

Die Erfassung der schlaginternen Verteilung der frischen Biomasse von Wintergerste mittels Radarfernerkundung

STEFAN HAWLITSCHKA, MARIA HAMACHER & WALTER KÜHBAUCH, Bonn

Zusammenfassung: Mit Hilfe von hochauflösenden Radarfernerkundungsdaten wird eine Karte der lokalen Verteilung der Biomasse erstellt. Dabei wird die Korrelation der Radarrückstreuung in der Kombination von L-Band hh und X-Band vv mit der Biomasse von Wintergetreide ausgenutzt. Da Radar nicht auf die Biomasse selbst, sondern auf Leitfähigkeit und Geometrie des Targets reagiert, müssen die störenden durch die Bearbeitungsrichtung hervorgerufenen Streifen, die durch das Foreshortening vergrößerten Hochspannungsmasten und nicht bewirtschaftete, teilweise mit Wasser gefüllte Senken ausmaskiert werden. Diese Bildregionen machen sich mit einer vom Getreide verschiedenen Rückstreuintensität und Textur bemerkbar und konnten automatisch detektiert werden. Der bei einer pixelweisen Umrechnung von Radarrückstreuquerschnitten in Biomasse störende Speckleeffekt wurde mit einem selbstentwickelten Filterverfahren eliminiert.

Summary: *Mapping the distribution of the fresh biomass of winter barley fields by means of radar remote sensing.* A map of the distribution of the fresh biomass within winter barley fields is derived from high resolution radar remote sensing data. A good correlation of the biomass of winter barley with a combination of the backscatter intensities of L-band hh and X-band vv data is found. Because radar does not react directly on the biomass but on the conductivity and geometry of a target some typical effects had to be removed from the data, such as bright stripes showing the row direction, by foreshortening enlarged pylons and not cultivated areas within the fields. These effects are detected by means of different radar backscatter intensities and texture and could be detected automatically. Speckle was eliminated by filtering.

1 Landwirtschaftliche Anwendungen der Radarfernerkundung

Die Radarfernerkundung bietet für die Landwirtschaft Anwendungspotentiale bei (1) der Fruchtartenklassifizierung und (2) der Zustandsbeschreibung von Feldfrüchten.

Da die Helligkeitsvariationen in Radarbildern aufgrund des Speckleeffekts größer sind als die Dynamik zwischen Feldern verschiedener Fruchtarten oder gar Variationen des Radarrückstreuquerschnitts innerhalb von Ackerschlägen, ist eine pixelweise Auswertung der Intensitäten von ungefilterten Bildern ungeeignet. Unter der Voraussetzung, dass die Feldgrenzen bekannt sind, kann der Speckle umgangen werden, indem die mittlere Rückstreuintensität der Felder

zur Klassifikation verwendet wird. Vorausgesetzt wird, dass die Feldgrenzen erst durch Segmentierung der Radardaten bzw. zusätzlicher optischer hochauflösender Fernerkundungsdaten oder durch Feldbegehung mit GPS bestimmt wurden.

Für die Zustandsbeschreibung einzelner Ackerschläge insbesondere der kleinräumigen Variation werden höhere räumliche Auflösungen benötigt, die zur Zeit mit keinen operationellen Systemen zur Verfügung stehen. Für die teilchlagspezifische Bewirtschaftung der Ackerflächen („Precision Farming“, Präzisionspflanzenbau) könnte jedoch die hochauflösende Fernerkundung wertvolle Informationen für ortsgenaue pflanzenbauliche Maßnahmen liefern. Als ein Beispiel soll hier die Anfertigung von Karten der Verteilung vitaler Biomasse in-

nerhalb von Ackerschlägen frühzeitig in der Vegetationsperiode angeführt werden. Damit können mit eindeutigem Ortsbezug Unregelmäßigkeiten innerhalb der Ackerschläge festgestellt werden. Auf diese Weise kann der Landwirt gegebenenfalls mit ortsge-nauen Maßnahmen reagieren, sei es mit Düngung oder mit Pflanzenschutzmaßnahmen.

Bereits heute stehen vielen Landwirten Teilschlaginformationen über die Bodenverhältnisse, die Nährstoffversorgung und das Unkrautauflkommen sowie GIS zur Verfügung. Die aktuelle Ertragsbildung und Vitalität der betreffenden Ackerkulturen folgt einer jahresabhängigen Varianz, die für pflanzenbauliche Maßnahmen aktuell während des Wachstums erfasst werden muss. Dafür bietet Radar hervorragende Möglichkeiten, weil wetterunabhängig der Zustand der Pflanzendecke bereits frühzeitig und über weite Strecken des Wachstums erfasst werden kann. Zu beachten ist jedoch stets, dass das vom Radar gezeichnete Erscheinungsbild keine ursächlichen Informationen enthält und daher mit zusätzlichen Informationsebenen sowie dem Fachwissen und der Beobachtung des Landwirtes verknüpft werden muss. Sind z. B. im Radarbild Vitalitätsverluste zu beobachten, die tatsächlich durch Nährstoffmangel verursacht wurden, könnte anhand dieser Information und mit Anbindung des Düngegerätes an GPS eine ortsbezogene Nachdüngung der Bestände erfolgen.

2 Die Messung von Biomasse mittels Radar

In Zusammenarbeit mit der Firma *Dornier Satellitensysteme GmbH (DSS)* und dem *Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)* wurde mit einem flugzeuggetragenen SAR-Sensor an Wintergersteflächen die schlaginterne Variation der Biomasse mit Ortsbezug, d. h. in einem gebräuchlichen Koordinatensystem festgestellt. Die Versuchsflächen lagen in Mecklenburg-Vorpommern auf dem Betrieb der Neetzower Agrarhof Peenetal GmbH. Verwaltung und Aufbereitung der ortsbezogenen Daten er-

folgte in einem Geographischen Informationssystem (GIS). Das Projekt diente als Vorbereitungsstudie für die Konfiguration des geplanten Erdbeobachtungssatelliten TerraSAR; sie wurde mit dem E-SAR des DLR in der Konfiguration L-Band vollpolarimetrisch sowie Xhh und Xvv vom DLR am 15.4.1999 durchgeführt. Die Daten wurden als SLC und „multilook detected“ sowie geokodiert ausgeliefert. Die Biomasseschätzung erfolgte mit Multilook-Daten mit ca. 2 m Auflösung. Es wurde angenommen, dass die Geokodierung die Statistik der Daten nicht wesentlich verfälscht und eine Filterung nicht beeinträchtigt.

Für die Untersuchungen standen in der Vegetationsperiode 1999 drei aneinandergrenzende Wintergersteflächen zur Verfügung. Die Flächen zeigten bereits in den Vorjahren inhomogenen Bewuchs. Aus drei optischen Landsat-Szenen der vergangenen Jahre wurden 16 Teilflächen innerhalb der drei Schläge bestimmt, die in sich homogene Rückstreuereigenschaften in allen Datensätzen zeigten, untereinander jedoch unterschiedliches Rückstreuverhalten aufwiesen. Annähernd zeitgleich zur Überfliegung (+/- 1 Std.) wurden in der Mitte dieser Teilflächen in einem 20 m Raster Pflanzen- und Bodenproben (jeweils an vier Stellen) entnommen. Bestimmt wurde die frische und die trockene Biomasse sowie die Bodenfeuchte der oberen 4 cm. Die Auswertung dieser „ground truth“-Daten zeigte, dass die Biomasse innerhalb der vier Messstellen von 14 der 16 Teilflächen eine geringe Varianz aufwies, also jeweils ein homogener Bewuchs vorlag. Eine der Messflächen zeigte in den Radardaten inhomogenes Rückstreuverhalten. Diese Fläche sowie die zwei Teilflächen mit inhomogenem Bewuchs wurden aus der weiteren Untersuchung ausgeschlossen. In den verbleibenden 13 Messflächen wurden die Bodendaten mit den Radardaten korreliert.

Die Bodenerhebungen wurden folgendermaßen durchgeführt: An den Eckpunkten eines Quadrates mit 20 m Kantenlänge wurde jeweils eine Pflanzen- und eine Bodenprobe genommen. Für die Biomasseerhebung wurden Stichproben erstellt, indem je-

weils von 0,5 m Metern einer Getreidereihe der oberirdische Aufwuchs geerntet wurde. Von der Lufa (Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt) in Rostock wurde mit dem Pflanzenmaterial die feuchte und nach Trocknung bis zur Gewichtskonstanz die trockene Biomasse pro m^2 ermittelt. Zur Bestimmung der Bodenfeuchte wurde die Stechzylindermethode angewandt, die nach unseren Erfahrungen die robustesten Ergebnisse liefert. Der Stechzylinder wird mit den Händen oder vorsichtig mit dem Fuß bündig in den Boden gedrückt und dann mit einer kleinen Schaufel aus dem Boden entfernt. Am unteren Rand wird überstehendes Bodenmaterial entfernt und der Inhalt des Zylinders in einen Plastikbeutel entleert. Die prozentuale Bodenfeuchtigkeit wurde durch Trocknung der Bodenproben an der Lufa Rostock ermittelt.

Bezüglich der Reaktion von Radarwellen mit den Getreidepflanzen ist von folgender Vorstellung auszugehen: Vertikal polarisierte Mikrowellen können mit den weitgehend senkrechten Pflanzenteilen von Getreide (Stängel) sehr gut interagieren, während horizontal polarisierte Wellen weitgehend unbeeinflusst bleiben und tiefer in den Bestand eindringen. Es zeigt sich bei der vertikalen Polarisation eine Absorptionsdämpfung an den Stängeln, die mit zunehmender Biomasse stärker wird. Das zeigt sich z. B. beim C-Band des ERS (HAMACHER et al. 2000) und auch bei Scatterometermessungen im X- und C-Band (GNOSA 1997). FERRAZOLLI & GUERRIERO (1994) fanden unter Verwendung des L- und des P-Bandes, dass bei offenem Boden $\sigma_{vv} > \sigma_{hh}$, bei Pflanzenbeständen jedoch umgekehrt $\sigma_{vv} < \sigma_{hh}$ gilt. Dies wurde von STEINGESSER & KÜHBAUCH (1998) ausgenutzt, um mit dem Parameter Lhh/Lvv die Biomasse von Mais und Wintergerste abzuschätzen.

Dieser Ansatz wurde in den vorliegenden Untersuchungen ebenfalls angewendet. Allerdings zeigte sich hier, dass nicht Lhh/Lvv sondern Lhh/Xvv die höchsten Korrelationen zur Pflanzenbiomasse bot. Dies ist in der ersten Grafik von Abb. 1 dargestellt. Hier wurde im logarithmischen Maßstab der kalibrierten dB-Werte Lhh-Xvv [dB] als

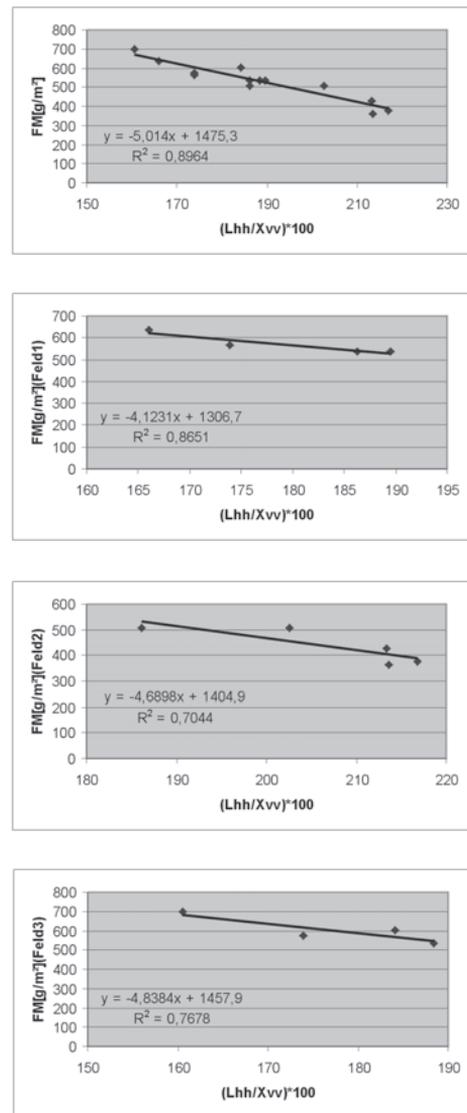


Abb. 1: Korrelation der frischen Biomasse (FM) mit dem Koeffizienten Lhh/Xvv aus den Daten aller Felder und der einzelnen Felder.

Schätzer mit der höchsten Genauigkeit gefunden. Beim Vergleich der gemessenen Biomassewerte fällt auf, dass STEINGESSER & KÜHBAUCH (1998) im Bereich ab 700 g/m^2 gemessen haben, im vorliegenden Projekt jedoch die frische Biomasse zwischen 350 und 700 g/m^2 lag. Dies erklärt die stärkere Sen-

sivität des kürzeren X-Bandes auf die Biomasse; wengleich im X-Band die polarimetrische Information nicht so stark ausgeprägt ist, wie im L-Band. Aus diesem Grund konnte mit $X_{hh}\text{-}X_{vv}[\text{dB}]$ keine brauchbare Korrelation gefunden werden.

3 Die Biomassekarte von Wintergersteslägen

Um den oben beschriebenen Zusammenhang zwischen Radarrückstreuung und Biomasse möglichst automatisch in eine Biomassekarte einzubringen, ist noch ein erheblicher Aufwand hinsichtlich der Datenverarbeitung notwendig. Als erstes fällt in den originalen Radardaten der vorherrschende Speckleeffekt (Abb. 2) auf.

Der Speckle würde sich bei einer Umrechnung der Radarintensitätsdaten in einer Biomassekarte ebenfalls zeigen. Es wurde daher ein Filter entwickelt, um den Speckleeffekt zu eliminieren, d.h. den körnigen Aspekt des Speckles zu unterdrücken ohne die radiometrischen Eigenschaften der Signatur wesentlich zu verändern (Abb. 3). Ebenso ist zu erkennen, daß die Intensitätssprünge an Kanten nicht aufgeweitet werden. Somit scheint eine direkte Umrechnung in Biomassewerte möglich, wenn es gelingt, unerwünschte radartypische Effekte, nämlich die teilweise helle Erscheinung der Reihenrichtung, die durch das Foreshortening hervorgerufene vergrößerte Darstellung der Hochspannungsmasten und die nicht bewirtschafteten Areale (Wasserlöcher) zu detektieren und auszumaskieren.

3.1 Das angewendete Filterverfahren

Bei dem Filter handelt es sich um ein adaptives modellbasiertes Verfahren. Das mittelnde Filter arbeitet fensterbasiert und adaptiv, beginnend mit kleinen bis hin zu großen Fenstergrößen. Aufbauend auf dem etablierten multiplikativen Specklemodell, das eine Gamma-Verteilung der Intensitäten für homogene Flächen, bzw. physikalisch ausgedrückt, für ein ausgedehntes Target mit konstantem Radarrückquerschnitt annimmt, wird als Strukturdetektion jeweils

die Abweichung von einer Gamma-Verteilung als Maß für die Stärke einer innerhalb des Fensters vorhandenen Textur verwendet. Als Textur wird hier nur die räumliche Variation des Radarrückstreuquerschnitts angesehen, nicht die durch den Speckleeffekt hervorgerufenen körnige Struktur der Radarbilder.

Das Filter besteht aus zwei ähnlich arbeitenden Stufen: (1) Es wird über die unterschiedlichen Radarbänder und -polarisationen gemittelt. Die Kanäle werden in solcher Weise miteinander kombiniert, dass aus n Eingangskanälen n Ausgangskanäle berechnet werden. Im Gegensatz zu einer simplen Addition von Kanälen werden die Daten derart aufsummiert, dass die Unterschiede in Textur und Intensität in den einzelnen Bildern erhalten bleiben. Gleichartige Texturen in verschiedenen Kanälen werden gegenüber dem Speckle verstärkt. Dies wird erreicht, indem für jeden Kanal die mittlere Intensität innerhalb der jeweiligen Fenstergröße berechnet wird und als mittlere Intensität des Targets angenommen wird. Dann wird die Stärke der Textur bestimmt und das Verhältnis der Stärke der Texturen zweier Kanäle als Wichtungsfaktor genutzt, mit dem jeweils der eine Kanal zur Glättung des anderen verwendet wird. Für eine optimale Specklereduzierung ist es notwendig, dass die mittleren Intensitäten des Targets in beiden Kanälen gleich sind, bzw. vor der Addition angeglichen werden, da die Stärke des Specklerauschens proportional zur Intensität des Targets ist. Addiert wird daher die Intensität des zentralen Pixels (des jeweiligen Fensters) von Kanal 2 zur Intensität von Kanal 1. Dadurch werden gleich starke und gleichhelle Specklemuster gegeneinander gemittelt. Dabei wird eine Wichtung entsprechend der Ähnlichkeit der Texturen vorgenommen. Zusätzlich wird die Mittelung bei Überschreitung eines Schwellwertes ganz unterbunden, wenn die Texturen zu verschieden sind. Dies wird mit immer größer werdenden Fenstern wiederholt, also rekursiv durchgeführt; die Stärke des Speckleeffekts macht eine wiederholte Glättung notwendig. Durch die Wichtungsfaktoren werden die Fenstergrößen, bei denen die



Abb. 2: Ungefilterte L-Band Daten als Dreifarbenkomposit.



Abb. 3: Gefilterte und kalibrierte L-Band Daten als Dreifarbenkomposit.

größte Übereinstimmung in der Textur vorliegt, am stärksten gewichtet (adaptive Filtertechnik). (2) Die Einzelbilder werden unter Anwendung der gleichen Prinzipien gefiltert. Im Fall (1) werden bei ähnlichen Texturen in zwei Bildern die Bilder gegeneinander gemittelt, wohingegen im Fall (2) der

Einzelkanal jeweils mit dem Mittelwert des betrachteten Fensters gemittelt wird, wenn innerhalb des Fensters keine oder nur schwache Texturen vorliegen. Dies wird auch wieder adaptiv über die verschiedenen Fenstergrößen wiederholt und nur dann durchgeführt, wenn ein gewisser, aufgrund

der statistischen Fehler von der Fenstergröße abhängiger Schwellwert nicht überschritten wird. Damit bietet das Filter zwei Möglichkeiten, die Bildqualität zu beeinflussen, je nachdem, ob eine starke Glättung oder eine detailgetreue Erhaltung feiner Strukturen gewünscht wird. Die Schwellenwerte können herauf- oder herabgesetzt und der Bereich der Fenstergrößen verändert werden. Die E-SAR Bilder wurden mit Fenstergrößen von 3×3 bis 19×19 bearbeitet.

3.2 Die Maskenerstellung

Die Erstellung einer Maske um den Effekt der hellen Streifen entlang der Bearbeitungsrichtung gestaltete sich unerwartet schwierig. Da dieser Effekt theoretisch von einer Zweifachstreuung („Double Bounce“, Streuung an Pflanze und Boden) in den Fahrspuren verursacht sein kann, wurde untersucht, ob er sich in der polarimetrischen Phase niederschlägt. Ein entsprechender Effekt trat nur sehr schwach auf, und ließ sich nicht ausnutzen. Diese Streifen zeichnen sich durch Textur und durch höhere Rückstreuintensität aus. Das Filter wurde deshalb in der Weise verfeinert, dass die Streifen als Binärbild dargestellt wurden. Die Detektion dieser Gebiete wurde für jedes Radar-

band und jede Polarisation einzeln durchgeführt und die Einzelmasken dann summiert. Diese Summation erfolgt derart, dass nur dann, wenn in einem Fenster von 3×3 Pixeln in allen verfügbaren Kanälen des L- und X-Bandes zusammen mindestens 5 mal Heterogenität detektiert worden war, das zentrale Pixel des betrachteten Fensters im Summenbild den Wert 1 erhielt. Dadurch wurde eine nahezu rauschfreie Maske erstellt. Dabei wurden nicht nur die Reihen detektiert, sondern auch die Hochspannungsmasten und nicht bewirtschaftete Senken innerhalb der Felder, in denen teilweise Büsche und Bäume wachsen und aufgrund der vorhergehenden starken Regenfälle teilweise Wasser stand. Mit dieser Maske (Abb. 4) besteht jetzt die Möglichkeit einer großflächigen, weitgehend störungsfreien Untersuchung des Biomasseaufkommens aus Radarbildern ohne störende Nebeneffekte.

3.3 Weitere Bildverarbeitungsschritte

Für die Erstellung der Biomassekarte wurden folgende weitere Schritte weitgehend mit Hilfe von Standardroutinen der Fernerkundungssoftware „EASI/PACE“ durchgeführt:



Abb. 4: Maske der Heterogenitäten.

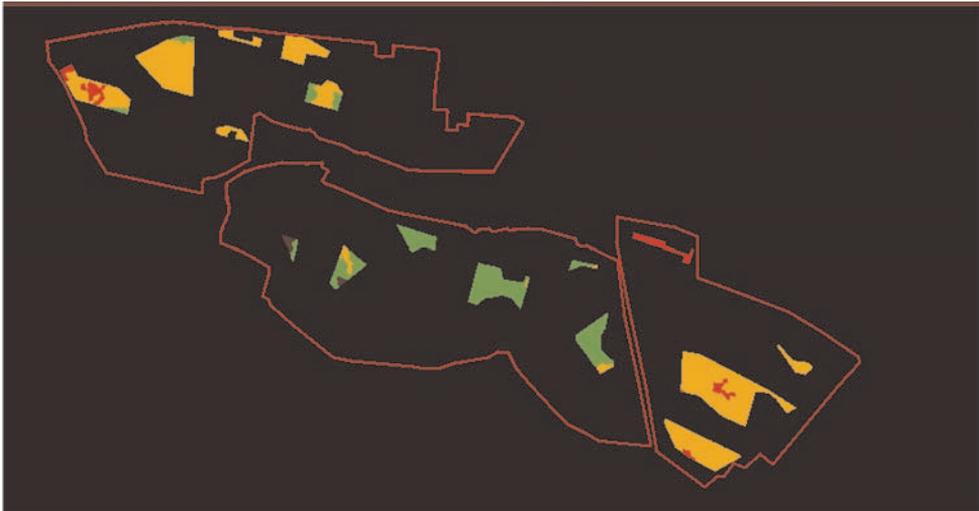


Abb. 5: Biomasse auf den Testflächen (Legende siehe Abb. 6).

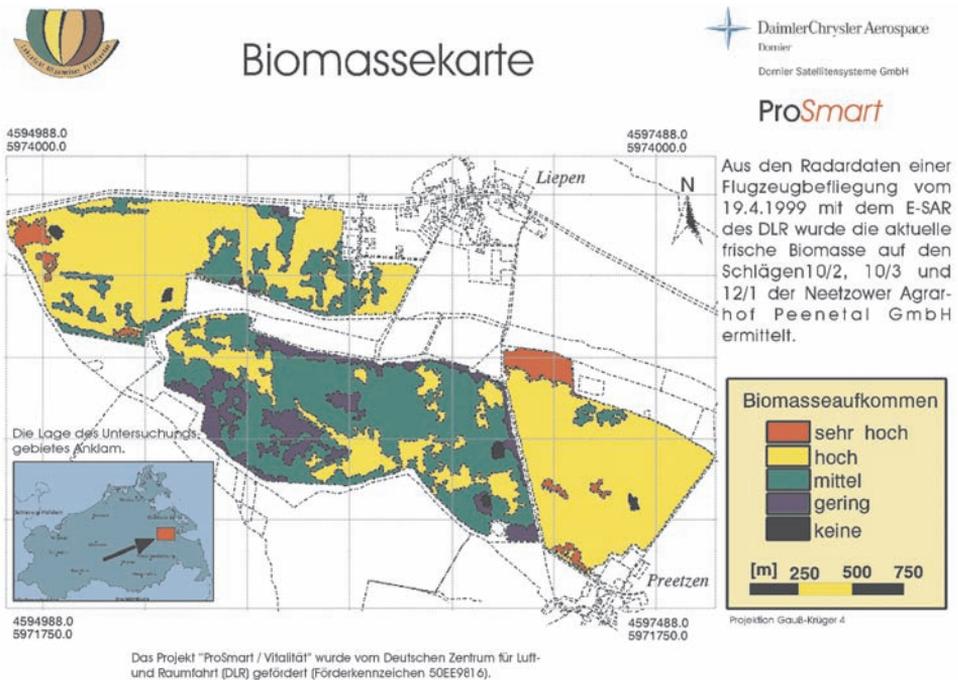


Abb. 6: Karte der Verteilung der Biomasse aus dem L-Band hh und X-Band vv generiert.

- Mit Hilfe des modifizierten Filters wurde eine Reihen- und Inhomogenitätsmaske als Binärbild erstellt.
Die Maske wurde mit Hilfe des EASI/PACE-Programmes CONTOUR vektorisiert.
- Die Radarbänder wurden überall dort mit dem EASI/PACE Programm FGA (Gauß-Filter $\sigma = 32$) nachgefiltert, wo die Maske ungleich 0 war.
- Die Umgebung der Wintergerstefelder wurde ausmaskiert.
- Die Hochspannungsmasten wurden aus der vektorisierten Reihen- und Inhomogenitätsmaske selektiert und in eine Bildebene eingebrannt.
- Im Bereich der Hochspannungsmasten wurde mit Hilfe des MODELERS in „ImageWorks“ der Grauwert auf einen bestimmten, nicht im Bild vorkommenden Wert, gesetzt.
- Daraufhin konnte mit dem EASI/PACE Programm GRDINT im Bereich der Hochspannungsmasten eine Interpolation der Grauwerte durchgeführt werden.
- Für eine Glättung der Kanten und Grenzl意思en wurde der EASI/PACE Mode Filter FMO mit einer Fenstergröße von 7×7 Pixel angewendet.
- Nach Sichtung der Biomasseverteilung im bisher noch sehr fein aufgelösten Bild wurde zur Filterung der zu kleinräumigen Biomasseinformationen ein Sieve Filter zum Zweck des Polygon Merge (Verschmelzung benachbarter Polygone) eingesetzt: Allen Polygonen $< 2.000 \text{ m}^2$ wurde der Biomassewert des größten Nachbarpolygons zugeordnet.
- Optische Aufbereitung mit Pseudocolour.
- Import in ARC/Info.
- Georeferenzierung und weitere optische Aufbereitung des Bildes zu Präsentationszwecken.

Das Ergebnis ist für die Testflächen in Abb. 5 und generalisiert für die drei Felder in Abb. 6 zu sehen. Die Einteilung in 5 Klassen entsprach den Forderungen des Landwirtes.

4 Danksagung

Die Studie wurde vom DLR (Förderkennzeichen 50EE9816) und Dornier Satellitensysteme GmbH (heute Astrium Space) gefördert. Die Autoren danken der Firma Dornier Satellitensysteme GmbH für die Bereitstellung der Befliegungs- und Bodendaten.

5 Literatur

- FERRAZOLLI, P. & GUERRIERO, L., 1994: Interpretation and model analysis of Maestro I Flevo-land data. – *International Journal of Remote Sensing*, **15**.
- GNOSA, T., 1997: Radarfernerkundung landwirtschaftlich genutzter Flächen- Scatterometermessungen an Winterweizen und Zuckerrüben. – Diss. Univ. Bonn, unveröff.
- 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 Radarsensor. – *Journal of Agronomy & Crop Science*, **181**: 145–152.
- HAMACHER, M., RADEMACHER, I. F., HAWLITSCHKA, S. & KÜHBAUCH, W., 2000: Erkennung landwirtschaftlicher Nutzpflanzenbestände mittels multitemporaler ERS-1/-2 Radaraufnahmen. – *Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation* **2001** (2): 119–127.

Anschriften der Verfasser:

Dipl.-Phys. STEFAN HAWLITSCHKA, FGAN Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften e.V., Neuenahrer Strasse 20, D-53343 Wachtberg, Tel.: 0228-9435 865, Fax: 0228-856 277, e-mail: stefan@hawlitschka.de

Dipl.-Ing. agr. MARIA HAMACHER, Lehrstuhl für Allgemeinen Pflanzenbau, Universität Bonn, Katzenburgweg 5, D-53115 Bonn, e-mail: m.hamacher@freenet.de oder hamacher@lwk-rheinland.nrw.de

Prof. Dr. WALTER KÜHBAUCH, Lehrstuhl für Allgemeinen Pflanzenbau, Universität Bonn, Katzenburgweg 5, D-53115 Bonn, Tel.: 0228-73-2041, Fax: 0228-73-2871, e-mail: lap@uni-bonn.de

Manuskript eingereicht: November 2000

Angenommen: Dezember 2000