüneten Schlägen mittels ERS-Daten innerhalb des Zeitraumes Juni/Juli Überwachungen der Begrünungsverpflichtungen durchführbar (vgl. Kap. 9.1.5).

Die Untersuchungen zur Erkennung landwirtschaftlicher Nutzung zu Beginn der phänologischen Entwicklung (Sommerungen) bzw. in der Stillstandsphase (Winterungen) ergaben bei der Unterscheidung der Hauptanbaufrüchte zufriedenstellende Resultate. Intensive Landnutzung kann mit Hilfe einer temporalen Serie von C-Band-Radardaten bereits vor Beginn der Vegetationsperiode anhand von Änderungen des Bodenzustandes und der Bodenbedeckung erfaßt werden. Der Rückstreukoeffizient  $\sigma^0$  von Grünlandflächen ist während dieses Zeitraumes nur geringen Schwankungen unterworfen und deutlich niedriger als für intensive Nutzung, was eine gute Abgrenzung ermöglicht. Die Erfassung von Rotationsbrachen bzw. einjährigen Stilllegungen ist jedoch nicht möglich, da sich die Bearbeitungsmaßnahmen in der Regel nicht von denen intensiver Nutzung (v.a. Sommerungen) unterscheiden (vgl. Kap. 9.1.2.5 & 9.1.2.7). Für die Auswertung von Radardaten hinsichtlich landwirtschaftlicher Fragestellungen ist insbesondere für die Abgrenzung von extensiver Nutzung die Verwendung von Aufnahmen vor und während der Vegetationsphase unverzichtbar.

Als optimaler Zeitrahmen für eine Untersuchung extensiver und intensiver Landnutzung mittels ERS-SAR-Daten in einem mitteleuropäischen Gebiet erwies sich eine Folge von Radarbildern von Anfang April bis Ende Oktober.

Dieses Ergebnis konnte durch digitale Klassifizierungen der multitemporalen Radardaten bekräftigt werden.

Hierzu wurde ein Klassifikationsablauf entwickelt (vgl. Abb. 9-17), der zunächst auf der Basis der verfügbaren Satelliten- und Zusatzdaten alle nicht agrarisch-genutzten Flächen von einer weiteren Betrachtung ausschließt (Kap. 9.2.2.2). Anschließend erfolgte die Auswertung der Radardaten bezüglich der Fragestellung mit Hilfe verschiedener Klassifikationsansätze. Die multitemporale Klassifikation des aus der temporalen Signaturanalyse hervorgegangenen besten Datensatzes (April bis Oktober) erzielte die höchste Gesamtgenauigkeit ( $R_G$ ) und entsprechend die geringsten Arealabweichungen ( $Diff_A$ ) (siehe Tab. 9-7). Zufriedenstellende Ergebnisse für die Frühabschätzung landwirtschaftlicher Nutzung konnten anhand der Daten für eine Zeitreihe von Oktober bis Mai erreicht werden (vgl. Tab. 9-8).

Das Ergebnis des Klassifikationsablaufs ist eine digitale Karte der Landnutzung für den Landkreis Göttingen (Abb. 9-25), die unter Berücksichtigung von Kontrollgebieten und der amtlichen Statistik verifiziert werden konnte.

Die Analyse der Temporalsignaturen von monofrequenten Radarsatellitendaten hat sich als ein wesentliches Mittel zur Ableitung des Bodenzustandes und der Bodenbedeckung von extensiv und intensiv genutzten landwirtschaftlichen Flächen erwiesen.

Der absolute Wert und die Schwankungsamplitude [in dB] des Rückstreukoeffizienten  $\sigma^0$  für einen bestimmten Betrachtungszeitraum sind hierbei die entscheidenden Kriterien für die Zuordnung zu einer Landnutzungsklasse.

Auf der Grundlage der Temporalsignaturen und der Felderhebungen für ein Testgebiet wird durch ein Klassifikationsverfahren, das einen Algorithmus der unüberwachten Klassifikation mit einem der überwachten Klassifikation kombiniert, eine digitale Karte der Landnutzung für einen Landkreis erstellt.

Die Güte der Klassifikation ergibt sich durch die Auswertung der Konfusionsmatrix ( $R_{CM}$ ) und der Arealabweichungen ( $Diff_A$ ) von Feldaufnahmen zu klassifizierter Fläche pro Nutzung. Dieses Kontrollverfahren ermöglicht, neben der rein quantitativen Bewertung einer Klassifikation, die Interpretation des Ergebnisses im Hinblick auf Über- bzw. Unterschätzungen bestimmter Klassen.

Die Klassifikation und die bereits im Vorfeld getätigten Arbeitsschritte bedienen sich neben der jeweiligen Zeitreihe von Radarbildern des ERS-1 Satelliten, verschiedener Ratio-Produkte aus dem vorhandenen Datensatz und des mit dem ERS-GTC-Produkt gelieferten Beleuchtungsmodells (GIM). Diese ermöglichten, zusätzlich zur Auswertung der landwirtschaftlichen Nutzung, eine Zuordnung des gesamten Bildinhaltes zu weiteren Hauptoberflächentypen (Wald, Wasser, Siedlung), ohne bzw. mit nur geringer Kenntnis über deren Vorkommen. Mit dem Verfahren der unüberwachten Klassifikation (ISODATA) wurde für die Trennung von nicht-landwirtschaftlich genutzten Flächen und Agrarflächen eine Genauigkeit von rund 94 % erreicht, bezogen auf die Flächenerhebung des Statistischen Landesamtes.

Die Radarrückstreuwerte des ERS-SAR-Sensors geben in erster Linie die Struktur und den Wassergehalt der Vegetationsdecke wieder. Unterschiedliche Pflanzenbestände unterscheiden sich sowohl in ihrer Struktur als auch in ihrem Wachstumsverlauf. Dies ist die Grundlage für die Unterscheidbarkeit der landwirtschaftlichen Fruchtarten in multitemporalen ERS-Aufnahmen.

Durch die systembedingten Interferenzen der Radaraufnahmen ist die Datenaufbereitung für die Auswertung dieser Bilder wesentlich komplexer und aufwendiger als die von optischen Fernerkundungsaufnahmen. Dennoch besteht durch die regelmäßige Abbildung der Pflanzenbestände mit ERS die Möglichkeit, den zeitlichen Verlauf des Wachstums als Information zu nutzen und auf der Grundlage dieser charakteristischen Signaturen eine

Klassifizierung der Nutzungsarten durchzuführen. Eine Klassifikation der Hauptnutzungsarten Wintergerste, Winterweizen, Raps, Zuckerrüben, Stilllegungen und Grünland ist möglich. Hierzu wurde ein Klassifikationsverfahren entwickelt, welches auf einer regionalen Ebene zuverlässige Ergebnisse liefert. Die Genauigkeiten der Klassifikationen liegen in einem Bereich, der im Hinblick auf die operationelle Nutzung ausgesprochen hilfreich sein dürfte, weil hinsichtlich der ungünstigen Witterungsbedingungen in Mitteleuropa die Akquisition eines wolkenfreien multitemporalen Fernerkundungsdatensatzes optischer Sensoren innerhalb eines Jahres bzw. einer Vegetationsperiode nicht gewährleistet ist.

Auch die flächenmäßige Kartierung und Erfassung der Zustandsänderungen von Stilllegungen und Grünland ist durchführbar. Das charakteristische Merkmal von Dauergrünland ist ein geringer Amplitudenwert, von Stilllegungen ein sehr hoher Amplitudenwert über den gesamten Betrachtungszeitraum. Dies ermöglicht eine sehr gute Erfassung und Abgrenzung zu anderen Flächen durch multitemporale ERS-Daten.

Eine Abschätzung der wichtigsten Pflanzen- und Bodenparameter mit Hilfe von C-Band-SAR-Daten ist, unter Einbeziehung unterstützender Felderhebungen möglich. Die Ertrags-schätzung, also die Biomassebestimmung einzelner landwirtschaftlicher Bestände, ist mit den innerhalb dieser Arbeit verwendeten ERS-1 Datensätzen aber nicht erfolgreich durchführbar. Die Ursache für diese Einschränkung im Bereich landwirtschaftlicher Anwendungen ist in den beschränkten Sensorparametern (monofrequent, nicht-polarimetrisch) der ERS-SAR-Antenne zu suchen. Das Potenzial multifrequenter, multipolarimetrischer Radardaten zur Quantifizierung der Beziehungen zwischen Radarrückstreuwerten und Bodenoberflächen bzw. Vegetationsbeständen ist unumstritten und auch für Radarsensoren im Weltraum seit der SIR-C/X-SAR-Mission (1994) in der Literatur zahlreich belegt (siehe z. B. SCHMULLIUS & EVANS 1997, EVANS et al 1997, FERRAZZOLI et al. 1997; FOODY et al. 1997; HARRELL et al. 1997). Die innerhalb der vorliegenden Arbeit gewonnenen Erfahrungen liefern dazu methodische Beiträge.

# 11 Zusammenfassung und Ausblick

## 11.1 Zusammenfassung

Die vorliegende Untersuchung beschäftigte sich mit den Möglichkeiten der Differenzierung und Erfassung landwirtschaftlicher Nutzung mit Mitteln der satellitengestützten Radarfernerkundung für eine Region im südlichen Niedersachsen (Landkreis Göttingen). Die Arbeiten zielten auf eine Integration von Radarsatellitendaten in das agrarstatistische System ab und im speziellen auf die Nutzbarkeit der Daten im Rahmen der agrarpolitischen Maßnahmen der EU (MARS-CAP) zur Kontrolle der Anträge auf Ausgleichszahlungen in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion.

Ziele der Untersuchungen waren die Entwicklung eines Verfahrens zur digitalen Vorverarbeitung von Radardaten und die Analyse der Zusammenhänge zwischen den Radarrückstreuwerten und permanenten, saisonalen und temporären Pflanzen-, Boden und Klimaparametern zur Differenzierung landwirtschaftlicher Nutzung, insbesondere von Formen extensiver Nutzung sowie zur Extrahierung quantitativer Pflanzenparameter.

Zu dem letztgenannten Aspekt erfolgten multiple Korrelationsanalysen zwischen Feld- und Bilddaten auf der Grundlage der Felderhebungen in dem zentralen Testgebiet (Reinshof). Die dominierenden Variablen, welche den Rückstreuoeffizienten von C-Band-Radardaten beeinflussen sind Pflanzenparameter, die direkt über die Dielektrizitätskonstante und die Bestandesstruktur beschrieben werden können. Die Ergebnisse zeigen höchste Korrelationen für Biomasse und Pflanzenwassergehalt für intensive Landnutzung und gute Korrelationen für Pflanzenwassergehalt bei extensiver Landnutzung. Vergleichbare Ergebnisse wurden z. B. von HAMACHER (2000) für Zuckerrüben und Wintergetreide sowie von RIEGLER et al. (1998) und STOLZ & MAUSER (1997) für Grünlandflächen erzielt. In einigen Fällen erklärt auch die geometrische Struktur von Pflanze und Boden das Rückstreuverhalten der Mikrowellen. Der Bodenwassergehalt hingegen scheint offensichtlich den Rückstreuoeffizienten ab einer gewissen Menge an pflanzlicher Biomasse und einem bestimmten Bodenbedeckungsgrad nicht mehr signifikant zu beeinflussen.

Die Signaturanalyse des multitemporalen Datensatzes von April 1995 bis August 1996 führte zu der Ableitung von Reflexionssignaturen für sechs Hauptklassen landwirtschaftlicher Nutzung im Landkreis Göttingen, vier Klassen intensiver ("Winterweizen", "Wintergerste/-roggen", "Zuckerrübe", "Winterraps") und zwei Klassen extensiver Nutzung ("Grünland" bzw. "permanent bedeckt", "Rotationsbrache" bzw. "temporär bedeckt"), deren weitere Differenzierung in Abhängigkeit vom Grad der Bodenbedeckung und dem Aufnahmezeitpunkt erfolgen kann (z. B. Grünland = "Wiese", "Wiese gemäht", "Dauerbrache").

Als optimaler Zeitrahmen für eine Untersuchung extensiver und intensiver Landnutzung mittels ERS-SAR-Daten in einem mitteleuropäischen Gebiet erwies sich eine Folge von Radarbildern von Anfang April bis Ende Oktober. Die Ableitung von Formen extensiver Nutzung bereits zu einem frühen Zeitpunkt der Wachstumsphase beschränkt sich lediglich auf die beiden Hauptklassen.

Die Ergebnisse der Signaturanalyse konnten durch eine digitale Klassifizierung der multitemporalen Radardaten bekräftigt werden.

Hierzu wurde ein Klassifikationsablauf entwickelt, der zunächst auf der Basis der verfügbaren Satelliten- und Zusatzdaten alle nicht agrarisch-genutzten Flächen von einer weiteren Betrachtung ausschließt. Anschließend erfolgte die Auswertung der Radardaten. Die multitemporale Klassifikation des aus der temporalen Signaturanalyse hervorgegangenen besten Datensatzes (April bis Oktober) erzielte die höchste Gesamtgenauigkeit ( $R_G$ ) und entsprechend die geringsten Arealabweichungen ( $Diff_A$ ). Zufriedenstellende Ergebnisse für die Frühabschätzung der Hauptnutzungsklassen konnten für eine Zeitreihe von Oktober bis Mai erreicht werden. Das Ergebnis des Klassifikationsablaufs ist eine digitale Karte der Landnutzung für den Landkreis Göttingen, die unter Berücksichtigung von Kontrollgebieten und der amtlichen Statistik verifiziert werden konnte.

Abschließend kann festgehalten werden, dass eine temporale Signaturanalyse von Radarrückstreukoeffizienten ein nützliches Mittel zur Identifizierung von extensiver und intensiver Landnutzung und zur Differenzierung verschiedener Formen der extensiven Nutzung ist. Auf der Grundlage des zeitlichen Verlaufs der Signaturen kann eine zufriedenstellende Klassifizierung der Landnutzung durchgeführt werden. Der Zeitrahmen für eine solche Auswertung sollte die gesamte Vegetationsperiode umfassen. In den meisten Fällen sind Daten aus dem Frühjahr / Winter nützlich, um ergänzende Informationen über die Landnutzungsart zu erhalten.

Die Abschätzung der wichtigsten Pflanzen- und Bodenparameter mit Hilfe von C-Band-SAR-Daten ist, auf der Grundlage fundierter Felderhebungen, möglich. Die Ertragsschätzung, also die Biomassebestimmung einzelner landwirtschaftlicher Bestände, ist mit ERS-1 Daten nur mit starken Einschränkungen durchführbar. Die Ursache für diese Einschränkung im Bereich landwirtschaftlicher Anwendung ist in den limitierten Sensorparametern (monofrequent, nicht-polarimetrisch) der ERS-SAR-Antenne zu suchen. Das Potenzial multifrequenter, multipolarimetrischer Radardaten (z. B. SIR-C/X-SAR- & SRTM-Mission, E-SAR-Befliegungen) zur Quantifizierung der Beziehungen zwischen Radarrückstreuwerten und Boden- und Pflanzenzuständen ist unumstritten.

## **11.2 Ausblick**

Die Fernerkundung wird sich im optischen und im Mikrowellenbereich seitens der Satelliten, der Sensoren<sup>28</sup> und des Services weiter entwickeln müssen, um zukünftig vermehrt kundengerechte Daten<sup>29</sup> und Ergebnisse liefern zu können. Nur so sind die zum Teil erheblichen Kosten vertretbar. Laut KÜHBAUCH (2001) wird derzeit die Satellitenfernerkundung in der Landwirtschaft zur:

- Fruchtartenklassifikation,
- Erfassung der Vitalität der Pflanzen,
- Ertragsschätzung (abhängig von kritischen Wachstumsphasen ausgewählter Pflanzen) und
- Flächenkontrolle (InVeKos)

recht erfolgreich eingesetzt. Der Landwirt sowie die Agrarindustrie sind jedoch bis auf wenige Ausnahmen nach wie vor von der praktischen Nutzung der Satellitenfernerkundung ausgeschlossen (u. a. SCHIECHE et al 2001, SCHIECHE 2000, EWERS & SCHIECHE 2000). Dabei könnte die Fernerkundung speziell in den zukunftssträchtigen Marktsegmenten des

---

<sup>28</sup> Vgl. dazu die Schwierigkeiten von Erasmi (2002) bei spektralen Untersuchungen von Winterweizen.

<sup>29</sup> Vgl. dazu die Probleme von Etzrodt (2002) Radardaten eines sibirischen Testgebietes zu akquirieren.

Präzisionspflanzenbaus in Form von taktischen Feldinspektionen sowie der Agrarlogistik mittels aktueller Übersichten einen wichtigen Beitrag liefern, denn das eigentliche Potenzial der Fernerkundung liegt in der fortlaufenden Beobachtung. Folgende praktische Vorteile sind durch den Einsatz der Fernerkundung für den Präzisionspflanzenbau absehbar (KÜHBAUCH 2002; JÜRGENS 2000):

- Auffinden von Teilflächen mit abnormem Erscheinungsbild - Ursachenermittlung in frühen Entwicklungsstadien vor Ort,
- bessere Unterteilung der Flächen in einheitliche Bewirtschaftungszonen - bisher mit Bodenkarten und Bodenuntersuchungen,
- fortlaufende Kartierung der Ausbreitung von Krankheiten und Schädlingen - strategische Verbesserung und Optimierung der Kontrollmaßnahmen,
- fortlaufende bzw. stadienbezogene Kartierung des Stickstoffbedarfs der Pflanzen - strategische Verbesserung und Optimierung der Düngung und
- laufende Erfolgskontrolle aller Maßnahmen auf den Schlägen.

Trotz vielversprechender Ansätze ist letztlich festzuhalten, dass für operationelle land- und forstwirtschaftliche Anwendungen die bisherigen Fernerkundungssysteme auf Grund ihrer überwiegend wissenschaftlichen Prägung durch:

- unzureichend geometrische und radiometrische Auflösung,
- geringe Wiederholrate der Überflüge,
- sowie einem mangelhaften Kundenservice

ungeeignet sind. Selbst mit den jüngst gestarteten hochauflösenden Satellitensystemen wie IKONOS oder Quickbird (Tab. 11-1) wird keine breite Anwendung in der landwirtschaftlichen Praxis gelingen, wenn diese Daten nicht kontinuierlich in gebrauchsfähiger Form angeboten werden (KÜHBAUCH 2001). Dies bedeutet für die Landwirtschaft spezifische Informationen:

- zum NDVI (Vegetationsindex) oder zur Biomasse,
- zum Stickstoffbedarf in kg/ha,
- in bestimmten Schadschwellen, um Maßnahmen direkt ableiten zu können und
- in Form von GPS-Koordinaten.

Kommerzielle und wissenschaftliche Erdbeobachtungssatellitensysteme (Bodenauflösung < 500 m)								
Aktuelle und geplante Systeme								
Satellit Instrument/ Sensor	Geometrische Auflösung		Spektrale Auflösung	Stereo- fähigkeit	Wieder- holungs- zyklus	Abdeckung	Betreiber	Einsatz bzw. - planung
	pan	ms						
<b>ADEOS</b> AVNIR OCTS	6 m	16 m 700m	4 12	Ja	41 Tage	80 km 1400 km	NASDA	1996 - 97
<b>ADEOS II</b> AMSR GLI POLDER ILAS II Seawinds	5km – 250m-	60km 1km 6km 50km	6.9-89GHz VN+SWIR VNIR IR + NV	o. A.	4 Tage  2 Tage	1.600 km 1.600 km 1.600 km	NASDA	2002 - 2005
<b>ALOS</b> PRISM AVNIR-2 PALSAR	2,5m  10-	10m 100m	PAN MS L-Band	Ja	46 Tage	70 km 70 km 70-350 km	NASDA	2004 - 2009
<b>ENVISAT</b> ASAR AATRS MERIS	30 m	Pol. 1 km 0,3 – 1,2 km	C-VV/HH 7 15	Interfero- metrie	35 Tage	100 km  500 km	ESA	2002 - 2007
<b>IKONOS</b>	1 m	4 m	4	Ja	< 3 Tage	11 km	Space Imaging	2000 -
<b>IRS-1D</b>	5,5 m	23 m 70 m 188 m	1 3 1 2	ausrichtbar  ausrichtbar	24 Tage	70 km 142 km 148 km 774 km	ISRO, Indien	1999 - 2003
<b>LANDSAT-7</b> Pan TM	15 m	30 m	1 7		16 Tage	185 km	NOAA USA	1999 -
<b>QuickBird</b>	0,7 m	3 m	4	Ja	3,5 Tage	16,5 km	Earth Watch	2001 -
<b>RADARSAT</b>	10m – 100m		C-HH	Interfero- metrie	> 3 Tage	je nach Modus	CSA, Kanada	1995 -
<b>RapidEye</b>		6 m	6	Ja	Täglich	159 km	RapidEye	2005/06
<b>Ressource 21</b>		- 10 m	ähnl. TM	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Boing	Nicht bekannt
<b>SICH 2</b> SAR	10 – 50m		C-Band			40 km	NSAU, Ukraine	2000 -
<b>SPOT 5</b> HRS	2,5 m	5 m	1 4	Ja	26 Tage 4 Tage stereo	60 km	CNES, Frankreich	2002 -
<b>SRTM- X-SAR</b>	< 5 m	Pol.	X-Band	Interfero- metrie		50 km	NASA / DLR	2000
<b>TerraSAR-X</b>	1,5 m	Pol.	X-Band	Interfero- metrie	o.A.	o.A.	Astrium	2005
<b>XSTAR</b>		- 10 m	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Nicht bekannt	MATRA	Nicht bekannt

Tab. 11-1: Übersicht über wichtige aktuelle und zukünftige Weltraum-Sensoren (aus KUNTZ 2001; aktualisiert und ergänzt).

Mit der zunehmenden Kommerzialisierung werden in den nächsten Jahren neue Satellitensysteme auf den Markt kommen, die diese Probleme lösen sollen (SCHELLING 2000). Es ist zu erwarten, dass in absehbarer Zeit die Satellitenfernerkundung aktuelle, teilflächenscharfe Informationen über die Vegetationsentwicklung für Behörden und Landwirte zur Verfügung stellen wird (KUNTZ 2001). Dabei nehmen leistungsstarke Geo-Informationssysteme für die Datenhaltung, kundengerechte Verarbeitung mittels neuer Klassifikationsalgorithmen und Filter (HAWLITSCHKA 2001, MÜLLER 2001; BENZ et al. 2001; HABERMEYER & SCHMULLIUS 1997) sowie das Internet für die termingerechte Versendung der Rohdaten und den daraus abgeleiteten Informationen laut KÜHBAUCH (2002) eine Schlüsselstellung ein.

Neben den verbesserungsbedürftigen Radarsensoren sind derzeit auch die Ergebnisse hinsichtlich der Bestimmung entscheidender Pflanzen- und Bodenparameter für exakte Biomasse- und Feuchtigkeitsabschätzungen noch nicht zufriedenstellend. Dies zeigt sich u. a. durch die aktuellen Ausschreibungen seitens der ESA<sup>30</sup>, in denen Auftragnehmer gesucht werden, die neben der Entwicklung neuer SAR-Inversionsalgorithmen und der Analyse polarimetrisch-interferometrischer SAR-Daten für das zukünftige Satellitensystem TerraSAR vorab flugzeuggestützt im X- und L-Band Landwirtschaftsflächen untersuchen. Besonderes Augenmerk soll auf die simultane in situ Erfassung bei den sensitiven Parametern (z. B. Tau, Blattwassergehalt und –geometrie etc.) gelegt werden, um speziell deren Signifikanz auf das Radarsignal besser ableiten zu können. Im Anschluß sollen daraus präzise Produkte hinsichtlich der Biomasse und des Wassergehaltes generiert werden.

Dass die Radarfernerkundung ein hervorragendes Mittel ist, um aktuell, präzise, großflächig und termingerecht die Erdoberfläche zu erfassen, hat die 10-tägige SRTM-Mission (Februar 2000) erfolgreich beweisen können (u. a. SCHIECHE & BUSCHE 2002). Die hierbei erstellten digitalen Höhenmodelle (DHM) mittels interferometrischer Messungen liegen innerhalb der geforderten Genauigkeiten, um einen sinnvollen, globalen Datensatz zu generieren. In dieser Genauigkeit und Gebietsabdeckung ist dies ein Novum.

Die Zukunft speziell der satellitengestützten Radarfernerkundung für eine präzise Erfassung und Bewertung von Landoberflächen gehört – wie bereits Space-Shuttle Missionen<sup>31</sup> und aktuelle flugzeuggestützte Radarkampagnen<sup>32</sup> zeigten – multifrequenten, multipolarimetrischen Radarsensoren und der Interferometrie (HAJNSEK 2001, THIEL et al. 2001; PATHE et al. 2001; LU & MEYER 2001, HEROLD et al. 2000, DAVIDSON et al. 1996). Damit sind allein mittels eines Aufnahmeterrains qualitativ hochwertige Aussagen im Hinblick auf die Nutzung und die Biomasse von Landwirtschaftsflächen erzielbar. Der im März 2002 gestartete Radarsatellit ENVISAT ist mit seinem Sensor ASAR (ESA 1997) hinsichtlich der monofrequenten Antennenkonfiguration – allerdings multipolarisiert - sicherlich die letzte Radarplattform solch eingeschränkten Zuschnitts.

Seitens der Satelliten- und Sensorentwickler ist von deutscher Seite das zukünftige Satellitensystem TerraSAR-X vertraglich unterzeichnet worden (DLR 2002). TerraSAR-X wird ein hochauflösender operationeller Radarsatellit der neuen Generation sein, der polarimetrisch im X-Band (9,65 GHz) ab Mitte 2005 einsatzbereit sein soll. Damit wird sich sich TerraSAR-X<sup>33</sup> kommerziell gesehen in Konkurrenz mit den derzeit schon operationellen optischen Systemen Quickbird und Ikonos der U.S. Amerikaner sowie dem für 2005/06 geplanten deutschen Satellitensystem RapidEye befinden.

---

<sup>30</sup> ESA ITT AO4153 vom 19.07.2002: Development of SAR inversion algorithms for land applications & ESA ITT AO4195 vom 13.08.2002: Analysis of polarimetric interferometric SAR data.

<sup>31</sup> SIR-C/X-SAR: April & August 1994; SRTM: Februar 2000.

<sup>32</sup> ProSmart I & ProSmart II; in: DORNIER (1999) sowie INFO TERRA (2002).

<sup>33</sup> Derzeit bei Astrium und ESA im Gespräch: TerraSAR-L (Radarsatellit mit L-Bandantenne).

## 12 Quellenverzeichnis

### 12.1 Literatur

- ALLEN, W. A. & ULABY, F. T. (1984): Modelling the polarisation dependence of the attenuation in vegetation - -In: Proc. IGARSS, ESA-SP 215, p. 119-124.
- BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W. & WEIBER, R. (1996): Multivariate Analysemethoden – In: Eine anwendungsorientierte Einführung, 8. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- BAHRENBURG, G, E. GIESE & NIPPER, J. (1992): Statistische Methoden in der Geographie. Band 2. Stuttgart.
- BAYER, T. (1995): Untersuchung des Informationsgehaltes und rechnergestützte Klassifikation multifrequenter und multipolarisierter DC-8-SAR-Daten des Untersuchungsgebietes Gilching / Oberpfaffenhofen. - In: DLR-Forschungsbericht-95-14: 228 S. ., Köln.
- BEAUDOIN, A. & LE TOAN, T. (1990): SAR observations and modeling of the C-band Backscatter variability due to multiscale geometry and soil moisture. - In: IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing **28**, 5: 886-895.
- BENALLEGUE, M., O. TACONET, D. VIDAL-MADJAR & NORMAND, M. (1995): The Use of Radar Backscattering Signals for Measuring Soil Moisture and Surface Roughness. - In: Remote Sens. Environ. **53**: 61-68.
- BENZ, U. & SCHREIER, G. (2001): OSCAR – object oriented segmentation and classification of advanced radar allows automated information extraction – In: Proceedings of IGARSS, Juli 2001, Sydney.
- BIRD, P.J., CORDEY, R.A., DIAMENT, A. & GORMAN, M.R. (1993): ERS-1 SAR crop monitoring experiment, East Anglia, UK, Proceedings of the First ERS-1 Symposium, 4-6 November 1992, ESA SP-359, 623-624, Cannes, France.
- BLYTH, K., BIGGIN, D. S. & RAGAB, R. (1993): ERS-1 SAR for monitoring soil moisture and river flooding - Proceedings of the Second ERS-1 Symposium, 11-14 October 1993, ESA SP-361, 839-844, Hamburg, Germany.
- BOCK, S. (1995): Ein Ansatz zur polygonbasierten Klassifikation von Luft- und Satellitenbildern mittels künstlicher neuronaler Netze. - In: Kieler Geographische Schriften **91**: 152 S., Kiel.
- BÖRNER T. (1998): Coherent Modeling of Vegetaion für Polarimetric SAR Interferometry Applications - In: ESA SP 441 Proc. Sec. Int. Workshop on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR for Landapplications. 21-23.1098 ESTEC Nordwijk, Netherlands, 93-98.
- BORGEAUD, M. & ATTEMA, E, & SALGADO-GISPERT, G. & BELLINI, A. & NOLL, J. (1995): Analysis of bare soil surfaces roughness parameters with ERS-1 SAR data, In: Proceedings of the International Symposium on the Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR Data for Land Applications, 10-13 Oktober 1995, 307-316, Toulouse, France.
- BORGEAUD, M. & NOLL, J. (1995): Combined Use of Microwave and Optical Sensors for Crop Monitoring, MAC Europe 91, Final Results Workshop Proceedings 4. - 6. Oktober 1994, ESA WPP-88, 119-129, ESTEC; Nordwijk, The Netherlands.

- BORGEAUD, M., NOLL, J. & BELLINI, A.** (1994): Use of ERS-1 SAR Data for Land Applications – In: Proceedings Second ERS-1 Symposium, 11.-14. October 1993, ESA SP-361, Vol. 2, 845-847, Hamburg.
- BORGEAUD, M., NOLL, J. & BELLINI, A.** (1994): Multi-temporal comparisons of ERS-1 and JERS-1 SAR data for land applications. - In: Proc. IGARSS '94, Pasadena (CA), USA, 8.-12. Aug. 1994.
- BORMANN, P.** (1980): Erdfernerkundung – In: Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde, No. 65, 128 S., Potsdam.
- BOUMAN, B. A. M. & HENK, D.** (1992): Crop Classification Possibilities with Radar in ERS-1 and JERS-1 Configuration. – In: Rem. Sens. Environment **40**: 1-13.
- BOUMAN, B. A. M.** (1991): The Linking of Crop Growth Models and Multi-Sensor Remote Sensing Data – In: Remote Sensing of Environment, Vol. 37, 193-205.
- BOUMAN, B. A. M. & H. VAN KASTEREN** (1990): Ground Based X-Band Radar Backscatter of Agricultural Crops. - In: Rem. Sens. Environment **34**: 93-105.
- BRASSE, T., E. KANEMASU, J. STEINER, F. T. ULABY & E. WILSON** (1981): Microwave Radar Response to Canopy Moisture, LAI, and Dry Weight of Corn, Wheat and Sorghum. - In: Remote Sens. Environ. **11**: 207-220.
- BRISCO, B., BROWN, R. J., SNIDER, B., SOFKO, G. J., KOEHLER, J. A. & WACKER, A. G.** (1991): Tillage Effects on the Radar Backscattering Coefficient of Grain Stubble Fields - In: Int. J. Remote Sensing, Vol. 12, No. 11: 2283-2298.
- BRISCO, B., BROWN R. J. & PROTZ, R.** (1984): Improving Crop Classifications through Attention to the Timing of Airborne Radar Acquisitions. – In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. **50**, 739-745.
- CHAMPION, I. & FAIVRE, R.** (1996): The Field Row Direction Relative to the Radar Azimuth Considered as an Apparent Surface Roughness for Smooth Bare Fields - In: Int. J. Remote Sensing, Vol. 17, No. 16: 3305-3311.
- CLEVERS J.G.P.W. & H. J. C. v. LEEUWEN** (1995): Combined Use of Optical and Microwave Remote Sensing Data for Crop Growth Monitoring. - In: Rem. Sens. Environment, Vol. 56: 42-51.
- DAVIDSON, M., STEINGIESSER, R. & KÜHBAUCH, W.** (1996): Assessing agricultural land use early during the growing season using multi-frequency and multi-polarisation SIR-C backscatter features. - In: Proc. EUSAR, Königswinter.
- DECHAMBRE, M., TACONET, O. & VIDAL-MADJAR, D.** (1992): Soil moisture assessment and estimation of the characteristics of the vegetation canopies with airborne radar measurements - In: Maestro-1/Agriscatt-Radar Techniques for Forestry and Agricultural Applications, Final Workshop 6-7 März, ESA WPP-31, 165-175, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands.
- DEMIRCAN, A. & ROMBACH, M. & MAUSER, W.** (1993): Extraction of Plant- and Soil-Parameters from Multitemporal ERS-1 SLC-Data of the Freiburg Test Site – In: Proceedings First ERS-1 Symposium, 4.-6. November 1992, ESA SP-359, 1: 631-634, Cannes.
- DLR** (2002): TerraSAR-X - Neue Kooperation in der Raumfahrt - In: DLR Raumfahrtmanagement - Onlinenews vom 22.07.2002.
- DOBSON, M. C., ULABY, F. T. & PIERCE, L. E.** (1995): Land-Cover classification and estimation of terrain attributes using synthetic aperture radar. - In: Remote Sens. Environ. **51**: 199-214.
- DORNIER** (1999): ProSmart Endbericht, Daimler Chrysler AeroSpace Selbstverlag.

- DUBOIS, P. C., RIGNOT, E. & VAN ZYL, J. J.** (1992): Direction Angle Sensitivity of Agricultural Field Backscatter with AIRSAR Data - In: Proc. IGARSS 1992, Vol. 2: 1680-1682.
- ENDLICHER, W.** (1982) Radar-Bilder in den Geowissenschaften – Grundlagen und Aussagemöglichkeiten eines neuen Fernerkundungssystems – In: Geographische Rundschau, Bd. 34, 325-327.
- ERASMI, S.** (1997): Möglichkeiten der Frühabschätzung landwirtschaftlicher Nutzung mittels ERS-1-Radaraufnahmen (am Beispiel des Landkreises Göttingen 1995/96). - Göttingen, Univ., Geogr. Inst., Diplomarbeit, 105 S.
- ERASMI, S.** (2002): Analyse spektoradiometrischer in situ Messungen als Datenquelle für die teilflächenspezifische Zustandsbeschreibung von Winterweizenbeständen – In: Dissertation Universität Göttingen, Institut f. Geographie, 201 S.
- ETZRODT, N.** (2002): Anwendung multiparametrischer Fernerkundungsdaten zur Ökosystem-Kartierung und Regionalisierung von Transpirations-Flussmessungen in Zentralsibirien – unveröffentlichte Dissertation an der Universität Göttingen, Geographisches Institut, 121 S.
- ESA (EUROPEAN SPACE AGENCY)** (1997): ENVISAT-1, Mission & System Summary; Noordwijk, 84 S.
- ESA SPECIALIST PANEL (ED.)** (1995): Satellite Radar in Agriculture. Experience with ERS-1. - In: European Space Agency ESA SP-1185, Noordwijk, 69 S.
- ESA (EUROPEAN SPACE AGENCY), WOODING, M. G. [ED.]** (1995): Proceedings MAC Europe 91 – Final Results Workshop, Lenggreis, 4-6 Oct. 1994, ESA WPP-88, 254 S.
- ESA (EUROPEAN SPACE AGENCY), BATTRICK, B. [HRSG.]** (1993): ERS User Handbook – In: ESA-Publication SP-1148, Noordwijk.
- ESA (EUROPEAN SPACE AGENCY)** (1992): MAESTRO-1/AGRISCATT. Radar Techniques for Forestry and Agricultural Applications. Final Workshop. 6.-7. März 1992, Noordwijk.
- ESA (EUROPEAN SPACE AGENCY), WOODING, M. G. [ED.]** (1988): Imaging Radar Applications in Europe, Illustrated Experimental Results (1978-1987), ESA TM-01, 87 S.
- EVANS, D. L., J. J. PLAUT & STOFAN, E. R.** (1997): Overview of the Spaceborne Imaging Radar-C/X-Band Synthetic Aperture Radar (SIR-C/X-SAR) Missions. - In: Remote Sens. Environ. 59: 135-140.
- EWERS, A. & SCHIECHE, B.** (2000): SAGA – Satellitendaten und GIS in der Rübenlogistik – Zuckerrübe – In: Fachzeitschrift über Produktionstechnik, Züchtung, Verwertung, Ökonomie, Th. Mann Verlag, (6): 312-314.
- FELLAH, K., BESNUS, Y., CLANDILLON, S. & DE FRAIPONT, P.** (1993): Données multi-temporelles SAR ERS-1 pour une étude environnementale: recherche de la mesure d'un paramètre d'humidité des sols en Alsace, France - In: Proceedings of the Second ERS-1 Symposium, 11-14 October 1993, ESA SP-361, 869-874, Hamburg, Germany.
- FERRAZZOLI, P., S. PALOSCIA, P. PAMPALONI, G. SCHIAVON, S. SIGISMONDI & D. SOLIMINI** (1997): The Potenzial of Multifrequency Polarimetric SAR in Assessing Agricultural and Arboreous Biomass. - In: IEEE Trans. Geoscience & Remote Sensing **35**, 1: 5-15.

- FERRAZZOLI, P. & GUERRIERO, L.** (1994): Interpretation and model analysis of Maestro-1 Flevoland data – In: International Journal of Rem. Sensing, Vol. 15, 2091-2915.
- FOODY, G. M.; GREEN, R. M.; LUCAS, R. M.; CURRAN, P. J.; HONZAK, M. & DO AMARAL, I.** (1997): Observations on the Relationship between SIR-C Radar Backscatter and the Biomass of Regenerating Tropical Forests. - In: Int. J. Remote Sensing **18**, **3**: 687-694.
- FOODY, G. M.** (1992): Soil Moisture Content ground Data Quality: results from the AGRISCATT Campaign – In: Maestro-1/Agriscatt-Radar Techniques for Forestry and Agricultural Applications, Final Workshop 6-7 März, ESA WPP-31, 177-182, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands.
- FRAHM, B. [HRSG.]** (1993): Der Landwirt 1: Pflanzenbau, Grünland, Landtechnik.. Stuttgart, 390 S.
- FREEMAN, A.** (1996): Introduction to SAR – In: SAR Theory I. Manuscript-No.1, SE 2.06. CCG Course: SAR Principles & Application. Held March 1996, Oberpfaffenhofen.
- FROST, V. S., STILES, J. A., SHANMUGAN, K. S. & HOLTZMANN, J. C.** (1982): A model for Radar Images and Its Application to Adaptive Digital Filtering of Multiplicative Noise – In: IEEE Trans. Patter Anal. Mach. Intel **4** (2), 157-165, NY.
- GILLESPIE, T. J., BRISCO, B., BROWN, R. J. & SOFKO, G. J.** (1990): Radar detection of a dew event in wheat - In: Remote Sensing of Environment, Vol. 33, 151-156.
- GNOSA, T.** (1997) Radarfernerkundung landwirtschaftlich genutzter Flächen – Scatterometermessungen an Winterweizen und Zuckerrüben – In: Dissertation Universität Bonn.
- GÜNZL, M., HAGEMEISTER, A. & SELIGE, T.** (1997): ERS-SAR Data for Land Information Systems - In: Abstracts of the Third ERS-1 Symposium, 17 - 21 März 1997, ESA SP-414, Vol. 1, 221-224, Florenz, Italy.
- HABERMEYER, M. & SCHMULLIUS, C.** (1997): Ein Algorithmus zur wissensbasierten Klassifikation multitemporaler Radar-Fernekundungsdaten – In: Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation (5): 313-323.
- HAGEMEISTER, A. & SELIGE, T.** (1998): Analysis of multiple effects of bio- and geophysical parameters on ERS SAR backscattering based on field segments – In: ESA SP 441 Proc. Sec. Int. Workshop on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR for Landapplications. 21-23.1098 ESTEC, 161-167, Noordwijk Netherlands.
- HAJNSEK, I.** (2001) Inversion of Surface parameters using Polarimetric SAR - Dissertation an der Universität Jena, Geographisches Institut.
- HALLIKAINEN, M., ULABY, F. T., DOBSON, M. C., EL-RAYES, M. A. & WU, L. K.** (1985): Microwave Dielectric Behavior of Wet Soil - Part I: Empirical Models and Experimental Observations - In: IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing , Vol. GE-23, No. 1: 25-34.
- HAMACHER, M., RADEMACHER, I., HAWLITSCHKA, S. & KÜHBAUCH, W.** (2001): Erkennung landwirtschaftlicher Nutzpflanzenbestände mittels multitemporaler ERS-1/-2 Radaraufnahmen – In: Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation (2): 119-127.
- HAMACHER, M.** (2000): Zustandserfassung von Wintergetreide und Zuckerrüben während des Wachstums mit Hilfe des C-Band Radars der ERS-1 und ERS-2 Satelliten. – Dissertation Universität Bonn, Inst. f. Pflanzenbau, 113 S.

- HARALICK, R. M., SHANMUGAN, K. & DINSTEIN, I.** (1970): Using Radar Imagery for Crop Discrimination – A Statistical and Conditional Probability Study, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 1, 131-142.
- HARRELL, P. A.; KASISCHKE, E. S.; BOURGEOU-CHAVEZ, L. L.; HANEY, E. M.; CHRISTENSEN JR. N.L.** (1997): Evaluation of Approaches to Estimating Aboveground Biomass in Southern Pine Forests Using SIR-C Data. - In: *Remote Sensing of Environment* **59**, **2**: 223-233.
- HARTL, PH. & GÜTH, S. & KLAEDTKE, H.-G. & PALUBINSKAS, G. & REICH, M. & WÖRZ, K.** (1995): Land Use Classification Of Agricultural Fields With Multitemporal ERS-1 SAR Data And Optical Remote Sensing Data: Some Results Of The PASTA Project – In: *Proceedings of the Second International Workshop on ERS Applications*, 6-8 Dezember 1995, ESA SP-383, 441-454, London, England.
- HARTL, P. & KLAEDTKE, H.-G.** (1994): Some Results of the Pasta Project Concerning Agricultural Classification – In: *First Workshop on ERS-1 Pilot Projects*, 22.-24. Juni 1994, ESA SP-365, 481-491, Toledo, Spanien.
- HARTL, PH. & KLAEDTKE, H.-G. & REICH, M. & XIA, Y.** (1993): Agricultural Application of ERS-1 SAR Data – In: *Proceedings of the Second ERS-1 Symposium*, 11-14 October 1993, ESA SP-361, 63-68, Hamburg, Germany.
- HAWLITSCHKA, S. HAMACHER, M. & KÜHBAUCH, W.** (2001): Erfassung der schlaginternen Verteilung der frischen Biomasse von Wintergerste mittels Radarfernerkundung – In: *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformationen* (5): 345-352.
- HAWLITSCHKA, S.** (2001): Adaptive modellbasierte Specklefilterung fernerkundlicher Radarbilder der Landoberfläche. - Diss. Bonn.
- HELLMANN, M. & KRÄTZSCHMAR, E.** (1998): Interpretation of SAR-Data using Polarimetric Techniques – In: *ESA SP 441 Proc. Sec. Int. Workshop on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR for Landapplications*. 21-23.1098 ESTEC, 65-70, Noordwijk Netherlands.
- HENDERSON, F. M. & Lewis, A. J. [Ed.]** (1998): Principles and Applications of Imaging Radar – In: *Manual of Remote Sensing*, 3<sup>rd</sup> Edition, Volume 2, 866 S.
- HEROLD, M., HOCHSCHILD, V. & SCHMULLIUS, C.** (2000): Multifrequente und multipolarimetrische Radarfernerkundung hydrologisch relevanter Parameter der Landoberfläche - - In: *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation* (5): 355-360.
- HILDEBRANDT, G.** (1996): *Fernerkundung und Luftbildmessung*. Heidelberg.
- HOBBS, S.E., WENG, A. & SEYNAT, C.** (1998): Wind and Rain Effects of SAR backscatter from Crops – In: *ESA SP 441 Proc. Sec. Int. Workshop on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR for Landapplications*. 21-23.1098 ESTEC, 185-189, Noordwijk, Netherlands.
- HOCHSCHILD, V.** (1995): *Geomorphologische Kartierung und Untersuchung der Auftaudynamik mit ERS-1-SAR Daten im Bereich der Antarktischen Halbinsel* - Dissertation, Geogr. Institut der Universität Bremen.
- HOFFMANN, H.** (1998): *Multitemporale und multisensorale Radarfernerkundung tropischer Vegetation an einem Beispiel aus Ost-Kalimantan*. – unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Göttingen, Geographisches Institut.
- HUBER, R.** (1998): Information extraction for land-cover inventory and change detection from air- and spaceborne interferometric SAR sensors - In: *ESA SP 441 Proc. Sec. Int. Workshop on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR for Landapplications*. 21-23.1098 ESTEC, 79-85, Noordwijk Netherlands.

- HURLEMANN, P.** (1997): Möglichkeiten der Landnutzungsklassifizierung mittels ERS-1 Radar- und LANDSAT/TM- Aufnahmen im Landkreis Göttingen. – unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Göttingen, Geographisches Institut.
- INFOTERRA** (2002): ProSmart II Endpräsentation Bonn vom 17. April 2002; CD-ROM, InfoTerra Selbstverlag.
- JACKSON, T. J., MCNAIRN, H., WELTZ, M. A., BRISCO, B. & BROWN, R.** (1997): First Order Surface Roughness Correction of Active Microwave Observation for Estimating Soil Moisture. - In: IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, Vol. 35, No. 4: 1065-1069.
- JANBEN, I.** (1997). Landschaftsanalyse mittels digitaler Datensätze (LANDSAT-TM, DGM, DGK) und GIS im Landkreis Göttingen (Testgebiet Reinshof) – unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Göttingen, Geographisches Institut.
- JÜRGENS, C.** (2000) Fernerkundungsanwendung im Precision Farming – In: Petermanns Geograph. Mitt., Bd. 144, 60-69.
- KATTENBORN, G. & KLAEDTKE, H.-G.** (1997): Classification of ERS-1 SAR Data over Seville (Spain) for Agricultural Statistics – In: Abstracts of the Third ERS-1 Symposium, 17 - 21 März 1997, ESA SP-414, Vol. 1, 139-146, Florenz, Italy.
- KIDD, R. & LEMOINE, G.** (1999): Operational European Cereal Monitoring: Methodological Considerations – In: ESA Earth Observation Quarterly, No. 63, 13-16.
- KIDD, R. A. & LEMOINE G. G.** (1998): Application of a conditioned classification methodology for optical and SAR data in the MARS-STAT project: A case study – In: Proc. Fusion of Earth Data Workshop, Sophia Antipolis, France.
- KIDD, R., LEMOINE, G. & DE GROOF, H.** (1997): Integration of ERS SAR classification products in the MARS Activity B „Rapid Area Estimation“ methodology - In: Abstracts of the Third ERS-1 Symposium, 17 - 21 März 1997, ESA SP-414, 131-138, Florenz, Italy.
- KLENKE, M.** (1999): GIS-gestützte Landnutzungsklassifikation auf Grundlage von Daten passiver und aktiver Fernerkundungssensoren zur distributiven Flußeinzugsgebietsmodellierung – Dissertation an der Universität Jena, Institut für Geographie, 159 S.
- KLINGSÖHR, M.** (1997): Vergleich von Landsat/TM-, ERS/1- und JERS/1-Daten als Mittel der Agrarraumanalyse im Landkreis Göttingen - unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Göttingen, Geographisches Institut.
- KNIPP, K.** (1993): Speckle Reduction Applied to ERS-1 SAR Images – In: Workshop and Conference "International Mapping from Space", Working Group IV/2, ISPRS '93, Hannover, Volume 15, 177-190.
- KOHL, H.-G. & NEZRY, E. & MRÓZ, M. & DE GROOF, H.** (1994a): Towards the Integration of ERS SAR Data in an Operational System for the Rapid Estimate of Crop Acreage at the level of the European Union – In: First Workshop on ERS-1 Pilot Projects, 22.-24. Juni 1994, ESA SP-365, 433-440, Toledo, Spanien.
- KOHL, H.-G. & NEZRY, E. & DE GROOF, H.** (1994b): Crop acreage estimation with ERS-1 PRI images – In: Earth Observation Quarterly, No.46, 6-8.
- KOHL, H.-G., G. KING & H. DE GROOF** (1994c): Agricultural statistics: Comparison of ERS-1 and SPOT for the crop acreage estimation of the MARS-Project. - In: Proc. 2nd ERS-1 Symposium, Hamburg, 11.-14. Oct. 1993 1: 87 - 92.
- KRAUS, K.** (1990): Fernerkundung. Band 2: Auswertung photographischer und digitaler Bilder. Bonn.

- KRAUS, K. & W. SCHNEIDER** (1988): Fernerkundung. Band 1: Physikalische Grundlagen und Aufnahmetechniken. Bonn.
- KRONBERG, P.** (1985): Fernerkundung der Erde. Grundlagen und Methoden des Remote Sensing in der Geologie, 145-169; Stuttgart (Enke).
- KÜHBAUCH, W.** (2002): Fernerkundung – eine Zukunftstechnologie im Präzisionspflanzenbau – In: Tagungsband Precision Agriculture, Bonn, 79-87.
- KÜHBAUCH, W.** (2001): Anwendungsperspektiven der Fernerkundung in der Landwirtschaft. – In: Tagungsband 17. DFD-Nutzerseminar der DLR. – ISSN 1434-8462, 37-47.
- KÜHBAUCH, W. [ED]** (1999): EMAP-Landnutzungsinventuren mit Hilfe der ERS-1/-2 Radarfernerkundung – In: Endbericht, Bonn, BMBF-Förderkennzeichen 50EE 9613, 232 S.
- KÜHBAUCH, W.** (1991): Anwendung der Radarfernerkundung in der Landwirtschaft. - In: Die Geowissenschaften **9**, **4**: 122-127.
- KUNTZ, S.** (2001): Einsatz der Fernerkundung in der Landwirtschaft – Anwendung von Geodaten in der Landwirtschaft – In: Beiträge zur 1. CC-GIS Fachtagung, IfGI-Prints (10): 19-32.
- LAGUERRE, L. & CALVET, J.-C. & KERR, Y. H. & CHANZY, A. & WIGNERON, J.-P. & RAJU, S.** (1994): Influence of Surface Roughness on the Microwave Emission from Bare Soils for Surface Soil Moisture Algorithms – In: PIERS 1994, Proceedings of the 1994 Progress in Electromagnetics Research Symposium, 11. - 15. Juli, ESA-WPP-073, Nordwijk, The Netherlands.
- LAUR, H., BALLY, P., MEADOWS, P., SANCHEZ, J., SCHÄETTLER, B., LOPINTO, E. & ESTEBAN, D.** (1998): Derivation of the Backscattering Coefficient Sigma-Nought in ESA ERS SAR PRI Products – In: Document No: ES-TN-RS-PM-HL09 7, ESA Issue 2, Rev.5b.
- LAUR, H., P. BALLY, P. MEADOWS, J. SANCHEZ, B. SCHÄETTLER & LOPINTO, E.** (1997): ERS SAR Calibration: Derivation of the Backscattering Coefficient Sigma in ESA ERS SAR PRI Products. - In: ESA-Publication No. EX-TN-RS-PM-HL09, Issue 2, Rev. 4.
- LE TOAN, T. & SMACCHIA, P.** (1994): On the retrieval of soil moisture from ERS-1 SAR data. - In: Proc. 2nd ERS-1 Symposium, Hamburg, 11.-14. Oct. 1993 **2**: 883-888.
- LE TOAN, T., LOPES, A. & HUET, M.** (1984): On the Relationship Between Radar Backscattering Coefficient and Vegetation Canopy Characteristics – In: IGARSS Proceedings, Straßburg, France, 27. – 30. August, 155-160.
- LEE, J. S. & HOPPEL, K.** (1992): Principal Component Transformation of Multifrequency Polarimetric SAR Imagery – In: IEEE Trans. On Geoscience and Rem. Sens., Vol 30, No. 4, 686-696.
- LEEUWEN, H. v., & BERGEAUD, M.** (1997): Regional Application of ERS-1/2 in the Flevoland Agricultural Area in the Netherlands - In: Abstracts of the Third ERS-1 Symposium, 17 - 21 März 1997, ESA, Florenz, Italy: 279-281.
- LEMOINE, G., KIDD, R., VAN LEEUWEN, H. & DE GROOF, H.** (1997): Methodological advancements in using ERS SAR data for crop area estimation - In: Abstracts of the Third ERS-1 Symposium, 17 - 21 März 1997, ESA, Florenz, Italy: 125-130.
- LEMOINE, G. & DE GROOF, H. & VAN LEEUWEN, H. J. C.** (1995): Monitoring Agricultural Land Preparation Activities With ERS-1 To Complement And Advance Early Season Crop Acreage Estimates in the Framework Of The MARS Project - In: Proceed-

ings of the Second International Workshop on ERS Applications, 6-8 Dezember 1995, ESA SP-383, 7-12, London, England.

- LILLESAND, T. M. & R. W. KIEFER** (1994): Remote Sensing and Image Interpretation. 3. Aufl., New York.
- LIN, D.-S. & WOOD, E. F.** (1995): On Microwave Remote Sensing of Soil Moisture and its Applications to Hydrologic Modeling – In: MAC Europe 91, Final Results Workshop Proceedings 4. - 6. Oktober 1994, ESA WPP-88, 59-63, ESTEC; Noordwijk, The Netherlands.
- LU, Z. & MEYER, D. J.** (2002): Study of high SAR backscattering caused by an increase of soil moisture over sparsely vegetated area: implications for characteristics of backscattering – In: Int. Journal Rem. Sens., Vol. 23, No.6, 1063-1074.
- MAJOR, D. J., LARNEY, F., BRISCO, B., LINDWALL C. & BROWN, R.** (1993): Tillage effects on radar backscatter in Southern Alberta. - In: Can. J. Remote Sensing 19, NO. 2: 170-176.
- MANNINEN, T., RANTASUO, M., LETOAN, T., DAVIDSON, M., MATTIA, F. & BORGEAUD, M.** (1998): Multiscale Surface Roughness of Bare Soil – In: IGARSS '98, Seattle, USA, 1203-1206.
- MASCLE, S., OLIVIER, PH. & VIDAL-MADJAR, D.** (1994): Identification of Vegetation Classes using Multi-Configuration Polarimetric SAR Data – In: PIERS 1994, Proceedings of the 1994 Progress in Electromagnetics Research Symposium, 11. - 15. Juli, ESA-WPP-073, Noordwijk, The Netherlands.
- MCNAIRN, H., BOISVERT, J. B., MAJOR, D. J., GWYN, Q., BROWN, R. J. & SMITH, A. M.** (1996): Identification of agricultural tillage practices from C-band radar backscatter. - In: Can. J. Remote Sensing 22, 2: 154-162.
- MICHELSON, D.** (1994): ERS-1 SAR backscattering coefficients from bare soil fields with different tillage row directions. - In: Int. J. Remote Sensing 15, 13: 2679-2685.
- MOLINEUX, B., CHANZY, A. & ZRIBI, M.** (1999): Using Multi-Angular Radar Data to Discriminate the Influence of Rough Surface Scattering on Soil Moisture Inversions over Bare Soil. – In: Proc. IGARSS 1999. Published on CD.
- MÜLLER, A.** (2001): eCognition – Advanced land use classification using hyperspectral HyMap<sup>TM</sup> data – In: eCognition application notes, Vol. 2, No. 9.
- MÜLLER, U., LÖCHERBACH, T., FÖRSTNER, W. & KÜHBAUCH W.** (1993): Suitability of ERS-1 SAR PRI-Data for multitemporal agricultural land-use mapping. - In: Proc. 2nd ERS-1 Symposium, Hamburg, 11.-14. Oct. 1993 1: 69-74.
- NEZRY, E. & REMONDIERE, S.** (1995): Mapping of next season's crops during the winter using ERS SAR. - In: Earth observation Quarterly (EOQ), 50: 1-5.
- NIEUWENHUIS, G. J. A. & KRAMER, H.** (1995): Monitoring of agricultural crops with ERS-1 and JERS-1 multi-temporal SAR data and crop growth modelling. - In: Proceedings of the Second ERS Applications Workshop, London (ESA SP-383): 25-29.
- OH, Y. & KAY, Y. C.** (1998): Condition of Precise Measurement of Soil Surface Roughness – In: IEEE Trans. on Geoscience and Rem. Sens., 36 (2), 691-695.
- PALOSCIA, S., PAMPALONI, P., BALLERINI, P., MORETTI, S. & SIGISMONDI, S.** (1995): Integration of SAR Data and Hydrological Modeling through Multifrequency AIRSAR Campaigns on Montespertoli Site – In: MAC Europe 91, Final Results Workshop Proceedings 4.-6. Oktober 1994, ESA WPP-88, 65-70, ESTEC; Noordwijk, The Netherlands.

- PATHE, C., SCHMULLIUS, C. C., RIEDEL, T., MÜLLER, A., HEROLD, M. & THIEL, C.** (2001): Influence of Diurnal Variations of Surface Wetness on Class Separability of Agricultural Crops using Multiparametric E-SAR Data with respect to Future TerraSAR and ENVISAT-Applications – In: Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR Data for Land Applications, SCEOS, University of Sheffield, UK, 11.-14. September.
- PONCET, F. v. & HANNEMANN, J.** (1994): Regionalization of soil physical parameters using ERS-1 pri data. - In: Proc. 2nd ERS-1 Symposium, Hamburg, 11.-14. Oct. 1993 2: 879-881.
- PONCÉT, F. v., TAPKENHINRICHS, M., HANNEMANN, J., SCHMIDT, R., PRIETZSCH, C. & BORK, H.-R.** (1995): Methodenentwicklung zur Nutzung von Satelliten-SAR-Daten für die Kartierung und Erfassung von Parametern und Phänomenen des Bodenwasserhaushaltes. - In: Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V., Bericht Nr. 17, Müncheberg.
- PRIETZSCH, C. & GROB, H.** (1993): ERS-1 SAR data for Geocological Monitoring of a Grassland Area, Proceedings of the Second ERS-1 Symposium, 11-14 October 1993, ESA SP-361, 889-892, Hamburg, Germany.
- RANEY, R. K., GRAY, A. L. & PRINCZ, J. G.** (1988): An Effect of Coherent Scattering in Spaceborne and Airborne SAR Images. - In: Int. J. Remote Sensing, Vol. 9, No. 5: 1039-1049.
- REICH, M. & GÜTH, S.** (1998): Improvement of Agricultural Land use information from multitemporal ERS-SAR Data for the test site Ostalb /Germany – In: ESA SP 441 Proc. Sec. Int. Workshop on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR for Landapplications. 21-23.10.98 ESTEC Nordwijk Netherlands, 141-148.
- RIEGLER, G., STOLZ, R. & MAUSER, W.** (1998): Geometric and radiometric corrections of ERS SAR data for biomass estimation of meadows in rugged terrain. - In: Proc. SPIE, European Symposium on Remote Sensing V, Spain, Sep. 1998.
- ROMBACH, M. & DEMIRCAN, A.** (1994): Correlation between soil moisture and the backscattering coefficient of ERS-1 data. - In: Proc. 2nd ERS-1 Symposium, Hamburg, 11.-14. Oct. 1993 2: 861-864.
- ROQUES, J. M., RABAUTE, T., DEMAILLY, C., HARMS, J. & CARROU, A.** (1994): Use of ERS-1 SAR Imagery for crop monitoring – In: First Workshop on ERS-1 Pilot Projects, 22.-24. Juni 1994, ESA SP-365, 453-467, Toledo, Spanien.
- ROSENTHAL, F.** (1960): Physik III: Wellenlehre, Elektromagnetik, Atomistik. Mentor-Repetitorien, Bd. 42. Berlin.
- SABINS, F. F.** (1987): Remote Sensing Principles and Interpretation – In: 2<sup>nd</sup> Edition, W. H. Freeman & Company, San Francisco, 449 S.
- SAICH, P. & BORGEAUD, M.** (1998): Interpreting Agricultural Crop Signatures from Flevoland, 1993-1996 – In: ESA SP 441 Proc. Sec. Int. Workshop on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR for Landapplications. 21.-23.10.1998, ESTEC, 175-184, Nordwijk, Netherlands.
- SANGIOVANNI, S., BUONGIORNO, M. F., FERRARINI, M. & FIUMARA, A.** (1995): AIRSAR/AVIRIS Integration for Agricultural Testsite Classification – In: MAC Europe 91, Final Results Workshop Proceedings 4. - 6. Oktober 1994, ESA WPP-88, 103-108, ESTEC; Nordwijk, The Netherlands.
- SCHADT, R. & KELLNDORFER, J. & MAUSER, W.** (1993): Comparison of ERS-1 SLC and LANDSAT/TM Thematic Mapper data for monitoring grassland and detecting

changes in agricultural use, Proceedings of the Second ERS-1 Symposium, 11-14 October 1993, ESA SP-361, 75-78, Hamburg, Germany.

- SCHANDA, E.** (1986): Physical Fundamentals of Remote Sensing – Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
- SCHELLING, K.** (2000): Aufbau eines operationellen fernerkundungs- und GIS-gestützten Systems zur Zustandsbeschreibung, Ertrags- und Qualitätsabschätzung von Braugerstenbeständen - Diss. Bonn.
- SCHEPP, H.** (1996): Die Abhängigkeit des ERS-1 Radarechos von der Exposition. Eine multitemporale Untersuchung aus dem Landkreis Göttingen - unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Göttingen, Geographisches Institut.
- SCHIECHE, B. & BUSCHE, T.** (2002): Los Vademus – Untersuchungen zur Genauigkeit von SRTM-Höhenmodellen – Abschlußbericht Bonn, BMBF Förderkennzeichen 50EE 0031, 43 S. unveröffentlicht.
- SCHIECHE, B., HURLEMANN, P. & JANBEN, I.** (2001): SAGA – Satelliten-Aufnahmen und GIS f. Agrologistik – In: Endbericht Bonn, BMBF Förderkennzeichen 50FN 98175, 17 S. unveröffentlicht.
- SCHIECHE, B.** (2000): Verbesserung des Betriebsmanagements mit Geoinformation am Beispiel der Abfuhrlogistik von Zuckerrüben – In: Geo-Information vom Satelliten zum Verbraucher, Erdanwendungen der Weltraumtechnik, DGLR-Konferenz vom 30.11.-1.12.1999, Bonn, 33-34.
- SCHIECHE, B., ERASMI, S., SCHRAGE, T. & HURLEMANN, P.** (1999): Monitoring and Registering of Grassland and fallow fields with multitemporal ERS data within a district of Lower Saxony – In: Proceedings IGARSS 1999, 28. June – 2. July Hamburg, Germany, Vol. 2, 759-761.
- SCHIECHE, B., SCHEPP, H. & HURLEMANN, P.** (1997): Monitoring of extensive and intensive agricultural land use in the district of Göttingen - Germany. - In: Proc. 3rd ERS-1 Symposium, Florence, 17. - 20. March 1997, ESA SP-414, Vol. I, 265-269.
- SCHMULLIUS, C. & SCHRAGE, T.** (1998): Classification, Crop Parameter Estimation and Synergy Effects using Airborne DLR E-SAR and DAEDALUS Images. - In: Proc. IGARRS 98.
- SCHMULLIUS, C. C. & EVANS, D. L.** (1997): Synthetic Aperture Radar (SAR) Frequency, and Polarization Requirements for Applications in Ecology, Geology, Hydrology, and Oceanography: A Tabular Status Quo after SIR-C/X-SAR. - In: Int. J. Remote Sensing 18, 13: 2713-2722.
- SCHMULLIUS, C. C. & NITHACK, J.** (1994): Crop Monitoring with Multi-Temporal DLR E-SAR and ERS-1 Image data, PIERS 1994, Proceedings of the 1994 Progress in Electromagnetics Research Symposium, 11. - 15. Juli, ESA-WPP-073, Nordwijk, The Netherlands.
- SCHMULLIUS, C. C. & NITHACK, J. & KERN, M.** (1993): Comparison of multi-temporal ERS-1 and Airborne DLR E-SAR mage data for crop monitoring, Proceedings of the Second ERS-1 Symposium, 11-14 October 1993, ESA SP-361, 79-83, Hamburg, Germany.
- SCHMULLIUS, C. C. & NITHACK, J.** (1993): Seasonal variations of agricultural fields in multifrequency SAR images, Proceedings of IGARSS'93, 73-75, Tokio.
- SCHMULLIUS, C. C.** (1992): Radarfernerkundung landwirtschaftlicher Flächen mit einem flugzeuggetragenen L-, C- und X-Band Scatterometer, Berliner

- Geowissenschaftliche Abhandlungen, D 188, 3, Selbstverlag FB Geowissenschaften FU Berlin; Berlin.
- SCHMULLIUS, C. C. & FURRER, R.** (1992): Some critical remarks on the use of C-band radar data for soil moisture detection, *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 13, No. 17, 3387-3390.
- SCHREIER, G.** (1993): Geometrical Properties of SAR images – In: *SAR Geocoding: Data and Systems*, G. Schreier [Ed.], 103-134.
- SKOLNIK, M. I. [ED.]** (1990): *Radar Handbook*, 2nd Edition, Mc Graw-Hill, New York.
- SPÖNEMANN J. & SCHIECHE, B.** (1997): Fernerkundung mittels Satelliten als Datenquelle der Agrarstatistik am Beispiel des Landkreises Göttingen – In: *Göttinger Geogr. Abh.* Vol. 100, pp. 195-214.
- SPÖNEMANN, J., & SCHIECHE, B.** (1996): Satellitenradar in der Geographie. - In: *Georgia Augusta.*, Bd. 65, 11-20
- SPÖNEMANN, J., ERASMI, S. & SCHIECHE, B.** (1999): Möglichkeiten der Abgrenzung intensiver und extensiver Landnutzung mittels multitemporaler ERS-Radaraufnahmen in einem mitteleuropäischen Testgebiet, In: *DLR Abschlußbericht, BMBF-Förderkennzeichen No. 50EE9536*, unveröffentlicht.
- STEINGIESSER, R. & KÜHBAUCH, W.** (1998): Erfassung der frischen und trockenen Biomasse und Schätzung der frischen Biomasse von Wintergerste in verschiedenen Regionen Europas mit einem raumgleitergetragenen Sensor – In: *J. Agronomy 6 Crop Science*, 181, 145-152.
- STOLZ, R. & MAUSER, W.** (1997): Evaluation of ERS data for biomass estimation of meadows – In: *Abstracts of the Third ERS-1 Symposium, 17 - 21 März 1997, ESA, Florenz, Italy: 203-207.*
- SVENDSEN, M. T. & SARABANDI, K.** (1998): Retrieval of Parameters from SAR Data using a Coherent Scattering Model for Grassland - In: *ESA SP 441 Proc. Sec. Int. Workshop on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR for Landapplications.* 21-23.1098 ESTEC Noordwijk Netherlands, 115-120.
- TACONET, O., BENALLEGUE, M., VIDAL-MADJAR, D., PREVOT, L., DECHAMBRE M. & NORMAND, M.** (1994): Estimation of Soil and Crop Parameters for Wheat from Airborne Radar Backscattering Data in C and X Bands. - In: *Rem. Sens. Environment*, Bd. 50: 287-294.
- TEX, S. & STIES, M** (1993): RADARKARTE Deutschland – Verfahren für die ERS-1 Radarbildauswertung – In: *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, Bd. 3, 115-122.
- THIEL, C. & RIEDEL, T.** (2001): Ableitung von Landoberflächenparametern aus flugzeuggetragenen voll-polarimetrischen E-SAR Daten unter Berücksichtigung von freiem Vegetationswasser – In: *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformationen (6):* 427-434.
- ULABY, F. T.** (1975): Radar Response to Vegetation – In: *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. AP-23, No. 1, 36-45.
- ULABY, F. T. & BUSH, F.T.** (1976): Monitoring Wheat Growth with Radar. – In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 42, No.4, 557-568.
- ULABY, F. T. & BATLIVALA, P.P.** (1976): Optimum Radar Parameters for Mapping Soil Moisture. – In *IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing*, Vol. GE-14, 81-93.

- ULABY, F. T. & BARE, J. E.** (1979) Look direction Modulation Function of the Radar Backscattering Coefficient of Agricultural Fields – In: Photogrammetric Engineering and Remot Sensing, Vol. 45, No. 11, 1495-1506.
- ULABY, F. T., MOORE, R. & FUNG, A.** (1981): Microwave remote sensing: active and passive, Vol. I. 1-456, Reading.
- ULABY, F. T., MOORE, R. & FUNG, A.** (1986): Microwave remote sensing: active and passive, Vol. II. 457-1064, Norwood, 2. Auflage.
- ULABY, F. T., MOORE, R. & FUNG, A.** (1986): Microwave remote sensing: active and passive, Vol. III. 1065-2162, Norwood.
- ULABY, F. T.** (1989): Handbook of radar scattering statistics for terrain. Artech House, Norwood, MA.
- ULBRICHT, A.** (1998): Evaluation of the Potenzial of full-polarimetric Airborne Repeat-Pass-SAR-Interferometry for Classification of Changes detected by the coherence – In: ESA SP 441 Proc. Sec. Int. Workshop on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR for Landapplications. 21-23.1098 ESTEC Noordwijk Netherlands, 87-91.
- VERORDNUNG (EG) NR. 1251/99** des Rates vom 17.05.1999: Zur Einführung einer Stützungsregelung für Erzeuger bestimmter landwirtschaftlicher Kulturpflanzen – In: Abl.-Nr. L160 vom 26.06.1999.
- VERORDNUNG (EG) NR. 1593/00** des Rates vom 17.07.2000: Zur Änderung der Verordnung (EWG) Nr. 3508/92 zur Einführung eines integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems für bestimmte gemeinschaftliche Beihilferegulungen – In: Abl. L182/4 vom 21.07.2000.
- VERORDNUNG (EWG) NR. 3508/92** des Rates vom 27.11.1992: Einführung eines integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems für bestimmte gemeinschaftliche Beihilferegulungen – In: Abl.-Nr. L355/1.
- VYAS, S.P. & STEVEN, M.D.** (1997): Leaf Area Estimation for sugar beet yield prediction using ERDS SAR data – In: Proc. 3rd ERS-1 Symposium, Florence, 17. - 20. March 1997, ESA SP-414, Vol. I, 237-240.
- VYAS, S.P., STEVEN, M.D., XU, H., MILNES, M. & JAGGARD, K.W.**(1995): ERS-1 SAR for sugar beet yield predictions. Proc. II ERS Applications Workshop, London, UK, 6-8 Dezember, ESA SP-383, 403-405.
- WAGNER, W., BORGEAUD, M. & NOLL, J.** (1996): Soil moisture mapping with the ERS scatterometer. - In: Earth Observation Quarterly (EOQ) 54.
- WEGMÜLLER, U.** (1993): Signature research for crop classification by active and passive microwaves. - In: Int. J. Remote Sensing 14, 5: 871-883.
- WEIMANN, A., VON SCHÖNERMARK, M., SCHUMANN, A., JÖRN, P. & GÜNTHER, R.** (1998): Soil Moisture Estimation with ERS-1 SAR Data in East-German Loess Soil Area. Int. J. Remote Sensing, Vol. 19, No. 2: 237-243.
- WEIMANN, A** (1996): Bestimmung der Bodenfeuchte mittels aktiver Mikrowellensensoren. Diss. Technische Universität Berlin. - In: DLR-Forschungsbericht 96-38.
- WEVER, T. & HENKEL, J.** (1995): Assessment of MAC-Europe AIRSAR Data for Soil Moisture Retrieval - in: MAC Europe 91, Final Results Workshop Proceedings 4. - 6. Oktober 1994, ESA WPP-88, 83-87, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands.
- WOODING, M., GRIFFITHS, G., EVANS, R., BIRD, P., KENWARD, D. & KEYTE G.** (1993): Temporal monitoring of soil moisture using ERS-1 SAR data. - In: Proc. 1st ERS-1 Symposium, Cannes, France, 4.-6. Nov. 1992, ESA SP-359 2: 641-648.

- WRIGHT, P., SAICH, P. & CORDEY, R.** (1993): Crop monitoring with ERS-1 SAR in East Anglia - In: Proceedings of the Second ERS-1 Symposium, 11.-14. October 1993, ESA SP-361, 103-108, Hamburg, Germany.
- XU, H., STEVEN, M. D. & JAGGARD, K.W.** (1996): Monitoring Leaf Area of Sugar Beet Using ERS-1 SAR Data – In: Int. Journal of Remote Sensing, 17 (17): 3401-3410.
- YAKAM-SIMEN, F. & NEZRY, E.** (1999): Early estimation of crop surfaces, and agriculture monitoring using RADARSAT data – In: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS'99 Hamburg, Germany, 28. June-2. July 1999, Vol. 2, 788-790.
- YESOU, H., MEYER, C. & DE FRAPOINT, P.** (1995): Assessment Of ERS SAR Data For Fallow Land Monitoring: A Radiometric And Textural Approach – In: Proceedings of the Second International Workshop on ERS Applications, 6.-8. Dezember 1995, ESA SP-383, 473-478, London, England.

## 12.2 Karten

### Bodenkundliche Standortkarte 1 : 200 000

Südniedersachsen 1980

### Topographische Übersichtskarte 1 : 100 000

Südniedersachsen Sonderkarte zum 1979  
2. Dt. Geographentag

### Topographische Karte 1 : 50 000

<u>Name</u>	<u>Blatt</u>	<u>Fortführungsstand</u>
Moringen	L4324	1986
Osterode am Harz	L4326	1983
Göttingen	L4524	1988
Göttingen und Umgebung	----	1993
Duderstadt	L4526	1987

### Topographische Karte 1 : 25 000

Göttingen	4425	1986
Friedland	4525	1986

### Deutsche Grundkarte 1 : 5 000 (mit Bodenschätzung)

Rosdorf	4425/27	1994
Geismar/West	4425/28	1994
Geismar/Ost	4425/29	1994
Westerberg	4425/30	1994
Rosdorf/Süd	4525/3	1994
Niedernjesa/Reinshof	4525/4	1994
Diemarden/West	4525/5	1994
Diemarden/Ost	4525/6	1994
Sieboldshausen/Ost	4525/9	1994
Niedernjesa	4525/10	1994
Blaubachschenke	4525/11	1994
Reinhausen	4525/12	1994
Obernjesa	4525/15	1994
Stockhausen	4525/16	1994
Ballenhausen	4525/17	1994
Reinhausen/Süd	4525/18	1994

### 12.3 Internetressourcen

- Astrium:** <http://www.astrium-space.com/en/file/part7/index.htm>
- Canadian Center for Remote Sensing (CCRS):** <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/homepg.pl?e>
- Deutsches Fernerkundungs-Datenzentrum des DLR:** <http://www.dfd.dlr.de/>
- DLR Institutes für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme:** <http://www.dlr.de/ne-hf>
- ENVISAT:** <http://www.dlr.de/ENVISAT/> & <http://envisat.esa.int/>
- ESA (Earth Observation Earthnet Online):** <http://earthnet.esrin.esa.it/>
- ESA (ESTEC):** <http://www.estec.esa.nl/>
- ESA Publications:** <http://esapub.esrin.esa.it/>
- EURIMAGE:** <http://www.eurimage.com>
- Gamma Remote Sensing:** <http://www.gamma-rs.ch>
- Geographisches Institut der Uni Jena, Abt. FE:** <http://www.geogr.uni-jena.de/index.php?id=211>
- IKONOS:** <http://www.spaceimaging.com/>
- Institut f. Geodäsie u. Geoinformatik, Uni Rostock:** <http://www.auf.uni-rostock.de/gg/>
- Institut f. Landschaftssystemanalyse des ZALF:** [http://www.zalf.de/lsad/fr\\_lsad\\_b.htm](http://www.zalf.de/lsad/fr_lsad_b.htm)
- Institut f. Pflanzenbau der Universität Bonn:** <http://www.ipf.uni-bonn.de/>
- Institute f. Environment and Sustainability (IES) des JRC der EU:** <http://ies.jrc.cec.eu.int/>
- IPF Karlsruhe:** <http://www.ipf.uni-karlsruhe.de/>
- ITC:** <http://www.itc.nl/~bakker/rs.html>
- J-ERS-1 Informationen der NASDA:** <http://www.eorc.nasda.go.jp/JERS-1/>
- Jet Propulsion Laboratory (JPL) der NASA:** <http://southport.jpl.nasa.gov>
- LANDSAT-7/ETM:** <http://www.dfd.dlr.de/projects/LANDSAT7/dateien/home.htm>
- Precision Farming:** [www.preagro.de](http://www.preagro.de)
- Quickbird:** <http://www.digitalglobe.com/>
- SPOT 5:** <http://www.spotimage.fr/>
- Lehrstuhl f. Pflanzenernährung, TUM Weihenstephan:**  
<http://www.weihenstephan.de/pe/forschung/forschung.htm>
- X-SAR-SRTM:** <http://www.dfd.dlr.de/srtm/html/>
- ZFL – Zentrum f. Fernerkundung der Landoberfläche:** <http://www.zfl.uni-bonn.de/>

## **13 Anhang**

### **13.1 Anhang A – Geländefotos und Abbildungen**

**Abb. A1: Feld 41/72: Intensive Nutzung Winterweizen (*Triticum aestivum*)**



27.04.1995 EC Sigma° (dB):-10.28



07.05.1995 EC Sigma° (dB):-13.84



02.06.1995 EC 49 Sigma° (dB):-11.80



20.06.1995 EC 61 Sigma° (dB):-14.09



06.07.1995 EC 78 Sigma° (dB):-13.77



16.07.1995 EC 80 Sigma° (dB):-12.10



25.07.1995 EC 85 Sigma° (dB):-11.97



10.08.1995 EC -- Sigma° (dB):-9.15



19.10.1995 EC 21 WG Sigma° (dB):-8.56



23.11.1995 EC 25 WG Sigma° (dB):-6.28

**Abb. A2: Feld 77: Intensive Nutzung Wintergerste (*Hordeum vulgare*)**



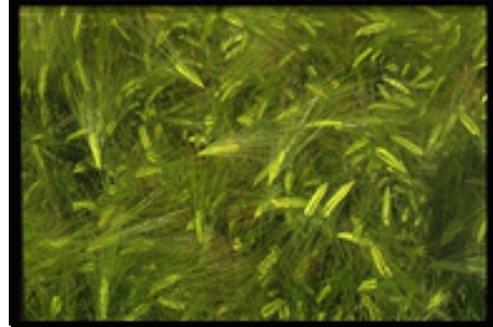
27.04.1995 EC. Sigma° (dB):-12.92



07.05.1995 EC Sigma° (dB):-18.30



02.06.1995 EC 71 Sigma° (dB):-12.46



20.06.1995 EC 85 Sigma° (dB):-8.75



06.07.1995 EC 87 Sigma° (dB):-6.73



16.07.1995 EC 92 Sigma° (dB):-10.04



25.07.1995 EC - Sigma° (dB):-8.46



14.09.1995 EC - Sigma° (dB):-6.48



19.10.1995 EC - Sigma° (dB):-10.44



23.11.1995 EC - Sigma° (dB):-4.43

**Abb. A3: Feld 174: Intensive Nutzung Winterroggen (Secale cereale)**



07.05.1995 EC Sigma° (dB):-14.71



02.06.1995 EC Sigma° (dB):-11.18



20.06.1995 EC Sigma° (dB):-13.04



06.07.1995 EC Sigma° (dB):-8.18



16.07.1995 EC Sigma° (dB):-11.32



25.07.1995 EC Sigma° (dB):-11.70



10.08.1995 EC -- Sigma° (dB):-12.99



14.09.1995 EC: - Sigma° (dB):-6.58

**Abb. A5: Feld 66: Intensive Nutzung Zuckerrübe (Beta vulgaris)**



27.04.1996 EC Sigma° (dB):-11.82



07.05.1995 EC 21 Sigma° (dB):-11.61



02.06.1996 EC 25 Sigma° (dB):-4.99



20.06.1995 EC 27 Sigma° (dB):-8.16



06.07.1996 EC 46 Sigma° (dB):-7.78



16.07.1995 EC 48 Sigma° (dB):-7.63



25.07.1996 EC 48 Sigma° (dB):-8.02



10.08.1995 EC 49 Sigma° (dB):-8.23



19.10.1995 EC 90 Sigma° (dB):-7.30

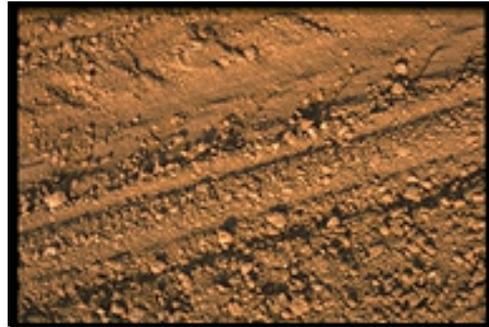


23.11.1995 EC - Sigma° (dB):-5.39

**Abb. A6: Feld 263: Intensive Nutzung Mais (Zea mays)**



27.04.1995 EC Sigma° (dB):-10.80



07.05.1995 EC Sigma° (dB):-10.29



02.06.1995 EC Sigma° (dB):-6.80



20.06.1995 EC Sigma° (dB):-9.95



16.07.1995 EC Sigma° (dB):-6.63



25.07.1995 EC Sigma° (dB):-10.04



10.08.1995 EC Sigma° (dB):-10.83



14.09.1995 EC Sigma° (dB):-8.40



19.10.1995 EC - Sigma° (dB):-9.95

**Abb. A7: Feld 76.2: Intensive Nutzung Hafer (Avena sativa)**



27.04.1995 EC Sigma° (dB):-11.17



07.05.1995 EC Sigma° (dB):-8.43



02.06.1995 EC 37 Sigma° (dB):-9.91



20.06.1995 EC 55 Sigma° (dB):-13.41



06.07.1995 EC 75 Sigma° (dB):-13.57



16.07.1995 EC 73 Sigma° (dB):-7.01



25.07.1995 EC 78 Sigma° (dB):-11.55



10.08.1995 EC -- Sigma° (dB):-11.90



14.09.1995 Sigma° (dB):-5.83



19.10.1995 EC - Sigma° (dB):-9.51

**Abb. A8: Feld 53.1: Intensive Nutzung Sommerweizen (*Triticum aestivum*)**



27.04.1995 EC Sigma° (dB):-8.16



07.05.1995 EC Sigma° (dB):-10.42



02.06.1995 EC 31 Sigma° (dB):-3.82



20.06.1995 EC 59 Sigma° (dB):-7.03



06.07.1995 EC 71 Sigma° (dB):-8.27



16.07.1995 EC 75 Sigma° (dB):-8.17



25.07.1995 EC 78 Sigma° (dB):-8.70



10.08.1995 EC -- Sigma° (dB):-8.71



23.11.1995 EC - Sigma° (dB):-4.45

**Abb. A9: Feld 265: Extensive Nutzung - Stilllegung (*Phacelia tanacetifolia*)**



27.04.1995 Sigma° (dB):-13.61



07.05.1995 Sigma° (dB):-12.81



02.06.1995 Sigma° (dB):-5.22



20.06.1995 Sigma° (dB):-9.28



06.07.1995 Sigma° (dB):-9.24



16.07.1995 Sigma° (dB):-10.83



25.07.1995 Sigma° (dB):-7.92



10.08.1995 Sigma° (dB):-11.59

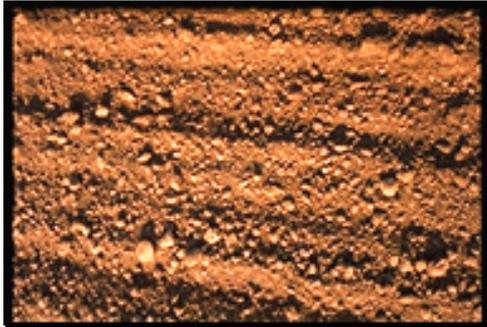


14.09.1995 Sigma° (dB):-4.55



19.10.1995 EC 11 WW Sigma° (dB):-8.35

**Abb. A10: Feld 84.1: Extensive Nutzung - Stilllegung (Phacelia tanacetifolia)**



27.04.1995 Sigma° (dB):-11.41



07.05.1995 Sigma° (dB):-11.84



02.06.1995 Sigma° (dB):-5.25



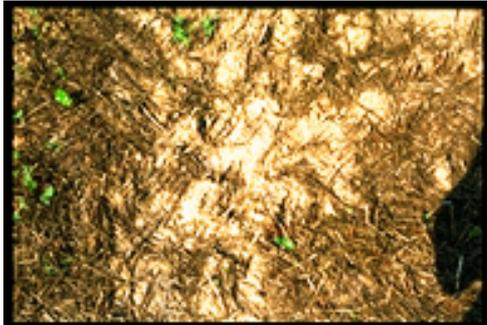
20.06.1995 Sigma° (dB):-9.17



06.07.1995 Sigma° (dB):-9.34



16.07.1995 Sigma° (dB):-8.16



25.07.1995 Sigma° (dB):-10.62



10.08.1995 Sigma° (dB):-11.89



14.09.1995 Sigma° (dB): -5.48



19.10.1995 Sigma° (dB): -5.29

Abb. A11: Feld 53.2: Extensive Nutzung 1 jähr. Stilllegung Leguminose (RL)



27.04.1995 Sigma° (dB):-4.47



07.05.1995 Sigma° (dB):-10.84



02.06.1995 Sigma° (dB):-5.91



20.06.1995 Sigma° (dB):-9.43



06.07.1995 Sigma° (dB):-8.09



16.07.1995 Sigma° (dB):-8.93



25.07.1995 Sigma° (dB):-9.91



10.08.1995 Sigma° (dB):-9.89



14.09.1995 Sigma° (dB):-10.41



19.10.1995 EC 11 WW Sigma° (dB):-8.12

**Abb. A12: Feld 54.1: Extensive Nutzung 1 jähr. Stilllegung Leguminose (RL)**



27.04.1995       $\text{Sigma}^\circ$  (dB):-11.67



07.05.1995       $\text{Sigma}^\circ$  (dB):-10.21



02.06.1995       $\text{Sigma}^\circ$  (dB):-11.36



20.06.1995       $\text{Sigma}^\circ$  (dB):-5.42



06.07.1995       $\text{Sigma}^\circ$  (dB):-7.16



16.07.1995       $\text{Sigma}^\circ$  (dB):-10.26



25.07.1995       $\text{Sigma}^\circ$  (dB):-10.73



10.08.1995       $\text{Sigma}^\circ$  (dB):-9.42



14.09.1995       $\text{Sigma}^\circ$  (dB):-9.92



19.10.1995       $\text{Sigma}^\circ$  (dB):-8.19

**Abb. A13: Feld 268: Extensive Nutzung Dauerbrache Leguminose (DB)**



27.04.1995

Sigma° (dB):-11.39



07.05.1995

Sigma° (dB):-10.54



02.06.1995

Sigma° (dB):-10.20



20.06.1995

Sigma° (dB):-9.63



06.07.1995

Sigma° (dB):-11.03



16.07.1995

Sigma° (dB):-10.50



25.07.1995

Sigma° (dB):-11.32



10.08.1995

Sigma° (dB):-11.92



14.09.1995

Sigma° (dB):-12.17



19.10.1995

Sigma° (dB):-12.18

**Abb. A14: Feld 312: Extensive Nutzung Dauerbrache begrünt (DB)**



27.04.1995 Sigma° (dB):-10.65



07.05.1995 Sigma° (dB):-12.85



02.06.1995 Sigma° (dB):-9.07



20.06.1995 Sigma° (dB):-11.85



06.07.1995 Sigma° (dB):-11.37



16.07.1995 Sigma° (dB):-10.18



25.07.1995 Sigma° (dB):-11.77



10.08.1995 Sigma° (dB):-12.76



14.09.1995 Sigma° (dB):-10.71



19.10.1995 Sigma° (dB):-11.60

**Abb. A15: Feld 2 Ost: Extensive Nutzung Wiese (Wi)**



27.04.1995

Sigma° (dB):-8.03



07.05.1995

Sigma° (dB):-9.94



02.06.1995

Sigma° (dB):-9.98



20.06.1995

Sigma° (dB):-9.18



06.07.1995

Sigma° (dB):-8.40



25.07.1995

Sigma° (dB):-9.84



14.09.1995

Sigma° (dB):-9.50



19.10.1995

Sigma° (dB):-9.16

**Abb. A16: Feld 133: Extensive Nutzung Weide (We)**



27.04.1995 Sigma° (dB):-9.95



07.05.1995 Sigma° (dB):-9.13



02.06.1995 Sigma° (dB):-9.93



20.06.1995 Sigma° (dB):-9.31



06.07.1995 Sigma° (dB):-9.97



16.07.1995 Sigma° (dB):-7.65



25.07.1995 Sigma° (dB):-9.36



10.08.1995 Sigma° (dB):-12.19



14.09.1995 Sigma°! (dB): -11.80



19.10.1995 Sigma° (dB):-10.65

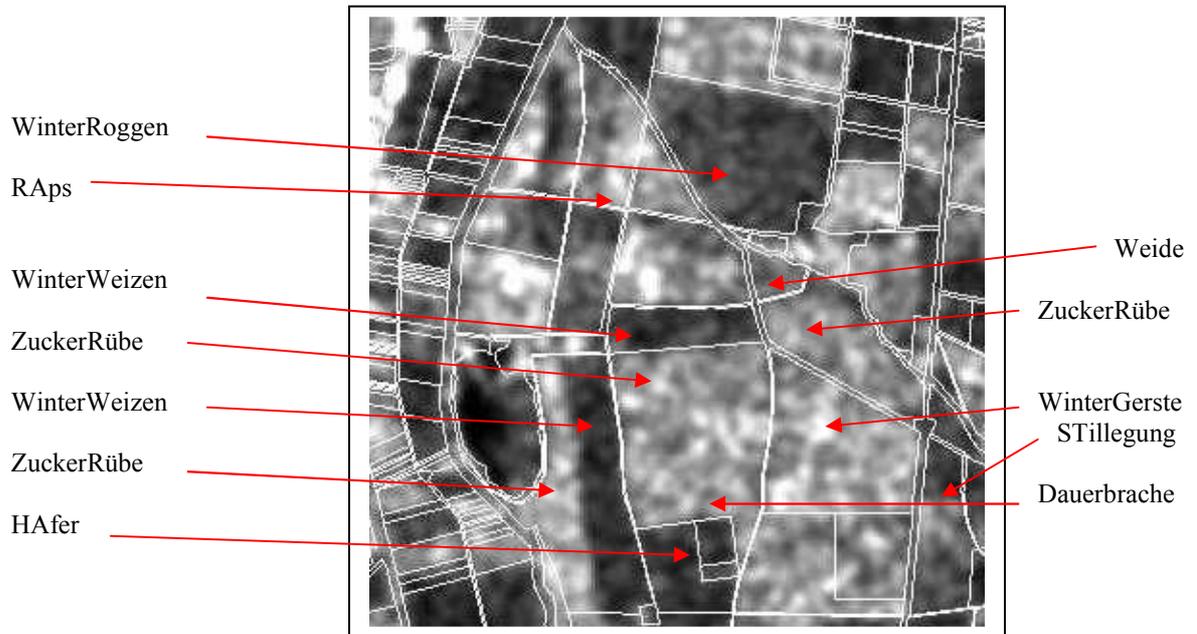


Abb. A17: ERS-Aufnahme vom 06.07.1995 mit überlagerten Schlaggrenzen (DGK5) und Nutzung, Ausschnitt 2km x 2km.

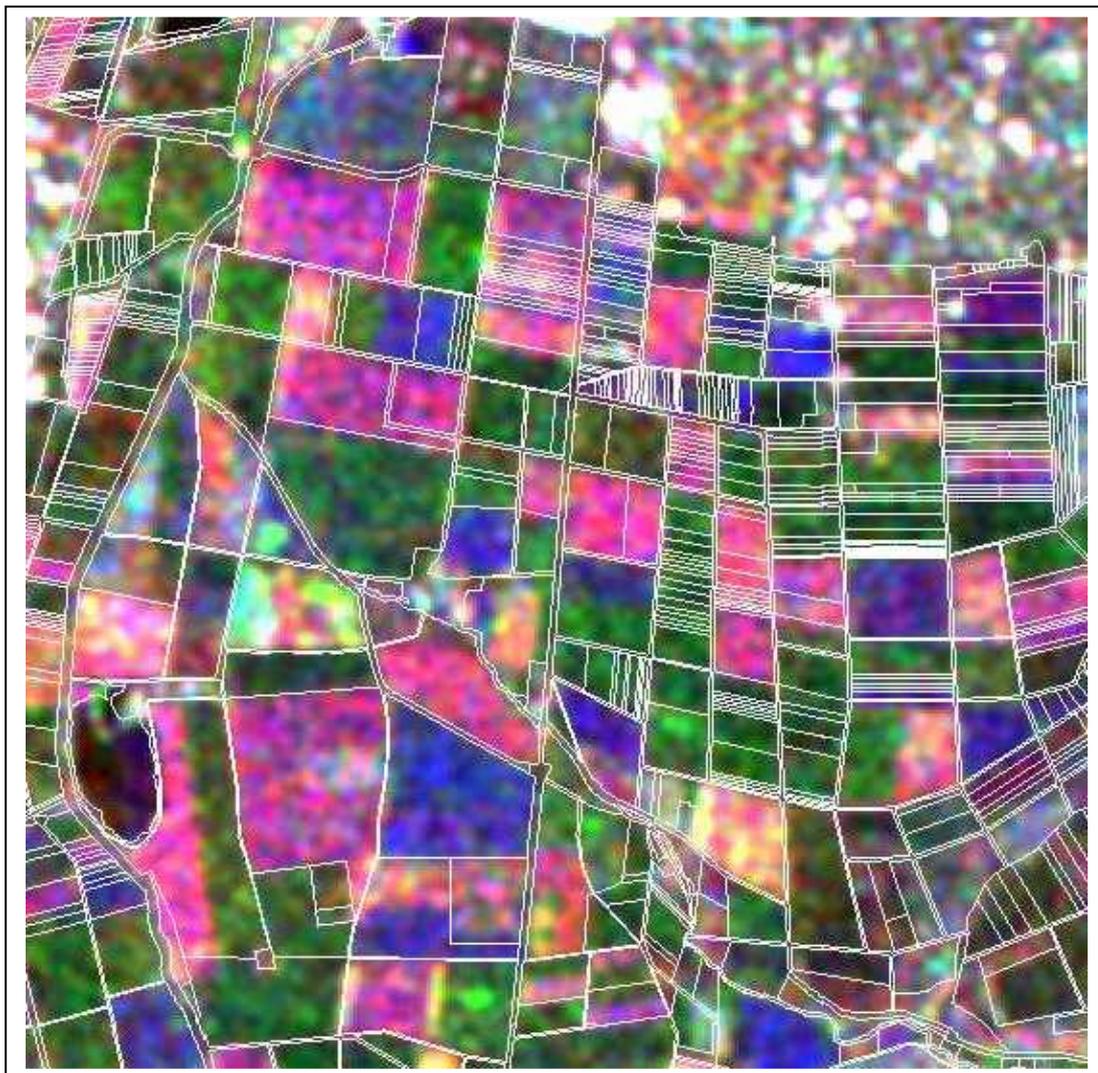


Abb. A18: Multitemporale ERS-Farbkomposite (R: 01.06.95, G: 27.04.95, B: 06.07.95) mit überlagerten Schlaggrenzen (DGK5); Ausschnitt 4km x 4km.

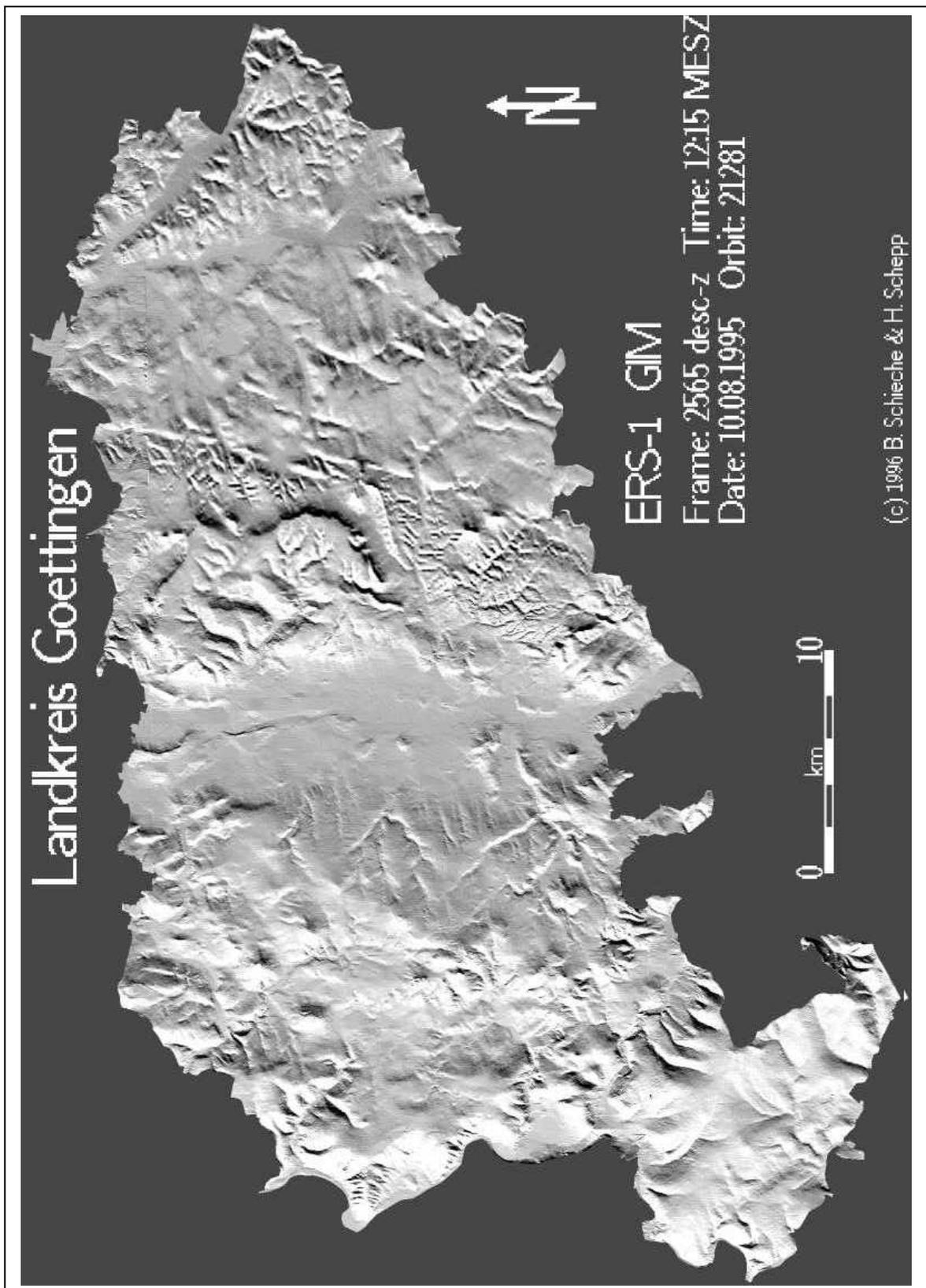
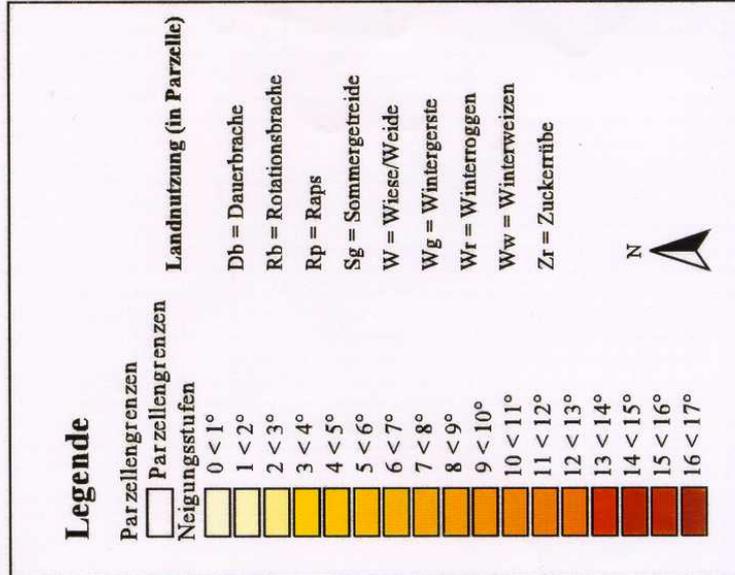


Abb. A19: ERS-GIM vom 10.08.1995, maskiert mit den Grenzen des Landkreises Göttingen, zur absteigende Umlaufbahn invertiert „beleuchtet“.

# Diemarden-West (4525/05)

Karte der automatisch ermittelten  
Hangneigungsclassen,  
überlagert mit Parzellengrenzen

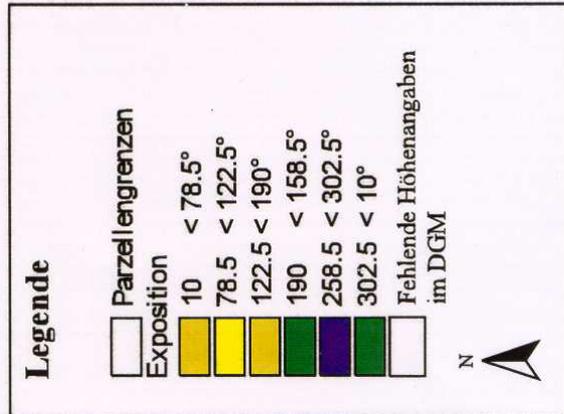


Datengrundlage:  
-DGK 5 B Landesverwaltungsamt Hannover, Abteilung Landesvermessung  
Blatt 4525/05 (abdigitalisiert)  
-DGM 5 Landesverwaltungsamt Hannover, Abteilung Landesvermessung  
Blatt 4525/05  
Software:  
-Arc/Info  
-SARA (System zur Automatischen Relief-Analyse)



Abb. A20: Karte (DGK5 Blatt: 4525/05) der automatisch ermittelten Hangneigungsclassen, überlagert mit Schlaggrenzen; untersuchte Rapsschläge weiss umkreist.

**Diemarden-West (4525/05)**  
 Karte der automatisch ermittelten  
 Expositionsbereiche  
 (Beleuchtungsrichtung des ERS-1  
 bei absteigender Bahn aus ca. 100°),  
 überlagert mit Parzellengrenzen



Datengrundlage:  
 DGM 5, Landesverwaltungsamt Hannover, Abteilung Landesvermessung  
 Blatt 4525/05  
 DGK 5, Landesverwaltungsamt Hannover, Abteilung Landesvermessung  
 Software:  
 -Arc/Info  
 -SARA-System zur Automatischen Relief-Analyse

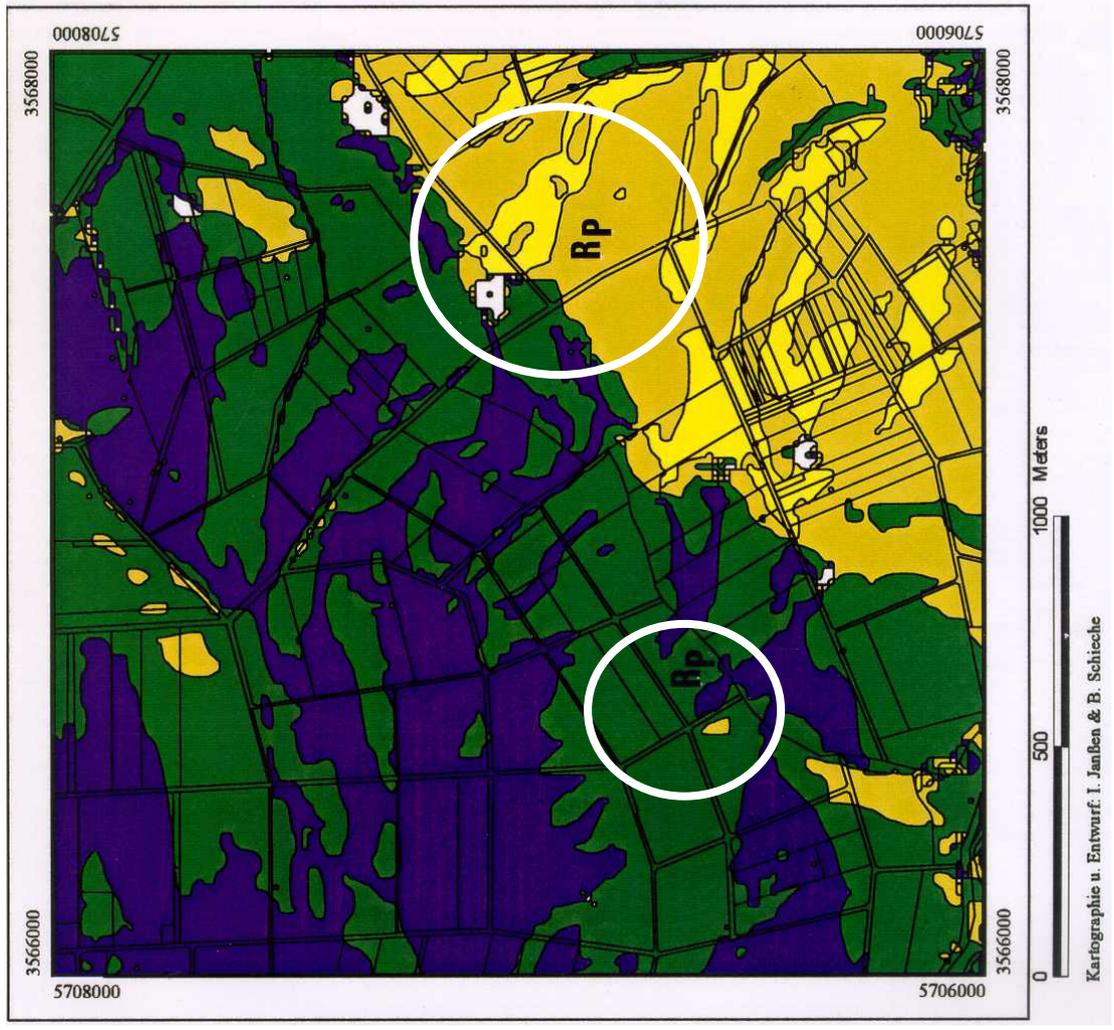


Abb. A21: Karte (DGK5 Blatt: 4525/05) der automatisch ermittelten Expositionsbereiche, überlagert mit Schlaggrenzen; untersuchte Rapsschläge weiss umkreist.

## **13.2 Anhang B – Tabellen**

<b>Feld 2e Wiese</b>	Sigma in dB	Biomasse feucht g/m	Biomasse trocken g/m	Wasser- gehalt g/m	Wasser- gehalt %	Bio- masse %	Wuchs- höhe cm	Bedeckung in %	N 168 Std in mm	N 96 Std in mm	N 48 Std in mm	N 24 Std in mm	N 12 Std in mm	N 6 Std in mm	Bf 5 cm Gew. % *	Bf 15 cm Gew. % **	Bf 30 cm Gew. % **	Hangnei- gung Grad	Exposi- tion Grad
27.04.95	-8,03	1379,6	210,8	1168,8	84,7	15,3	10,0	100,0	2,5	2,5	2,3	0,0	0,0	0,0	21,7	22,0	19,4	0,0	0,0
07.05.95	-9,94	1112,4	419,2	693,2	62,3	37,7	5,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8	16,0	17,9	0,0	0,0
02.06.95	-9,98	2164,0	284,0	1880,0	86,9	13,1	20,0	100,0	53,7	35,7	30,5	23,8	23,7	8,0	19,8	16,9	18,8	0,0	0,0
20.06.95	-9,18	3403,2	635,2	2768,0	81,3	18,7	45,0	100,0	4,7	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	18,4	17,4	19,2	0,0	0,0
06.07.95	-8,40	898,4	209,6	688,8	76,7	23,3	7,5	100,0	11,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8	14,3	17,3	0,0	0,0
16.07.95	-8,34	1791,2	394,4	1396,8	78,0	22,0	10,0	100,0	12,4	12,3	3,0	2,9	0,0	0,0	13,3	14,8	13,7	0,0	0,0
25.07.95	-9,84	1672,8	394,4	1278,4	76,4	23,6	15,0	100,0	6,1	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	12,3	12,4	13,6	0,0	0,0
10.08.95	-10,70	1352,0	490,4	861,6	63,7	36,3	20,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	14,4	13,3	0,0	0,0
14.09.95	-9,50	1772,0	411,2	1360,8	76,8	23,2	20,0	95,0	23,8	19,1	14,0	10,9	1,2	0,0	20,4	19,2	18,2	0,0	0,0
19.10.95	-9,16	861,6	262,0	599,6	69,6	30,4	20,0	95,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,8	18,1	17,9	0,0	0,0
23.11.95	-9,96	635,2	112,0	523,2	82,4	17,6	20,0	95,0	9,7	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	21,6	20,0	0,0	0,0

Tab. B1: Meßwerte der Pflanzenparameter, der Niederschläge, der Bodenfeuchte, der Hangneigung und der Exposition von Feld 2 ost (Wiese).

<b>Feld 2 w Wiese</b>	Sigma in dB	Biomasse feucht g/m	Biomasse trocken g/m	Wasser- gehalt g/m	Wasser- gehalt %	Bio- masse %	Wuchs- höhe cm	Bedeckung in %	N 168 Std in mm	N 96 Std in mm	N 48 Std in mm	N 24 Std in mm	N 12 Std in mm	N 6 Std in mm	Bf 5 cm Gew. % *	Bf 15 cm Gew. % **	Bf 30 cm Gew. % **	Hangnei- gung Grad	Exposi- tion Grad
27.04.95	-9,43	1379,6	210,8	1168,8	84,7	15,3	10,0	100,0	2,5	2,5	2,3	0,0	0,0	0,0	21,7	22,0	19,4	0,0	0,0
07.05.95	-11,54	851,2	240,0	611,2	71,8	28,2	30,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8	16,0	17,9	0,0	0,0
02.06.95	-9,61	2164,0	284,0	1888,0	86,9	13,1	130,0	100,0	53,7	35,7	30,5	23,8	23,7	8,0	19,8	16,9	18,8	0,0	0,0
20.06.95	-7,82	964,8	213,6	751,2	77,9	22,1	7,0	90,3	4,7	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	18,4	17,4	19,2	0,0	0,0
06.07.95	-8,91	1896,0	378,4	1517,6	80,0	20,0	12,5	100,0	11,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8	14,3	17,3	0,0	0,0
16.07.95	-10,40	3071,2	637,6	2433,6	79,2	20,8	40,0	100,0	12,4	12,3	3,0	2,9	0,0	0,0	13,3	14,8	13,7	0,0	0,0
25.07.95	-9,31	1672,8	637,6	1035,2	61,9	38,1	70,0	100,0	6,1	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	12,3	12,4	13,6	0,0	0,0
10.08.95	-10,93	366,8	196,0	170,8	46,6	53,4	5,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	14,4	13,3	0,0	0,0
14.09.95	-9,61	1650,4	355,2	1295,2	78,5	21,5	15,0	95,0	23,8	19,1	14,0	10,9	1,2	0,0	20,4	19,2	18,2	0,0	0,0
19.10.95	-9,73	861,6	262,0	599,6	69,6	30,4	15,0	95,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,8	18,1	17,9	0,0	0,0
23.11.95	-9,34	635,2	112,0	523,2	82,4	17,6	15,0	95,0	9,7	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	21,6	20,0	0,0	0,0

Tab. B2: Meßwerte der Pflanzenparameter, der Niederschläge, der Bodenfeuchte, der Hangneigung und der Exposition von Feld 2 west (Wiese).

<b>Feld 133 Weide</b>	Sigma in dB	Biomasse feucht g/m	Biomasse trocken g/m	Wasser- gehalt g/m	Wasser- gehalt %	Bio- masse %	Wuchs- höhe cm	Bedeckung in %	N 168 Std in mm	N 96 Std in mm	N 48 Std in mm	N 24 Std in mm	N 12 Std in mm	N 6 Std in mm	Bf 5 cm Gew. % *	Bf 15 cm Gew. % **	Bf 30 cm Gew. % **	Hangnei- gung Grad	Exposi- tion Grad
27.04.95	-9,95	1781,2	236,0	1545,2	86,8	13,2	10,0	100,0	2,5	2,5	2,3	0,0	0,0	0,0	21,7	22,0	19,4	3,0	280,0
07.05.95	-9,13	2704,8	456,8	2248,0	83,1	16,9	17,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8	16,0	17,9	3,0	280,0
02.06.95	-9,93	4924,8	649,6	4275,2	86,8	13,2	45,0	100,0	53,7	35,7	30,5	23,8	23,7	8,0	19,8	16,9	18,8	3,0	280,0
20.06.95	-9,31	2509,6	500,8	2008,8	80,0	20,0	20,0	100,0	4,7	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	18,4	17,4	19,2	3,0	280,0
06.07.95	-9,97	2604,0	700,8	1903,2	73,1	26,9	15,0	100,0	11,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8	14,3	17,3	3,0	280,0
16.07.95	-7,65	2679,2	707,2	1972,0	73,6	26,4	12,5	100,0	12,4	12,3	3,0	2,9	0,0	0,0	13,3	14,8	13,7	3,0	280,0
25.07.95	-9,36	1205,6	504,0	701,6	58,2	41,8	10,0	100,0	6,1	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	12,3	12,4	13,6	3,0	280,0
10.08.95	-12,19	419,2	264,0	155,2	37,0	63,0	3,0	68,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	14,4	13,3	3,0	280,0
14.09.95	-11,80	1996,0	480,8	1515,2	75,9	24,1	7,5	95,0	23,8	19,1	14,0	10,9	1,2	0,0	20,4	19,2	18,2	3,0	280,0
19.10.95	-10,65	861,6	262,4	599,2	69,5	30,5	7,5	95,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,8	18,1	17,9	3,0	280,0
23.11.95	-11,33	532,0	145,6	386,4	72,6	27,4	7,5	95,0	9,7	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	21,6	20,0	3,0	280,0

Tab. B3: Meßwerte der Pflanzenparameter, der Niederschläge, der Bodenfeuchte, der Hangneigung und der Exposition von Feld 133 (Weide).

<b>Feld 268 Dauerbrache</b>	Sigma in dB	Biomasse feucht g/m	Biomasse trocken g/m	Wasser- gehalt g/m	Wasser- gehalt %	Bio- masse %	Wuchs- höhe cm	Bedeckung in %	N 168 Std in mm	N 96 Std in mm	N 48 Std in mm	N 24 Std in mm	N 12 Std in mm	N 6 Std in mm	Bf 5 cm Gew. % *	Bf 15 cm Gew. % **	Bf 30 cm Gew. % **	Hangnei- gung Grad	Exposi- tion Grad
27.04.95	-11,39	2129,2	511,6	1617,6	76,0	24,0	12,5	100,0	2,5	2,5	2,3	0,0	0,0	0,0	21,7	22,0	19,4	6,0	300,0
07.05.95	-10,54	1577,2	345,2	1232,0	78,1	21,9	17,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8	16,0	17,9	6,0	300,0
02.06.95	-10,20	6144,8	776,0	5368,8	87,4	12,6	50,0	100,0	53,7	35,7	30,5	23,8	23,7	8,0	19,8	16,9	18,8	6,0	300,0
20.06.95	-9,63	974,4	355,2	619,2	63,5	36,5	12,0	100,0	4,7	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	18,4	17,4	19,2	6,0	300,0
06.07.95	-11,03	1778,4	498,4	1280,0	72,0	28,0	20,0	100,0	11,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8	14,3	17,3	6,0	300,0
16.07.95	-10,50	3486,4	844,8	2641,6	75,8	24,2	20,0	100,0	12,4	12,3	3,0	2,9	0,0	0,0	13,3	14,8	13,7	6,0	300,0
25.07.95	-11,32	1304,8	484,8	820,0	62,8	37,2	15,0	100,0	6,1	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	12,3	12,4	13,6	6,0	300,0
10.08.95	-11,92	1690,4	708,0	982,4	58,1	41,9	15,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	14,4	13,3	6,0	300,0
14.09.95	-12,17	2737,6	736,0	2001,6	73,1	26,9	15,0	95,0	23,8	19,1	14,0	10,9	1,2	0,0	20,4	19,2	18,2	6,0	300,0
19.10.95	-12,18	1409,0	300,0	1109,0	78,7	21,3	15,0	95,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,8	18,1	17,9	6,0	300,0
23.11.95	-12,34	1348,8	300,8	1048,0	77,7	22,3	15,0	95,0	9,7	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	21,6	20,0	6,0	300,0

Tab. B4: Meßwerte der Pflanzenparameter, der Niederschläge, der Bodenfeuchte, der Hangneigung und der Exposition von Feld 268 (Dauerbrache).

<b>Feld 265 RN Phacelia</b>	Sigma in dB	Biomasse feucht g/m	Biomasse trocken g/m	Wasser- gehalt g/m	Wasser- gehalt %	Bio- masse %	Wuchs- höhe cm	Bedeckung in %	N 168 Std in mm	N 96 Std in mm	N 48 Std in mm	N 24 Std in mm	N 12 Std in mm	N 6 Std in mm	Bf 5 cm Gew. % *	Bf 15 cm Gew. % **	Bf 30 cm Gew. % **	Hangnei- gung Grad	Exposi- tion Grad
27.04.95	-13,61	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	2,5	2,3	0,0	0,0	0,0	21,7	22,0	19,4	4,0	140,0
07.05.95	-12,81	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8	16,0	17,9	4,0	140,0
02.06.95	-5,22	454,4	56,0	398,4	87,7	12,3	17,0	77,1	53,7	35,7	30,5	23,8	23,7	8,0	19,8	16,9	18,8	4,0	140,0
20.06.95	-9,28	2364,0	225,6	2138,4	90,5	9,5	45,0	100,0	4,7	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	18,4	17,4	19,2	4,0	140,0
06.07.95	-9,24	5076,0	708,0	4368,0	86,1	13,9	90,0	100,0	11,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8	14,3	17,3	4,0	140,0
16.07.95	-10,83	4187,2	969,6	3217,6	76,8	23,2	95,0	100,0	12,4	12,3	3,0	2,9	0,0	0,0	13,3	14,8	13,7	4,0	140,0
25.07.95	-7,92	2177,6	628,8	1548,8	71,1	28,9	95,0	100,0	6,1	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	12,3	12,4	13,6	4,0	140,0
10.08.95	-11,59	478,8	264,8	214,0	44,7	55,3	7,5	60,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	14,4	13,3	4,0	140,0
14.09.95	-4,55	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,8	19,1	14,0	10,9	1,2	0,0	20,4	19,2	18,2	4,0	140,0
19.10.95	-8,35	32,0	4,0	28,0	87,5	12,5	11,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,8	18,1	17,9	4,0	140,0
23.11.95	-7,44	126,0	28,0	98,0	77,8	22,2	15,0	10,0	9,7	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	21,6	20,0	4,0	140,0

Tab. B5: Meßwerte der Pflanzenparameter, der Niederschläge, der Bodenfeuchte, der Hangneigung und der Exposition von Feld 265 (Rotationsbrache).

<b>Feld 312 Dauerbrache</b>	Sigma in dB	Biomasse feucht g/m	Biomasse trocken g/m	Wasser- gehalt g/m	Wasser- gehalt %	Bio- masse %	Wuchs- höhe cm	Bedeckung in %	N 168 Std in mm	N 96 Std in mm	N 48 Std in mm	N 24 Std in mm	N 12 Std in mm	N 6 Std in mm	Bf 5 cm Gew. % *	Bf 15 cm Gew. % **	Bf 30 cm Gew. % **	Hangnei- gung Grad	Exposi- tion Grad
27.04.95	-10,65	1324,0	341,6	982,4	74,2	25,8	17,5	100,0	2,5	2,5	2,3	0,0	0,0	0,0	21,7	22,0	19,4	3,0	320,0
07.05.95	-12,85	1912,0	503,2	1408,8	73,7	26,3	30,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8	16,0	17,9	3,0	320,0
02.06.95	-9,07	4462,4	774,4	3688,0	82,6	17,4	80,0	100,0	53,7	35,7	30,5	23,8	23,7	8,0	19,8	16,9	18,8	3,0	320,0
20.06.95	-11,85	5314,4	1259,2	4055,2	76,3	23,7	100,0	100,0	4,7	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	18,4	17,4	19,2	3,0	320,0
06.07.95	-11,37	5652,8	1564,8	4088,0	72,3	27,7	120,0	100,0	11,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8	14,3	17,3	3,0	320,0
16.07.95	-10,18	4904,0	1510,4	3393,6	69,2	30,8	120,0	100,0	12,4	12,3	3,0	2,9	0,0	0,0	13,3	14,8	13,7	3,0	320,0
25.07.95	-11,77	2233,6	1147,2	1086,4	48,6	51,4	115,0	100,0	6,1	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	12,3	12,4	13,6	3,0	320,0
10.08.95	-12,76	1752,0	1280,0	472,0	26,9	73,1	115,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	14,4	13,3	3,0	320,0
14.09.95	-10,71	1722,4	355,2	1367,2	79,4	20,6	12,5	95,0	23,8	19,1	14,0	10,9	1,2	0,0	20,4	19,2	18,2	3,0	320,0
19.10.95	-11,60	1241,6	466,4	775,2	62,4	37,6	12,5	95,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,8	18,1	17,9	3,0	320,0
23.11.95	-10,07	1170,8	510,0	660,8	56,4	43,6	12,5	95,0	9,7	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	21,6	20,0	3,0	320,0

Tab. B6 : Meßwerte der Pflanzenparameter, der Niederschläge, der Bodenfeuchte, der Hangneigung und der Exposition von Feld 312 (Dauerbrache).

46 ZR	Sigma°	BR°	WBzBD	N 168	N 96	N 48	N 24	N 12	N 6	H2O 30	H2O 15	H2O 5	BoRau	D.-K	D.Of	ReiAb	WuHö	EC	FM	PfTm	PfH2O	A/m²	A-G	BStw
27.04.1995 DESC	-6,24	10	88,5	4,9	4,9	4,9	0,0	0,0	0,0	x	x	x	4	0	x	45,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0
07.05.1995 ASC	-9,89	10	71,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	x	4	0,2	x	45,0	3,0	21	x	x	x	x	x	x
01.06.1995 DESC	2,52	10	88,5	58,4	39,7	33,9	13,3	12,8	4,4	x	x	22,4	4	18	10	45,0	10,0	25	0,073	8,2	91,8	8	x	x
20.06.1995 DESC	-5,29	10	88,5	9,2	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	19,3	4	45	30	45,0	12,0	27	0,394	9,7	90,3	8	x	x
06.07.1995 DESC	-5,64	10	88,5	11,5	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	16,2	4	47	90	45,0	30,0	46	1,946	10,2	89,8	8	x	x
16.07.1995 ASC	-6,43	10	71,5	15,0	15,0	4,6	4,3	3,6	0,0	x	x	15,2	4	83	90	45,0	32,0	48	2,844	11,5	88,5	8	x	x
25.07.1995 DESC	-6,39	10	88,5	6,1	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	8,7	4	94	90	45,0	33,0	48	1,292	14,6	85,4	8	x	x
10.08.1995 DESC	-7,78	10	88,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	6,4	4	94	90	45,0	20,0	49	2,89	16,5	83,5	8	x	x
14.09.1995 DESC	-7,50	10	88,5	23,8	19,1	14,0	10,9	1,2	0,0	x	x	21,0	x	94	100	45,0	32,0	49	3,64	12,0	88,0	8		1
19.10.1995 DESC	-7,83	10	88,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	18,8	x	94	100	x	32,0	49	x	x	x	x	0	x
23.11.1995 DESC	-5,25	10	88,5	16,3	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	23,3	x	0	0	x	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0

Tab. B7: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 46 (Zuckerrübe) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.

42 RA Lirajet	Sigma°	BR°	WBzBD	N 168	N 96	N 48	N 24	N 12	N 6	H2O 30	H2O 15	H2O 5	BoRau	D.-K	D.Of	ReiAb	WuHö	EC	FM	PfTm	PfH2O	A/m²	A-G	BStw
27.04.1995 DESC	-5,90	10	88,5	4,9	4,9	4,9	0,0	0,0	0,0	19,4	18,6	x	x	100	x	12,5	80,0	59	2,62	10,0	90,0	61	x	x
07.05.1995 ASC	-8,95	10	71,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,1	14,7	x	x	100	x	12,5	125,0	65	4,02	10,0	90,0	61	x	8
01.06.1995 DESC	-7,50	10	88,5	58,4	39,7	33,9	13,3	12,8	4,4	19,5	20,2	23,9	x	100	100	12,5	150,0	79	4,573	13,3	86,7	61	x	12
20.06.1995 DESC	-5,23	10	88,5	9,2	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,9	18,3	18,9	x	100	100	12,5	145,0	81	10,248	18,2	81,8	48,2	x	15
06.07.1995 DESC	-5,31	10	88,5	11,5	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	15,5	17,4	18,9	x	100	100	12,5	140,0	83	6,368	20,8	79,2	48,2	x	15
16.07.1995 ASC	-7,26	10	71,5	15,0	15,0	4,6	4,3	3,6	0,0	15,6	17,4	18,0	x	100	95	12,5	150,0	91	3,338	41,4	58,6	48,2	x	15
25.07.1995 DESC	-7,07	10	88,5	6,1	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	15,9	14,0	15,0	2,5	28	10	12,5	32,0	0	0,188	67,0	33,0	0	0	0
10.08.1995 DESC	-9,84	10	88,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,2	13,4	11,0	2,5	29	10	12,5	40,0	0	0,592	94,8	5,2	0	0	0
14.09.1995 DESC	-5,76	10	88,5	23,8	19,1	14,0	10,9	1,2	0,0	18,7	19,3	21,6	7,5	0	0	12,5	11,0	x	0,5	47,0	53,0	0	0	0
19.10.1995 DESC	-8,76	10	88,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,2	23,1	19,3	7,5	18	x	12,5	11,0	11	0,032	12,5	87,5	284	0	1
23.11.1995 DESC	-7,42	10	88,5	16,3	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,1	23,8	25,0	7,5	25	x	12,5	15,0	21	0,126	22,2	77,8	284,2	0	1

Tab. B8: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 42 (Raps) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.

41 WW ab 19.10. Wg	Sigma°	BR°	WBzBA	N 168	N 96	N 48	N 24	N 12	N 6	H2O 30	H2O 15	H2O 5	BoRau	D.-K	D.Of	ReiAb	WuHö	EC	FM	PfTm	PfH2O	A/m²	A-G	BStw
27.04.1995 DESC	-9,85	10	88,5	4,9	4,9	4,9	0,0	0,0	0,0	21,0	19,2	x	2,5	79	x	12,5	30,0	31	1,37	16,4	83,6	x	x	x
07.05.1995 ASC	-14,06	10	71,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	18,3	x	2,5	100	x	12,5	45,0	32	1,96	16,4	83,6	267	x	3
01.06.1995 DESC	-13,36	10	88,5	58,4	39,7	33,9	13,3	12,8	4,4	20,5	21,2	22,8	2,5	100	85	12,5	80,0	49	3,417	15,8	84,2	1072	0	6
20.06.1995 DESC	-13,21	10	88,5	9,2	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,0	20,3	20,2	2,5	100	85	12,5	95,0	61	5,54	25,4	74,6	1072,2	1	5
06.07.1995 DESC	-14,24	10	88,5	11,5	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	16,4	16,4	19,9	2,5	100	85	12,5	95,0	78	5,41	31,9	68,1	419,1	1	5
16.07.1995 ASC	-11,93	10	71,5	15,0	15,0	4,6	4,3	3,6	0,0	15,8	15,3	18,9	2,5	100	85	12,5	100,0	80	6,15	39,7	60,3	419,1	1	5
25.07.1995 DESC	-8,88	10	88,5	6,1	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	14,5	16,2	2,5	100	80	12,5	95,0	85	3,774	47,9	52,1	419,1	1	5
10.08.1995 DESC	-10,96	10	88,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,2	15,9	13,6	2,5	100	40	12,5	15,0	0	1,226	74,7	25,3	0	0	0
14.09.1995 DESC	-5,60	10	88,5	23,8	19,1	14,0	10,9	1,2	0,0	18,6	18,2	21,7	x	x	x	12,5	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0
19.10.1995 DESC	-10,25	10	88,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,8	19,8	15,9	x	x	x	12,5	14,0	21	0,154	13,0	87,0	270	0	1
23.11.1995 DESC	-8,28	10	88,5	16,3	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,5	22,1	23,0	x	x	x	12,5	10,0	25	0,208	22,1	77,9	269,6	0	1

Tab. B9: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 41 (Winterweizen) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.

38 WG ab 14. 9. Ra	Sigma°	BR°	WBzBD	N 168	N 96	N 48	N 24	N 12	N 6	H2O 30	H2O 15	H2O 5	BoRau	D.-K	D.Of	ReiAb	WuHö	EC	FM	PfTm	PfH2O	A/m²	A-G	BStw
27.04.1995 DESC	-11,49	10	88,5	4,9	4,9	4,9	0,0	0,0	0,0	21,4	19,4	x	2,5	93	x	12,5	30,0	32	1,56	13,6	86,4	x	x	x
07.05.1995 ASC	-14,50	10	71,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,5	17,7	x	2,5	100	x	12,5	50,0	43	2,14	13,6	86,4	272	x	5
01.06.1995 DESC	-11,40	10	88,5	58,4	39,7	33,9	13,3	12,8	4,4	20,1	20,9	23,6	2,5	100	85	12,5	105,0	71	2,368	18,7	81,3	1040	30	5
20.06.1995 DESC	-8,92	10	88,5	9,2	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,8	20,4	20,6	2,5	100	85	12,5	95,0	85	4,934	30,6	69,4	1091,6	60	5
06.07.1995 DESC	-7,73	10	88,5	11,5	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	14,7	15,4	18,3	2,5	100	80	12,5	35,0	87	2,869	43,5	56,5	578,6	90	5
16.07.1995 ASC	-8,63	10	71,5	15,0	15,0	4,6	4,3	3,6	0,0	16,3	15,8	19,0	2,5	100	80	12,5	95,0	92	2,2	66,5	33,5	578,6	70	5
25.07.1995 DESC	-8,88	10	88,5	6,1	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	19,6	19,0	18,2	2,5	63	40	12,5	12,0	0	0,238	48,7	51,3	0	0	0
10.08.1995 DESC	-8,88	10	88,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,7	13,3	15,5	2,5	100	40	12,5	15,0	0	0,238	48,7	51,3	0	0	0
14.09.1995 DESC	-4,46	10	88,5	23,8	19,1	14,0	10,9	1,2	0,0	18,3	17,9	20,3	x	25	x	12,5	4,0	21	0,042	14,3	85,7	78	0	1
19.10.1995 DESC	-6,66	10	88,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,4	19,1	16,5	x	x	x	12,5	24,0	23	0,904	9,1	90,9	78	0	1
23.11.1995 DESC	-6,62	10	88,5	16,3	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,4	20,9	22,9	x	x	x	12,5	18,0	22	0,104	14,8	85,2	77,8	0	1

Tab. B10: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 38 (Wintergerste) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.

26 Ha Jumbo	Sigma°	BR°	WBzBD	N 168	N 96	N 48	N 24	N 12	N 6	H2O 30	H2O 15	H2O 5	BoRau	D.-K	D.Of	ReiAb	WuHö	EC	FM	PfTm	PfH2O	A/m²	A-G	BStw
27.04.1995 DESC	-7,28	10	88,5	4,9	4,9	4,9	0,0	0,0	0,0	x	x	x	4	6	x	12,5	10,0	12	x	16,1	83,9	x	x	x
07.05.1995 ASC	-10,30	10	71,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	x	4	8	x	12,5	7,0	21	0,03	16,1	83,9	244	x	3
01.06.1995 DESC	-9,71	10	88,5	58,4	39,7	33,9	13,3	12,8	4,4	x	x	20,3	4	91	70	12,5	68,0	37	1,072	10,8	89,2	620	x	4
20.06.1995 DESC	-11,73	10	88,5	9,2	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	16,8	4	100	85	12,5	105,0	55	3,648	18,8	81,2	620,2	x	5
06.07.1995 DESC	-13,14	10	88,5	11,5	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	14,5	4	100	85	12,5	120,0	75	4,08	23,8	76,2	340,8	x	5
16.07.1995 ASC	-11,22	10	71,5	15,0	15,0	4,6	4,3	3,6	0,0	x	x	15,6	4	100	85	12,5	115,0	73	4,272	34,8	65,2	340,8	x	5
25.07.1995 DESC	-11,12	10	88,5	6,1	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	15,6	4	100	85	12,5	118,0	78	2,87	44,2	55,8	340,8	x	5
10.08.1995 DESC	-9,97	10	88,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	7,6	2,5	79	40	12,5	15,0	0	0,5	87,1	12,9	0	0	0
14.09.1995 DESC	-4,54	10	88,5	23,8	19,1	14,0	10,9	1,2	0,0	x	x	18,5	x	25	x	12,5	14,0	0	0,148	44,6	55,4	x	x	x
19.10.1995 DESC	-9,13	10	88,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	16,3	x	x	x	x	0,0	0	x	x	x	x	0	x
23.11.1995 DESC	-4,62	10	88,5	16,3	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	22,8	7,5	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x

Tab. B11: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 26 (Hafer) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.

53.1 SW ab 19.10. RL	Sigma°	BR°	WBzBD	N 168	N 96	N 48	N 24	N 12	N 6	H2O 30	H2O 15	H2O 5	BoRau	D.-K	D.Of	ReiAb	WuHö	EC	FM	PfTm	PfH2O	A/m²	A-G	BStw	
27.04.1995 DESC	-8,16	10	88,5	4,9	4,9	4,9	0,0	0,0	0,0	x	x	x	2,5	18	x	12,5	8,0	12	x	x	x	x	x	x	
07.05.1995 ASC	-10,42	10	71,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	x	2,5	25	x	12,5	10,0	25	x	x	x	x	x	2	
01.06.1995 DESC	-3,82	10	88,5	58,4	39,7	33,9	13,3	12,8	4,4	x	x	20,6	2,5	87	55	12,5	45,0	31	0,588	15,3	84,7	698	0	6	
20.06.1995 DESC	-7,03	10	88,5	9,2	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	19,4	2,5	100	80	12,5	75,0	59	2,598	19,9	80,1	698	1	5	
06.07.1995 DESC	-8,27	10	88,5	11,5	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	17,4	2,5	97	80	12,5	95,0	71	2,148	33,0	67,0	475,2	1	5	
16.07.1995 ASC	-8,17	10	71,5	15,0	15,0	4,6	4,3	3,6	0,0	x	x	16,7	2,5	97	85	12,5	100,0	75	2,708	39,7	60,3	475,2	1	5	
25.07.1995 DESC	-8,70	10	88,5	6,1	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	10,5	2,5	97	80	12,5	100,0	78	2,336	48,0	52,0	475,2	1	5	
10.08.1995 DESC	-8,71	10	88,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	6,6	2,5	36	80	12,5	15,0	0	0,418	84,0	16,0	0	0	0	
14.09.1995 DESC	-3,12	10	88,5	23,8	19,1	14,0	10,9	1,2	0,0	x	x	19,5	7,5	100	x	12,5	12,0	x	0,158	79,8	20,2	x	x	x	
19.10.1995 DESC	-7,95	100	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	16,2	7,5	0	x	x	0,0	0	x	x	x	x	0	x	
23.11.1995 DESC	-4,45	100	1,5	16,3	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	20,1	7,5	0	0	12,5	0,0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0

Tab. B12: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 53.1 (Sommerweizen) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.

84.2 SG	Sigma°	BR°	WBzBA	N 168	N 96	N 48	N 24	N 12	N 6	H2O 30	H2O 15	H2O 5	BoRau	D.-K	D.Of	ReiAb	WuHö	EC	FM	PfTm	PfH2O	A/m²	A-G	BStw
27.04.1995 DESC	-6,32	10	88,5	4,9	4,9	4,9	0,0	0,0	0,0	x	x	x	3	18	x	14,7	8,0	12	x	x	x	x	x	x
07.05.1995 ASC	-9,78	10	71,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	x	3	25	x	14,7	10,0	21	x	x	x	x	x	1
01.06.1995 DESC	-5,82	10	88,5	58,4	39,7	33,9	13,3	12,8	4,4	x	x	20,1	3	87	55	14,7	24,0	29	0,375	12,8	87,2	1393	0	2
20.06.1995 DESC	-8,52	10	88,5	9,2	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	17,5	3	100	80	14,7	40,0	51	1,616	16,1	83,9	1393	0	4
06.07.1995 DESC	-10,98	10	88,5	11,5	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	16,8	3	74	80	14,7	80,0	85	2,704	25,4	74,6	1098,2	30	5
16.07.1995 ASC	-7,45	10	71,5	15,0	15,0	4,6	4,3	3,6	0,0	x	x	14,2	3	98	85	14,7	65,0	78	2,12	37,9	62,1	1098,2	10	5
25.07.1995 DESC	-10,33	10	88,5	6,1	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	11,1	3	81	80	14,7	72,0	85	1,778	47,2	52,8	1098,2	60	5
10.08.1995 DESC	-11,69	10	88,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	8,9	2,5	72	80	14,7	50,0	91	0,742	87,8	12,2	1098	60	4
14.09.1995 DESC	-4,94	10	88,5	23,8	19,1	14,0	10,9	1,2	0,0	x	x	18,8	4	x	x	12,5	11,0		0,126	44,4	55,6	x	x	x
19.10.1995 DESC	-10,06	10	88,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	15,5	4	x	x	x	8,0	x	x	x	x	x	0	x
23.11.1995 DESC	-6,21	10	88,5	16,3	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	19,4	4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tab. B13: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 84.2 (Sommergerste) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.

47s RL	Sigma°	BR°	WBzBD	N 168	N 96	N 48	N 24	N 12	N 6	H2O 30	H2O 15	H2O 5	BoRau	D.-K	D.Of	ReiAb	WuHö	EC	FM	PfTm	PfH2O	A/m²	A-G	BStw
27.04.1995 DESC	-11,65	100	1,5	4,9	4,9	4,9	0,0	0,0	0,0	x	x	x	2,5	100	x	12,5	40,0	x	x	x	x	x	x	x
07.05.1995 ASC	-11,03	100	18,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	x	2,5	18	x	12,5	20,0	x	x	x	x	x	x	x
01.06.1995 DESC	-8,33	100	1,5	58,4	39,7	33,9	13,3	12,8	4,4	x	x	25,8	2,5	100	30	12,5	19,0	x	0,331	12,4	87,6	x	x	x
20.06.1995 DESC	-9,81	100	1,5	9,2	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	21,5	2,5	100	45	12,5	60,0	x	1,58	11,7	88,3	x	x	x
06.07.1995 DESC	-11,01	100	1,5	11,5	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	21,2	2,5	100	45	12,5	35,0	x	0,396	21,2	78,8	x	x	x
16.07.1995 ASC	-9,56	100	18,5	15,0	15,0	4,6	4,3	3,6	0,0	x	x	18,1	2,5	100	95	12,5	40,0	x	1,446	18,2	81,8	x	x	2
25.07.1995 DESC	-10,82	100	1,5	6,1	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	13,0	2,5	100	95	12,5	52,0	x	1,048	25,0	75,0	x	x	3
10.08.1995 DESC	-12,03	100	1,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	11,3	5	100	95	12,5	7,0	x	0,43	81,4	18,6	x	x	x
14.09.1995 DESC	-10,57	100	1,5	23,8	19,1	14,0	10,9	1,2	0,0	x	x	23,2	x	x	45	12,5	28,0		0,908	15,2	84,8		x	3
19.10.1995 DESC	-8,66	100	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	21,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x
23.11.1995 DESC	-5,72	100	1,5	16,3	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	25,5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tab. B14: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 47 (Rotationsbrache) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.

37 RL ab 14.9. Ra	Sigma°	BR°	WBzBD	N 168	N 96	N 48	N 24	N 12	N 6	H2O 30	H2O 15	H2O 5	BoRau	D.-K	D.Of	ReiAb	WuHö	EC	FM	PfTm	PfH2O	A/m²	A-G	BStw
27.04.1995 DESC	-8,96	10	88,5	4,9	4,9	4,9	0,0	0,0	0,0	x	x	x	4	0	x	12,5	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0
07.05.1995 ASC	-9,89	10	71,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	x	4	0	x	12,5	0,0	x	0	0,0	0,0	0	0	0
01.06.1995 DESC	-6,32	10	88,5	58,4	39,7	33,9	13,3	12,8	4,4	x	x	23,8	4	28	10	12,5	9,0	x	0,079	13,9	86,1	x	x	x
20.06.1995 DESC	-8,34	10	88,5	9,2	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	18,9	4	26	10	12,5	32,0	x	0,522	12,3	87,7	x	x	x
06.07.1995 DESC	-8,61	10	88,5	11,5	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	19,2	4	100	10	12,5	65,0	x	1,842	17,3	82,7	x	x	x
16.07.1995 ASC	-7,73	10	71,5	15,0	15,0	4,6	4,3	3,6	0,0	x	x	16,9	4	43	18	12,5	8,0	x	0,204	19,6	80,4	x	x	x
25.07.1995 DESC	-9,86	10	88,5	6,1	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	11,5	7,5	0	0	12,5	0,0	x	x	x	x	x	x	x
10.08.1995 DESC	-9,00	10	88,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	2,4	7,5	0	0	12,5	0,0	x	0	0,0	0,0	0	0	0
14.09.1995 DESC	-5,68	10	88,5	23,8	19,1	14,0	10,9	1,2	0,0	x	x	20,5	3	x	x	22,5	5,0	21	0,05	12,0	88,0	65	0	1
19.10.1995 DESC	-3,17	10	88,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	18,3	3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x
23.11.1995 DESC	-4,97	10	88,5	16,3	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	22,8	3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tab. B15: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 37 (Rotationsbrache) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.

44 RL ab 14.9. Ra	Sigma°	BR°	WBzBD	N 168	N 96	N 48	N 24	N 12	N 6	H2O 30	H2O 15	H2O 5	BoRau	D.-K	D.Of	ReiAb	WuHö	EC	FM	PfTm	PfH2O	A/m²	A-G	BStw
27.04.1995 DESC	-8,96	10	88,5	4,9	4,9	4,9	0,0	0,0	0,0	x	x	x	4	4	x	12,5	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0
07.05.1995 ASC	-9,62	10	71,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	x	4	8	x	12,5	0,0	x	0	0,0	0,0	0	0	0
01.06.1995 DESC	-6,75	10	88,5	58,4	39,7	33,9	13,3	12,8	4,4	x	x	22,8	4	51	30	12,5	27,0	x	0,5	9,5	90,5	x	x	x
20.06.1995 DESC	-8,58	10	88,5	9,2	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	20,1	4	97	25	12,5	55,0	x	1,012	12,7	87,3	x	x	x
06.07.1995 DESC	-10,35	10	88,5	11,5	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	15,9	4	100	30	12,5	60,0	x	1,62	24,0	76,0	x	x	x
16.07.1995 ASC	-8,25	10	71,5	15,0	15,0	4,6	4,3	3,6	0,0	x	x	16,8	4	100	80	12,5	85,0	x	1,512	23,3	76,7	x	x	x
25.07.1995 DESC	-8,99	10	88,5	6,1	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	12,5	4	100	80	12,5	72,0	x	1,304	30,6	69,4	x	x	x
10.08.1995 DESC	-8,54	10	88,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	3,2	10	0	0	12,5	0,0	x	0	0,0	0,0	0	0	0
14.09.1995 DESC	-3,70	10	88,5	23,8	19,1	14,0	10,9	1,2	0,0	x	x	21,6	3	x	x	9,7	2,0	15	0,01	20,0	80,0	88	0	1
19.10.1995 DESC	-7,41	10	88,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	17,8	3	x	x	12,5	13,0	21	0,109	10,1	89,9	75	0	1
23.11.1995 DESC	-7,06	10	88,5	16,3	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	22,3	3	x	x	12,5	8,0	21	0,692	15,3	84,7	75,3		1

Tab. B16: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 44 (Rotationsbrache) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.

53.2 RL ab 19.10. WW	Sigma°	BR°	WBzBD	N 168	N 96	N 48	N 24	N 12	N 6	H2O 30	H2O 15	H2O 5	BoRau	D.-K	D.Of	ReiAb	WuHö	EC	FM	PfTm	PfH2O	A/m²	A-G	BStw
27.04.1995 DESC	-4,57	10	88,5	4,9	4,9	4,9	0,0	0,0	0,0	x	x	x	3	0	x	12,5	0,0	x	0	0,0	0,0	0	0	0
07.05.1995 ASC	-10,84	10	71,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	x	3	16	x	12,5	7,0	x	x	x	x	x	x	x
01.06.1995 DESC	-5,91	10	88,5	58,4	39,7	33,9	13,3	12,8	4,4	x	x	22,1	3	100	55	12,5	38,0	x	0,646	10,8	89,2	x	x	x
20.06.1995 DESC	-9,43	10	88,5	9,2	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	17,5	3	100	55	12,5	85,0	x	2,73	14,6	85,4	x	x	x
06.07.1995 DESC	-8,09	10	88,5	11,5	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	16,2	3	100	50	12,5	30,0	x	1,144	16,8	83,2	x	x	x
16.07.1995 ASC	-8,93	10	71,5	15,0	15,0	4,6	4,3	3,6	0,0	x	x	14,1	3	100	85	12,5	75,0	x	2,696	17,1	82,9	x	x	2
25.07.1995 DESC	-9,91	10	88,5	6,1	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	10,3	3	100	85	12,5	80,0	x	0,89	19,6	80,4	x	x	3
10.08.1995 DESC	-9,89	10	88,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	6,6	x	100	100	12,5	0,0	x	0,58	48,3	51,7	x	x	x
14.09.1995 DESC	-10,41	10	88,5	23,8	19,1	14,0	10,9	1,2	0,0	x	x	19,9	x	100	40	12,5	35,0		0,938	21,3	78,7	x	x	3
19.10.1995 DESC	-8,12	10	88,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	17,7	x	3	x	x	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0
23.11.1995 DESC	-1,87	10	88,5	16,3	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	22,2	x	8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tab. B17: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 53.2 (Rotationsbrache) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.

54.1 RL ab 19.10. WW	Sigma°	BR°	WBzBD	N 168	N 96	N 48	N 24	N 12	N 6	H2O 30	H2O 15	H2O 5	BoRau	D.-K	D.Of	ReiAb	WuHö	EC	FM	PfTm	PfH2O	A/m²	A-G	BStw
27.04.1995 DESC	-11,67	x	x	4,9	4,9	4,9	0,0	0,0	0,0	x	x	x	x	100	x	12,5	30,0	x	x	x	x	x	x	x
07.05.1995 ASC	-10,21	x	x	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	x	x	100	x	12,5	20,0	x	x	x	x	x	x	x
01.06.1995 DESC	-11,36	x	x	58,4	39,7	33,9	13,3	12,8	4,4	x	x	22,6	x	100	55	12,5	62,0	x	1,021	12,4	87,6	x	x	x
20.06.1995 DESC	-5,42	x	x	9,2	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	20,3	x	100	55	12,5	10,0	x	0,604	66,5	33,5	x	x	x
06.07.1995 DESC	-7,16	x	x	11,5	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	16,8	x	100	45	12,5	30,0	x	0,55	18,2	81,8	x	x	x
16.07.1995 ASC	-10,26	x	x	15,0	15,0	4,6	4,3	3,6	0,0	x	x	14,7	x	100	65	12,5	70,0	x	1,414	17,7	82,3	x	x	2
25.07.1995 DESC	-10,73	x	x	6,1	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	9,3	x	100	65	12,5	86,0	x	2,53	24,4	75,6	x	x	3
10.08.1995 DESC	-9,42	x	x	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	6,0	7,5	100	95	12,5	8,0	x	0,372	35,6	64,4	x	x	x
14.09.1995 DESC	-9,92	x	x	23,8	19,1	14,0	10,9	1,2	0,0	x	x	18,8	x	100	30	12,5	25,0		0,966	22,1	77,9	x	x	2
19.10.1995 DESC	-8,19	x	x	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	16,6	x	0	x	x	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0
23.11.1995 DESC	-2,21	x	x	16,3	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	21,1	x	5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tab. B18: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 54.1 (Rotationsbrache) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.

84.1 PH ab 19.10. WW	Sigma°	BR°	WBzBD	N 168	N 96	N 48	N 24	N 12	N 6	H2O 30	H2O 15	H2O 5	BoRau	D.-K	D.Of	ReiAb	WuHö	EC	FM	PfTm	PfH2O	A/m²	A-G	BStw
27.04.1995 DESC	-11,41	10	88,5	4,9	4,9	4,9	0,0	0,0	0,0	x	x	x	3	0	x	14,7	0,0	x	0	0,0	0,0	0	0	0
07.05.1995 ASC	-11,48	10	71,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	x	3	60	x	14,7	3,0	x	x	x	x	x	x	x
01.06.1995 DESC	-5,25	10	88,5	58,4	39,7	33,9	13,3	12,8	4,4	x	x	20,4	3	78	x	14,7	13,0	x	0,274	8,4	91,6	546	x	x
20.06.1995 DESC	-9,17	10	88,5	9,2	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	17,3	3	100	x	14,7	45,0	x	2,53	8,7	91,3	546	x	x
06.07.1995 DESC	-9,34	10	88,5	11,5	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	13,4	3	96	x	14,7	70,0	x	4,364	12,8	87,2	546	x	x
16.07.1995 ASC	-8,16	10	71,5	15,0	15,0	4,6	4,3	3,6	0,0	x	x	18,7	2,5	96	2	14,7	5,0	x	0,032	25,0	75,0	x	x	x
25.07.1995 DESC	-10,62	10	88,5	6,1	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	12,5	5	73	2	14,7	11,0	x	0,124	32,3	67,7	x	x	x
10.08.1995 DESC	-11,89	10	88,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	7,8	x	73	20	14,7	25,0	63	0,596	31,3	68,7	x	x	3
14.09.1995 DESC	-5,48	10	88,5	23,8	19,1	14,0	10,9	1,2	0,0	x	x	18,8	x	5	x	x	10,0		0,414	24,4	75,6	x	x	x
19.10.1995 DESC	-5,29	10	88,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	15,5	x	8	x	x		x	x	x	x	x	0	x
23.11.1995 DESC	-6,01	10	88,5	16,3	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	19,4	x	10	x	x		x	x	x	x	x	x	x

Tab. B19: Meßwerte der feldspezifischen Parameter für das Feld 84.1 (Phacelia/Rot.brache) während 11 ERS-1 Überflügen 1995 inklusive Niederschläge.

The GLM Procedure

Number of observations 66  
 Dependent Variable: delta

Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	28.3085279	<b>5.6617056</b>	2.20	0.0661
Error	60	154.4833342	2.5747222		
Corrected Total	65	182.7918621			

R-Square 0.154868  
 Coeff Var -15.85686  
 Root MSE 1.604594  
 delta Mean -10.11924

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Biotrocken	1	13.61715478	13.61715478	5.29	0.0250
Wuchscm	1	5.10618053	5.10618053	1.98	0.1642
Biofeucht	1	7.20549117	7.20549117	2.80	0.0996
Wassergeh	1	2.22672633	2.22672633	0.86	0.3561
BF5feu	1	0.15297512	0.15297512	0.06	0.8083

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Biotrocken	1	2.31081438	2.31081438	0.90	<b>0.3473</b>
Wuchscm	1	5.51240329	5.51240329	2.14	<b>0.1486</b>
Biofeucht	1	2.25691936	2.25691936	0.88	<b>0.3529</b>
Wassergeh	1	2.25029476	2.25029476	0.87	<b>0.3536</b>
BF5feu	1	0.15297512	0.15297512	0.06	<b>0.8083</b>

Parameter	Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	-9.773234589	1.15453614	-8.47	<.0001
Biotrocken	-0.242747936	0.25623486	-0.95	0.3473
Wuchscm	0.015856743	0.01083699	1.46	0.1486
Biofeucht	0.239380650	0.25567968	0.94	0.3529
Wassergeh	-0.239023890	0.25567414	-0.93	0.3536
<b>BF5feu</b>	0.015133779	0.06208721	0.24	<b>0.8083</b>

The GLM Procedure

Dependent Variable: delta

Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	28.1555528	<b>7.0388882</b>	2.78	0.0347
Error	61	154.6363093	2.5350215		
Corrected Total	65	182.7918621			

R-Square 0.154031  
 Coeff Var -15.73413  
 Root MSE 1.592175  
 delta Mean -10.11924

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Biotrocken	1	13.61715478	13.61715478	5.37	0.0238
Wuchscm	1	5.10618053	5.10618053	2.01	0.1609
Biofeucht	1	7.20549117	7.20549117	2.84	0.0969
Wassergeh	1	2.22672633	2.22672633	0.88	0.3523

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Biotrocken	1	2.28971958	2.28971958	0.90	<b>0.3457</b>
Wuchscm	1	5.52780023	5.52780023	2.18	<b>0.1449</b>
Biofeucht	1	2.23382176	2.23382176	0.88	<b>0.3516</b>
Wassergeh	1	2.22672633	2.22672633	0.88	<b>0.3523</b>

Parameter	Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	-9.505719222	0.35562953	-26.73	<.0001
Biotrocken	-0.241596327	0.25420846	-0.95	<b>0.3457</b>
Wuchscm	0.015878342	0.01075276	1.48	<b>0.1449</b>
Biofeucht	0.238102483	0.25364744	0.94	<b>0.3516</b>
<b>Wassergeh</b>	-0.237716568	0.25363948	-0.94	<b>0.3523</b>

Tab. B20: Erster Teil der Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse extensiv genutzter Schläge bei 11 Aufnahmetermen; n=5.

The GLM Procedure					
Dependent Variable: delta					
<b>Source</b>	<b>DF</b>	<b>Sum of Squares</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F Value</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Model	3	25.9288265	<b>8.6429422</b>	3.42	0.0227
Error	62	156.8630356	2.5300490		
Corrected Total	65	182.7918621			
	<b>R-Square</b>	<b>Coeff Var</b>	<b>Root MSE</b>	<b>delta Mean</b>	
	<b>0.141849</b>	-15.71869	1.590613	-10.11924	
<b>Source</b>	<b>DF</b>	<b>Type I SS</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F Value</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Biotrocken	1	13.61715478	13.61715478	5.38	0.0237
Wuchscm	1	5.10618053	5.10618053	2.02	0.1604
Biofeucht	1	7.20549117	7.20549117	2.85	0.0965
<b>Source</b>	<b>DF</b>	<b>Type III SS</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F Value</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Biotrocken</b>	1	24.27780110	24.27780110	9.60	<b>0.0029</b>
<b>Wuchscm</b>	1	3.31020215	3.31020215	1.31	<b>0.2571</b>
<b>Biofeucht</b>	1	7.20549117	7.20549117	2.85	<b>0.0965</b>
	<b>Parameter</b>	<b>Estimate</b>	<b>Standard Error</b>	<b>t Value</b>	<b>Pr &gt;  t </b>
	Intercept	-9.582440660	0.34574022	-27.72	<.0001
	Biotrocken	-0.003348655	0.00108101	-3.10	0.0029
	Wuchscm	0.009809106	0.00857564	1.14	0.2571
	Biofeucht	0.000378544	0.00022431	1.69	0.0965
The GLM Procedure					
Dependent Variable: delta					
<b>Source</b>	<b>DF</b>	<b>Sum of Squares</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F Value</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Model	2	22.6186243	<b>11.3093122</b>	4.45	0.0156
Error	63	160.1732378	2.5424323		
Corrected Total	65	182.7918621			
	<b>R-Square</b>	<b>Coeff Var</b>	<b>Root MSE</b>	<b>delta Mean</b>	
	<b>0.123740</b>	-15.75711	1.594501	-10.11924	
<b>Source</b>	<b>DF</b>	<b>Type I SS</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F Value</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Biotrocken	1	13.61715478	13.61715478	5.36	0.0239
Biofeucht	1	9.00146956	9.00146956	3.54	0.0645
<b>Source</b>	<b>DF</b>	<b>Type III SS</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F Value</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Biotrocken	1	21.48413409	21.48413409	8.45	<b>0.0050</b>
Biofeucht	1	9.00146956	9.00146956	3.54	<b>0.0645</b>
	<b>Parameter</b>	<b>Estimate</b>	<b>Standard Error</b>	<b>t Value</b>	<b>Pr &gt;  t </b>
	Intercept	-9.643885589	0.34237637	-28.17	<.0001
	Biotrocken	-0.002735457	0.00094101	-2.91	0.0050
	Biofeucht	0.000418052	0.00022218	1.88	0.0645
The GLM Procedure					
Class Level Information					
	<b>Class</b>	<b>Levels</b>	<b>Values</b>		
	Brichtng	2	98.5 und 261.5		
Dependent Variable: delta					
<b>Source</b>	<b>DF</b>	<b>Sum of Squares</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F Value</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Model	4	25.9936594	<b>6.4984149</b>	2.53	0.0496
Error	61	156.7982027	2.5704623		
Corrected Total	65	182.7918621			
	<b>R-Square</b>	<b>Coeff Var</b>	<b>Root MSE</b>	<b>delta Mean</b>	
	<b>0.142204</b>	-15.84374	1.603266	-10.11924	
<b>Source</b>	<b>DF</b>	<b>Type I SS</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F Value</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Biotrocken	1	13.61715478	13.61715478	5.30	0.0248
Wuchscm	1	5.10618053	5.10618053	1.99	0.1638
Biofeucht	1	7.20549117	7.20549117	2.80	0.0992
Brichtng	1	0.06483293	0.06483293	0.03	0.8743
<b>Source</b>	<b>DF</b>	<b>Type III SS</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F Value</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Biotrocken	1	23.41835680	23.41835680	9.11	0.0037
Wuchscm	1	3.11374248	3.11374248	1.21	0.2754

Tab. B21: Zweiter Teil der Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse extensiv genutzter Schläge bei 11 Aufnahmeterminen; n=5.

The SAS System

The GLM Procedure

Number of observations 35  
 Dependent Variable: Sigma

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	6	20.74817502	<b>3.45802917</b>	3.43	0.0115
Error	28	28.22921355	1.00818620		
Corrected Total	34	48.97738857			

R-Square **0.423628**      Coeff Var -9.586973      Root MSE 1.004085      Sigma Mean -10.47343

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Bio_feucht	1	0.02804950	0.02804950	0.03	0.8687
Bio_trocken	1	14.29658006	14.29658006	14.18	0.0008
Wuhoe	1	1.43494700	1.43494700	1.42	0.2429
BioH20proz	1	2.53401472	2.53401472	2.51	0.1241
Bedeckungsproz	1	2.14552184	2.14552184	2.13	0.1557
N48	1	0.30906189	0.30906189	0.31	0.5842

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Bio_feucht	1	0.83877724	0.83877724	0.83	0.3695
Bio_trocken	1	3.29037577	3.29037577	3.26	0.0816
Wuhoe	1	1.17926934	1.17926934	1.17	0.2887
BioH20proz	1	0.24713334	0.24713334	0.25	0.6244
Bedeckungsproz	1	2.11151123	2.11151123	2.09	0.1589
N48	1	0.30906189	0.30906189	0.31	0.5842

Parameter	Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	-10.60031492	2.00484434	-5.29	<.0001
Bio_feucht	0.00035689	0.00039127	0.91	0.3695
Bio_trocken	-0.00315377	0.00174573	-1.81	0.0816
Wuhoe	0.00863669	0.00798567	1.08	0.2887
<b>BioH20proz</b>	<b>0.01247626</b>	<b>0.02519933</b>	<b>0.50</b>	<b>0.6244</b>
Bedeckungsproz	-0.05642714	0.03899076	-1.45	0.1589
N48	-0.01486551	0.02684897	-0.55	0.5842

The GLM Procedure

Number of observations 35  
 Dependent Variable: Sigma

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	20.50104169	<b>4.10020834</b>	4.18	0.0056
Error	29	28.47634688	0.98194300		
Corrected Total	34	48.97738857			

R-Square **0.418582**      Coeff Var -9.461375      Root MSE 0.990930      Sigma Mean -10.47343

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Bio_feucht	1	0.02804950	0.02804950	0.03	0.8670
Bio_trocken	1	14.29658006	14.29658006	14.56	0.0007
Wuhoe	1	1.43494700	1.43494700	1.46	0.2365
Bedeckungsproz	1	4.32118133	4.32118133	4.40	0.0448
N48	1	0.42028379	0.42028379	0.43	0.5181

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Bio_feucht	1	3.21001863	3.21001863	3.27	0.0810
Bio_trocken	1	10.87720756	10.87720756	11.08	0.0024
Wuhoe	1	1.28493781	1.28493781	1.31	0.2620
Bedeckungsproz	1	3.92801902	3.92801902	4.00	0.0549
N48	1	0.42028379	0.42028379	0.43	0.5181

Parameter	Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	-9.624115919	0.35823215	-26.87	<.0001
Bio_feucht	0.000493824	0.00027313	1.81	0.0810
Bio_trocken	-0.003800917	0.00114202	-3.33	0.0024
Wuhoe	0.008981075	0.00785110	1.14	0.2620
Bedeckungsproz	-0.066251157	0.03312454	-2.00	0.0549

Tab. B22: Erster Teil der Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse extensiv genutzter Schläge bei sieben Aufnahmetermen; n=5.

The SAS System

The GLM Procedure

Number of observations 35  
 Dependent Variable: Sigma

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	20.08075789	<b>5.02018947</b>	5.21	0.0026
Error	30	28.89663068	0.96322102		
Corrected Total	34	48.97738857			

R-Square **0.410001**      Coeff Var -9.370745      Root MSE 0.981438      Sigma Mean -10.47343

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Bio_feucht	1	0.02804950	0.02804950	0.03	0.8656
Bio_trocken	1	14.29658006	14.29658006	14.84	0.0006
Wuhoe	1	1.43494700	1.43494700	1.49	0.2318
Bedeckungproz	1	4.32118133	4.32118133	4.49	0.0426

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Bio_feucht	1	3.91973724	3.91973724	4.07	0.0527
Bio_trocken	1	14.32105442	14.32105442	14.87	0.0006
Wuhoe	1	0.89600790	0.89600790	0.93	0.3425
Bedeckungproz	1	4.32118133	4.32118133	4.49	0.0426

Parameter	Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	-9.635978359	0.35434587	-27.19	<.0001
Bio_feucht	0.000359353	0.00017814	2.02	0.0527
Bio_trocken	-0.003315519	0.00085986	-3.86	0.0006
<b>Wuhoe</b>	<b>0.006767519</b>	<b>0.00701676</b>	<b>0.96</b>	<b>0.3425</b>
Bedeckungproz	-0.068947669	0.03255227	-2.12	0.0426

The GLM Procedure

Number of observations 35  
 Dependent Variable: Sigma

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	19.18475000	<b>6.39491667</b>	6.65	0.0013
Error	31	29.79263857	0.96105286		
Corrected Total	34	48.97738857			

R-Square **0.391706**      Coeff Var -9.360192      Root MSE 0.980333      Sigma Mean -10.47343

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Bio_feucht	1	0.02804950	0.02804950	0.03	0.8655
Bio_trocken	1	14.29658006	14.29658006	14.88	0.0005
Bedeckungproz	1	4.86012043	4.86012043	5.06	0.0318

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Bio_feucht	1	4.57983746	4.57983746	4.77	0.0367
Bio_trocken	1	14.21761900	14.21761900	14.79	0.0006
Bedeckungproz	1	4.86012043	4.86012043	5.06	0.0318

Parameter	Estimate	Standard Error	t Value	Pr >  t
Intercept	-9.662377274	0.35288931	-27.38	<.0001
<b>Bio_feucht</b>	0.000384314	0.00017605	2.18	<b>0.0367</b>
<b>Bio_trocken</b>	-0.002934762	0.00076301	-3.85	<b>0.0006</b>
<b>Bedeckungproz</b>	-0.072619238	0.03229251	-2.25	<b>0.0318</b>

Tab. B23: Zweiter Teil der Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse extensiv genutzter Schläge bei sieben Aufnahmetermen; n=5.