

7 Luftbilder (TP II-2)

Teilprojektleiter: Prof. Dr. Ing. R. Bill

Bearbeiter: Dipl. Geogr. A. Irrgang, Dipl. Geogr. G. Grenzdörffer

7.1 Zusammenfassung

Neben einer ausführlichen synoptischen Zusammenfassung der Einsatzbereiche von Fernerkundungsaufnahmen für precision agriculture sind im Jahr 2000 viele Bildflüge durchgeführt worden, wenn auch die außergewöhnlich schlechte Witterung in den Sommermonaten einige wenige Flüge vereitelte. Mit der zunehmenden Verfügbarkeit von Luftbildaufnahmen ist das Interesse an Luftbildern seitens anderer Teilprojekte sprunghaft gestiegen. Um die Luftbilder zukünftig in einem stärkeren Maße quantitativ zu nutzen, ist der Digitalsensor radiometrisch kalibriert worden. Unabhängig davon wurden analoge und digitale Auswertestrategien entwickelt und vorgestellt. Aus den Bildflugerfahrungen des Jahres 2000 heraus konzentrieren sich die Bildflugaktivitäten im dritten Jahr auf einzelne nähergelegene Betriebe. Für andere Projektbetriebe werden dafür stärker Satellitenbilder und deren quantitative Auswertung herangezogen.

7.2 Einleitung - Einsatzbereiche der Fernerkundung für precision agriculture

7.2.1 Fernerkundung zur Unterstützung teilflächenspezifischer Applikationen

Teilflächenspezifische Applikationen können nach Auernhammer (1999) in drei verschiedenen Verfahrenswegen geplant und umgesetzt werden. Der methodische Ansatz hängt im Wesentlichen von der Verarbeitung statischer oder veränderlicher Daten ab. Fernerkundungsinformationen lassen sich gleichermaßen unterteilen in: räumlich differenzierte Grundlageninformationen zum Boden- und Ertragspotential (= Standort(potential)-karten) und zeitabhängige Informationen zur Bestandesentwicklung, zum Bodenwasserhaushalt und der Qualität der geleisteten Bewirtschaftungsmaßnahmen (= Zustandskarten).

Fast alle bisherigen teilflächenspezifischen Applikationen beruhen auf dem GIS-Overlay bzw. Mapping-Ansatz, der die vorliegenden Datenquellen nach einem Layerkonzept über Regeln bzw. ein Modell verknüpft und für jede Rasterzelle einen Wert berechnet. Dieser Ansatz wird in erster Linie bei der Aussaat und der Grunddüngung eingesetzt, da die notwendigen Datengrundlagen, wie z. B. das Ertrags- und Bodenwasserpotential, Bodenart und Nährstoffversorgung, von eher statischer Natur sind.

Der Beitrag der Fernerkundung für die genannten statischen Applikationen liegt vor allem darin, zuverlässige Standortinformationen, wie beispielsweise quantitative Informationen zur Bodenart, zur verfügbaren Feldkapazität oder zum Ertragspotential auf der Grundlage multispektraler Informationen zu liefern. Auf die Anforderungen an den Aufnahmezeitraum, die Datenverarbei-

tung und Zusatzinformationen wird an nachfolgender Stelle eingegangen. Bei Applikationen, die sich in stärkerem Maße auf den (tages)aktuellen Pflanzenzustand beziehen, stößt dieses Verfahren an seine Grenzen.

Einen anderen Ansatz stellen Online-Verfahren dar, die in erster Linie den aktuellen Pflanzenzustand oder die Verunkrautungssituation mit einem Sensor bestimmen und bewerten und damit in real-time bzw. nahe real-time die Mengenregulierung vornehmen. Die eingesetzten Sensoren analysieren den Pflanzenbestand entweder passiv über die spektrale Reflexion bzw. über den mechanischen Widerstand oder aktiv über einen Niedrigenergielaser, der die Pflanzenteile zur Fluoreszenz anregt. Schwerpunktartig kommen Online-Verfahren für die 2. und 3. N-Gabe (Wollring und Reusch 1999) sowie für den gesamten Bereich des Pflanzenschutzes (Halmstabilisatoren, Herbizide, Fungizide) zum Einsatz; für Herbizide siehe z. B. Sökefeld et al. 1999. Alternativ zu traktorgestützten Sensoren kann die Fernerkundung ebenfalls aktuelle und großräumige Bestandesinformationen z. B. zur N-Düngung oder für Fragestellungen im Bereich des Pflanzenschutzes liefern. An das Sensorsystem und die rasche Verarbeitung der Daten werden im Gegensatz zu langfristigen Standortkarten spezielle Anforderungen gestellt, die ebenfalls noch eingehend diskutiert werden. Der Online-Sensor-Ansatz in Kombination mit einer Wissensbasis aus vorhandenen Karten verbindet die Vorteile beider Verfahren und ermöglicht wissensbasierte real-time-Applikationen, die auf dynamische Informationen angewiesen sind.

7.2.2 Fernerkundung als Managementinstrument

Neben der gezielten Applikationsunterstützung können Fernerkundungsaufnahmen als Managementinstrument für die Bestandesführung eingesetzt werden und immer einen aktuellen Überblick gewährleisten, der gerade in Großbetrieben besonders wichtig ist, um z. B.

- den Entwicklungszustand des gesamten Schlages durch gezieltes Anlaufen und Bonituren einzelner Stellen sicher zu erfassen,
- witterungs- und bewirtschaftungsbedingte Schwachstellen zu erfassen,
- Maßnahmenprioritäten auf den verschiedenen Schlägen zu setzen,
- Kommunikation zwischen den Mitarbeitern und externen Beratern zu verbessern,
- die Standortverhältnisse bei Betriebsleiterwechsel oder Flächenerwerb schnell zu erfassen,
- Dokumentationsgrundlagen bei Rechtsstreitigkeiten (Wild- und Hagelschäden, Wegebau, Meliorationsanlagen, Naturschutz ...) zu erhalten,
- jährlich notwendige Flächenvermessungen, z. B. bei Schlagteilungen und verschiedenen Sorten, vorzunehmen,
- Orientierungsmöglichkeiten auf großen Schlägen und Bestimmung bzw. Schätzung relevanter Flächen in Umfang und Größe zu haben.

Im Gegensatz zur Applikationsunterstützung liegt die Interpretation solcher Aufnahmen vollständig in den Händen des Landwirtes bzw. des Beraters, was an ein Sensorsystem und die notwendige Bodenauflösung ebenfalls besondere Anforderungen stellt.

7.2.2.1 Anforderungen an die Fernerkundungssysteme für precision agriculture-Anwendungen

Im Hinblick auf den Aufnahmezeitraum, den Turn-around-Zeitraum (= Zeitraum zwischen Aufnahme und Lieferung der Aufnahme/Produkt), die Bodenauflösung, die Daten(vor)verarbeitung und die Zusatzinformationen unterscheiden sich die Anforderungen an ein Fernerkundungssystem für langfristige Standortinformationen, aktuelle Zustandsinformationen oder Managementinformationen deutlich. Der nachfolgende Vergleich soll dies verdeutlichen (Tab. 7-1).

Tab. 7-1: Anforderungen an Fernerkundungssysteme in Abhängigkeit der Anwendungsbereiche für precision agriculture

	Applikationsunterstützung		Management-information
	Standortinformation	Zustandsinformation	
Sensorplattform	- MS/Hyp-Scanner / Satellit	- terrestrische Systeme - MS/Hyp-Scanner - Low-cost Systeme	- low-cost-Systeme
Preprocessing	Atmosphärenkorrektur, BDRF, Geokodierung	Atmosphärenkorrektur, BDRF, Geokodierung	Geokodierung
Bodenauflösung	10 - 30 m	0,01 - 5 m	< 1 m
Auswertung	Experte	Experte/automatisch	Landwirt/Berater
Zusatzdaten (Bsp.)	Ground Truth/Standortinfos (Boden, DGM ...) Modell	Ground Truth/Datenbank, Modell	Expertenwissen
Aufnahmezeitfenster	1 - 4 Wochen	1 - 14 Tage	1 - 2 Wochen
Turn-around-Zeitraum	einige Wochen/Monate	sofort - 2 Wochen	< 1 Woche
Analysezeitraum/Halbwertzeit	mehrere Jahre/langfristig	sofort/einige Tage	mehrere Wochen

Für die Applikationsunterstützung mit zusätzlichen Standort- und Zustandsinformationen sind aufgrund der turn-around-Zeiträume und der Erfassungs- und Regelungsgröße landtechnischer Maschinen unterschiedliche Fernerkundungssensoren geeignet, siehe Abb. 7-1.

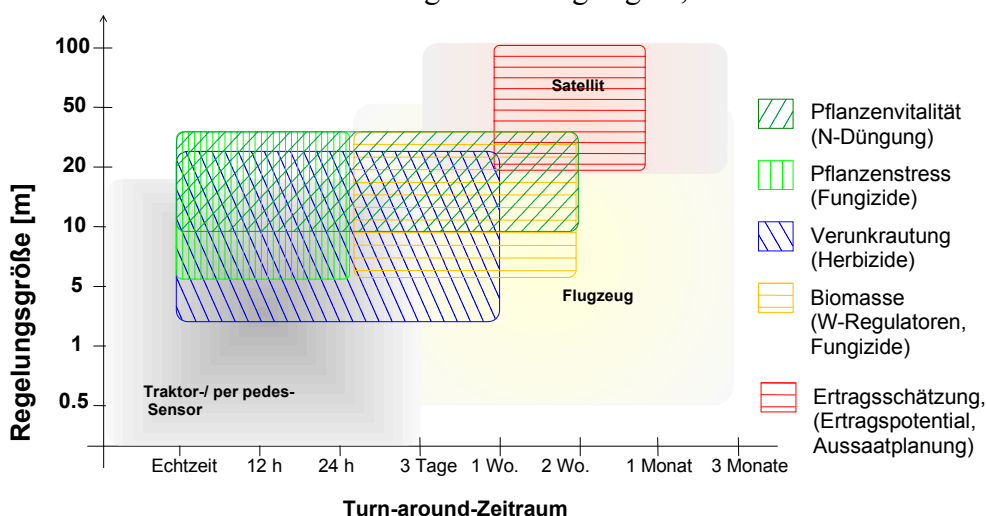


Abb. 7-1: Eignung verschiedener Sensorplattformen für verschiedene Parameter/Maßnahmen in Abhängigkeit der Regelungsgrößen und Turn-around-Zeiträume

Managementinformationen: Zur Unterstützung der vielfältigen Managementaufgaben ist ein Sensorsystem mit flexiblen Aufnahmekonfigurationen notwendig, wie es idealerweise durch digitale Sensoren in kleinen Sportflugzeugen gegeben ist. Für rein visuelle Auswertungen sind Echtfarbenaufnahmen zur Interpretation besonders geeignet. Zur Orientierung auf dem Feld müssen Fahrgassen und weitere wichtige topographische Elemente erkennbar sein. Das bedeutet eine Bodenauflösung von ≤ 1 m. Zur Dokumentation bestimmter phänologischer Zustände oder sonstiger Ereignisse (z. B. Hagel, Wildschäden) ist eine kurzfristige Wahl des Aufnahmezeitpunktes (1 - 14 Tage) inklusive einem kurzen Turn-around-Zeitraum zu gewährleisten. Der Vorverarbeitungsaufwand ist im Gegensatz zur direkten Applikationsunterstützung relativ gering, denn für einige Anwendungsbereiche kann in Kombination von nordorientierten Aufnahmen und einer Bildmittenübersicht auf eine Geokodierung verzichtet werden. Dies gilt jedoch nicht, wenn die Aufnahmen z. B. zur Flächenvermessung und zur visuellen Überlagerung und Analyse im GIS mit anderen Informationsebenen eingesetzt werden sollen.

7.3 Bezug zu anderen Teilprojekten

Die Luftbildaufnahmen bieten den anderen Teilprojekten in erster Linie qualitative Informationen zur Boden- und Bestandsheterogenität, die durch die intuitive Interpretierbarkeit der Echtfarbenaufnahmen für die jeweiligen Forschungen in unterschiedlichster Weise genutzt werden, z. B. als *a priori*-Information zur Planung von Bonituren und Beprobungen, als Validierungsinformation und Dokumentationsmedium bei der Kontrolle von (einheitlichen) und teilflächenspezifischen Modulen und Bewirtschaftungsstrategien sowie als zusätzliche Datenquelle zur Analyse des Einflusses der Witterung und unvorhergesehener Ereignisse (Vernässung, Verunkrautung, Lagergetreide ...). Diese Informationen und Möglichkeiten werden von vielen Projektpartnern des *pre agro*-Projektes verwendet und im Folgenden exemplarisch vorgestellt:

Mit Hilfe des Luftbildes können Bonituren der aktuellen Bestandessituationen durch Methoden der Fernerkundung (Luftbildinterpretation und digitale Bildverarbeitungsmethoden) verbessert bzw. der Aufwand stark vereinfacht werden. Hierzu werden gemeinsam mit Teilprojekt (TP III-4) methodische Untersuchungen vorzunehmen sein. Weiterhin werden Luftbilder eingesetzt, um die Festlegung von Zielbereichen für Naturschutzziele in Ackerflächen zu objektiveren (TP II-3b Naturschutzziele) und - in beschränktem Umfang - zu automatisieren. In diesem Prozess werden und sollen für ganze Luftbildserien eines größeren Landschaftsraumes eine automatische Segmentierung und Klassifizierung durchgeführt werden. Ziel ist es, bestimmte Biotoptypen zu detektieren, die nicht aus vorliegenden amtlichen Daten (wie z. B. ATKIS) hervorgehen. Hierbei gilt das aktuelle Luftbild, welches sich nicht ausschließlich auf den Schlag bezieht, als unentbehrliche Informationsquelle. Im Teilprojekt III-3 werden Luftbilder zur Erstellung von Karten zur ortsspezifischen Bodenbearbeitung genutzt. Vorwiegend wird zur Optimierung der Bodenbearbeitung und Bestellung zwischen Feucht- und Trockenbereichen differenziert. Schließlich nutzt Teilprojekt II-1b Luftbilder zur Validierung des Topographical Wetness Index (TWI) und anderer Reliefparameter.

Diese Verzahnungen zu anderen Teilprojekten findet im gegenseitigen Daten- und Informationsaustausch statt. Dies ist eines der Fundamente dieses Teilprojektes, die durch die Anregung an-

derer Teilprojekte und deren Bedarf an Luftbilddaten und deren Ableitungen zusätzlicher Aktivitäten gemeinsam entwickelt werden können. Daher ist das Teilprojekt II-2 auf Informationen über Aktivitäten auf den Schlägen und gewünschte Überflugtermine angewiesen. Nur so können die Bildflugkampagnen je nach den Anforderungen ausgerichtet werden.

7.4 Ergebnisse

7.4.1 Bildflugkampagne 2000

Aufgrund der ungünstigen Witterung im vergangenen Jahr konnten nicht alle Bildflüge wie geplant durchgeführt werden. Insbesondere der kühle und wolkenreiche Sommer ließen keine gut koordinierte Planung der Bildflugkampagnen zu Zeiten der Abreife zu. Für die Betriebe Groß-Twülpstedt, Thumby und Kassow konnten wie geplant mehrere Bildflüge in der Vegetationsperiode 2000 durchgeführt werden.

Bei Betrieben mit längeren Anflugzeiten hat sich die Schwierigkeit der präzisen Wettervorhersage ergeben. So war z. B. am 08. April 2000 für Westdeutschland Hochdruck beeinflusstes und sonniges Wetter für den folgenden Tag vorhergesagt worden. Diese Situation wurde am frühen Morgen durch verschiedene Informationsquellen bestätigt (diverse Wettervorhersagen [Internet, Fernsehen etc.], Betriebsleiter vor Ort und Flugwetterdienste). Daher wurde der Flug wie geplant durchgeführt. Wie häufig bei Hochdruck, wurde auch an diesem Tag die Großwetterlage durch kleinräumige thermische Ereignisse, die in den frühen Nachmittagsstunden einsetzen, beeinflusst, so dass lokal Quellwolken (Cumulus) entstanden. Daher konnte ein Bildflug auf den geplanten Bildstreifen und in der gewünschten Flughöhe nicht durchgeführt werden.

7.4.1.1 Bildflugkampagne 2001

Ein weiterer zeitlicher Einflussfaktor ist die Reichweite der genutzten CESSNA 172. Im Mittel reicht eine Tankfüllung dieser Maschine für fünf Stunden. Bei einem Anflug von vier Stunden sollte aus Sicherheitsgründen noch vor dem Bildflug aufgetankt werden (Dauer: 1 - 1,5 h).

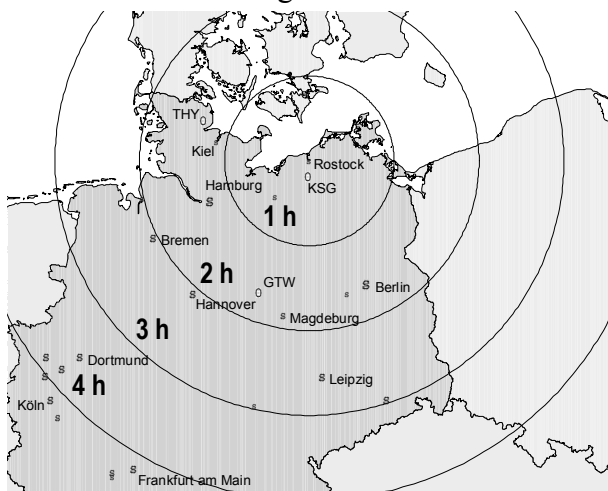


Abb. 7-2: Mittlere Non Stopp-Anflugzeiten

Dies steigert den Zeitaufwand, und die Grenzen der Einsatzmöglichkeiten des low-cost-Systems werden überschritten, dessen Stärken vorwiegend in der Flexibilität zu sehen sind. Daher sollen für das Jahr 2001 aus jenen und den oben beschriebenen Gründen Schwerpunkträume gesetzt werden. Hierbei handelt es sich um die Betriebe Twülpstedt, Thumby und Kassow. Diese Betriebe sind aufgrund ihrer geringeren Distanz zum Abflugort innerhalb von zwei Flugstunden erreichbar (siehe Abb. 7-2), so dass Wetterumschwünge und lokale thermische

Widrigkeiten besser abgeschätzt werden können und auch die Möglichkeit einer erneuten Befliegung an einem der folgenden Tage besteht.

Für die angeführten Betriebe sollen mindestens zwei Flugkampagnen durchgeführt werden. Die Termine werden in enger Abstimmung mit Projektpartnern festgelegt. Hierbei ist eine Transparenz von Seiten anderer Teilprojekte, die Luftbilddaten für ihre Auswertungen oder Validierungen benötigen, vonnöten.

7.4.2 Radiometrische Kalibrierung des Digitalsensors

Für eine quantitative Auswertung spektraler Reflexionseigenschaften des Bodens und des Bestandes ist eine genaue Kenntnis und Kalibrierung der radiometrischen Eigenschaften des Sensors notwendig. In der nachfolgenden Tabelle sind einige wichtige radiometrische Parameter aufgeführt, die anhand praktischer Tests umfassend untersucht wurden. Die **fett** markierten sollen im Rahmen dieses Zwischenberichtes kurz vorgestellt werden.

- Farbartefakte
- Dynamik, Blooming
- Linearität
- **Rauschen (SNR)**
- **Helligkeitsrandabfall**
- **Spektrale Sensitivität**

7.4.2.1 Signal-Rausch-Verhältnis (SNR)

Als Messgröße des Rauschens eines Systems wird das SNR angegeben, d. h. das Verhältnis der Rauschspannung zur Signalspannung:

$$SNR = \log \frac{U_s}{U_r}$$

Diese Größen sind jedoch direkt nur über Hardwaremanipulationen zu bestimmen. Aus diesem Grunde wird das SNR indirekt über eine Analyse der Grauwerte bestimmt.

In einem einfachen Ansatz wird dazu eine gleichmäßig ausgeleuchtete und homogene Fläche mit einem stark defokussierten Objektiv aufgenommen. Dabei stellt der Mittelwert der gemessenen Grauwerte das Signal und die Standardabweichung den Rauschanteil dar. Ein Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass bei der Aufnahme eines Testfeldes mit verschiedenen definierten Reflexionsintensitäten zusätzlich die Abhängigkeit des SNR von der reflektierten Objekthelligkeit bzw. der Dichte der Vorlage gemessen werden kann. Der Nachteil dieses Verfahrens liegt darin, dass von einer absolut homogenen Testfläche und einer einheitlichen, diffusen Beleuchtung ausgegangen wird und damit alle Restfehler voll in das Rauschen eingehen.

Zur Bestimmung des SNR wurde ein definierter Graukeil (FotowandTM 4269) verwandt, welcher nahezu lambertsche Reflexionseigenschaften mit einem Dichteumfang von 0 – 1,65 aufweist, sowie reflektierte Sonnenstrahlung als homogene Lichtquelle. Um das SNR über den gesamten Dynamikbereich der Kamera zu erfassen, sind mehrere Aufnahmen mit unterschiedlicher Aussteuerung gemacht worden. Abb. 7-3 zeigt das SNR in Abhängigkeit der Dichte für vier verschiedene Aufnahmen, die nahezu den gesamten Grauwertumfang der Digitalkamera umfassen. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass das SNR von 5 bei geringer Belichtung und sehr hoher Dich-

te bis auf 130 bei hoher Belichtung und geringer Dichte reicht. Eine Abhängigkeit zwischen den Farbkanälen und dem SNR konnte nicht festgestellt werden, da das SNR bei gleicher Intensität für alle drei Farbkanäle nahezu identisch ist. Der teilweise unregelmäßige Verlauf der Kurven, lässt auf Inhomogenitäten der Vorlage schließen.

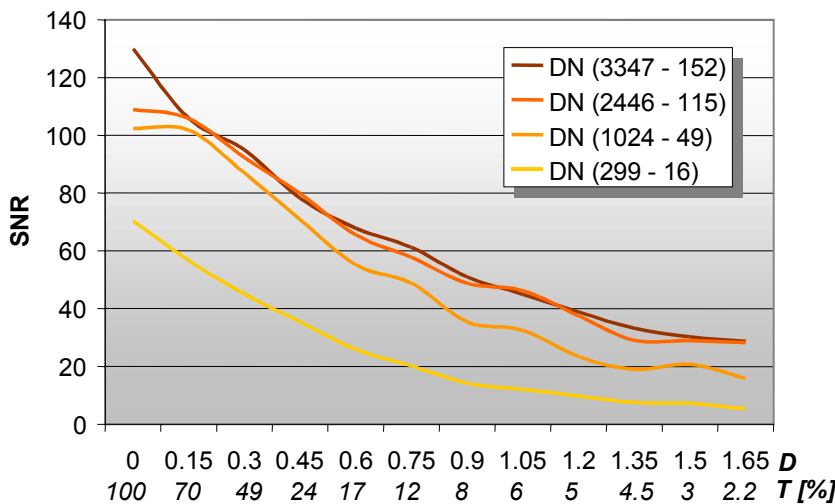


Abb. 7-3: SNR des CCD-Chips in Abhängigkeit der Aussteuerung der Kamera und der Dichte der Vorlage

Bei natürlichen Oberflächen, z. B. Wald, die selten eine geringere Reflektivität (= Transparenz) als 3% des eingestrahlt Lichts aufweisen, kann bei gut ausgesteuerten Aufnahmen ein SNR > 30 erreicht werden. Die ermittelten SNR sind im Vergleich zu herkömmlichen Erderkundungssatelliten geringfügig schlechter, gegenüber Hyperspektralscannern jedoch besser (Smith und Curran 1999).

7.4.2.2 Helligkeitsrandabfall

Der Helligkeitsrandabfall, der sich mit zunehmender Entfernung vom Bildhauptpunkt zu den Bildecken hin bemerkbar macht, ist auf unterschiedliche Ursachen zurückzuführen (Lillesand und Kiefer 1994). Zur Korrektur des Helligkeitsrandabfalls für eine beliebige Blendenöffnung wird die Funktion

$$f(x) = \cos^a x$$

verwandt. Bei großer Blendenöffnung liegt der Wert für a in der Regel wesentlich höher als bei einer kleinen Blende. Da moderne Kameras einen Teil des theoretischen Helligkeitsrandabfalls durch eine gute Optik ausgleichen können, liegt der praktische Wert für a zwischen 1,5 und 4 (Lillesand & Kiefer 1994). Die Bestimmung dieses Effekts ist beispielsweise mit Hilfe einer homogenen und diffus reflektierenden Fläche möglich, die formatfüllend aufgenommen wird. Die Korrektur des ermittelten Helligkeitsrandabfalls in einer Aufnahme erfordert die Überführung der winkelabhängigen Korrekturfunktion in Abhängigkeit der Nadirdistanz v in eine Korrekturmatrix für jedes Bildelement des CCD-Chips in Abhängigkeit der Radialentfernung r . Der Korrekturfaktor K für jedes Bildelement (x', y') bei Blende 4 errechnet sich wie folgt:

$$K = \cos^{-3,25} v \quad \text{mit } \tan v = \frac{r}{c} \quad \text{mit } r^2 = x'^2 + y'^2$$

wobei

x' : Wertebereich Bildmatrix in der x-Achse (-1005 - +1005)

y' : Wertebereich Bildmatrix in der y-Achse (-1009 - +1009)

Zur Validierung der empirisch ermittelten Funktion sind Aufnahmen eines Bildflugs vom

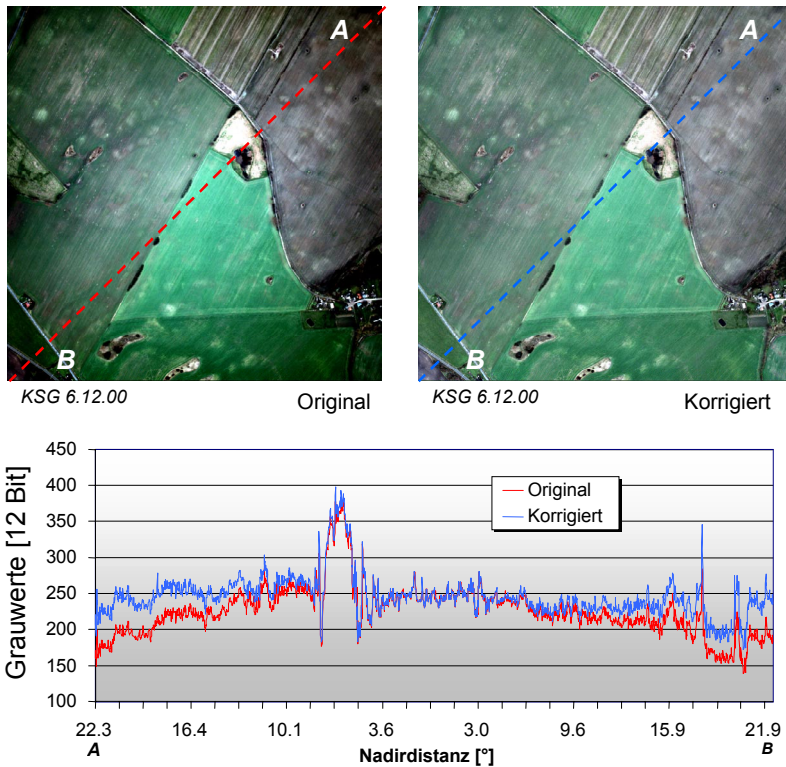


Abb. 7-4: Korrektur des Helligkeitsrandabfalls, Bildflug 06.12.2000, Bildnr. 13, Kassow

06.12.2000 von Kassow ausgewählt worden, bei dem trotz sonnigen Wetters das verfügbare Licht unter Inkaufnahme einer leichten Unterbelichtung nur für eine Belichtung mit 1/60 sek. und Blende 4 ausreichte. Der Helligkeitsrandabfall ist durch die notwendige Kontraststreckung bei der 12 Bit/8 Bit-Transformation besonders deutlich, siehe Abb. 7-4. Mit der Einführung der Korrekturfunktion des Helligkeitsrandabfalls kann dieser Effekt jedoch fast völlig ausgeglichen werden, was weitere visuelle und digitale Klassifikationsschritte wesentlich erleichtert.

7.4.2.3 Spektrale Sensitivität

Zur Untersuchung der spektralen Sensitivität der aufgedampften Farbfilter wurde ein kleiner Gittermonochromator der Firma Pi Optics mit einem Eingangs- und Austrittsschlitz von $3 * 0,5$ mm vom Institut für Optik der Universität Rostock zur Verfügung gestellt. Als Eingangslichtquelle kam ein 35 W Halogenstrahler zum Einsatz. Das austretende monochromatische Licht ist in einem Abstand von 5 mm direkt auf einen kleinen Ausschnitt des CCD-Sensors gefallen. Die vom CCD-Sensor aufgezeichneten roten, grünen und blauen Anteile des monochromatischen Lichtes wurden anhand des Mittelwertes eines $20 * 30$ Pixel großen Fensters für alle Bilder bestimmt und relativ zum Gesamtsignal dargestellt, siehe Abb. 7-5.

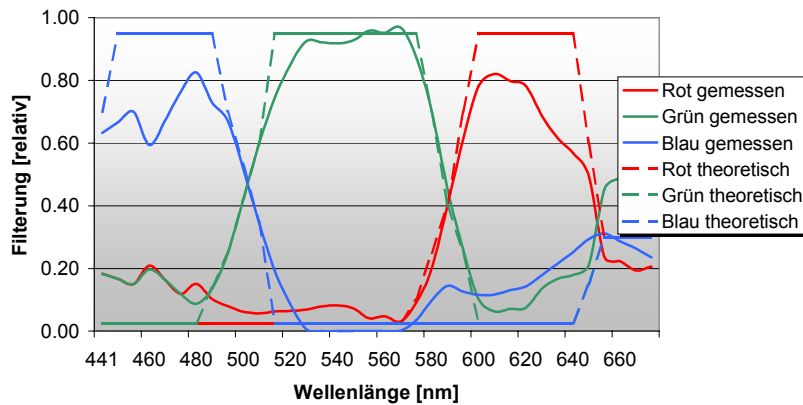


Abb. 7-5: Relative spektrale Sensitivität der eingesetzten CCD-Digitalkamera

Aufgrund der teilweisen Interferenzen zwischen dem roten und dem blauen Licht sind bei der Kalibrierung mit dem Monochromator, neben den gemessenen Werten, noch um die angesprochenen Fehler bereinigte und idealisierte Werte der Filtereigenschaften in der Abb. 7-5 eingetragen worden.

Das bedeutet, die Kamera verfügt über einen schmalen blauen Kanal mit einer Wellenlänge von etwa 445 - 505 nm, einen breiten grünen Kanal in einem Wellenlängenbereich von 505 - 590 nm und einen roten Kanal im Bereich von 590 - 655 nm. Um die Messungen zur spektralen Empfindlichkeit der drei Farbkanäle zu validieren und zur Untersuchung der Möglichkeiten der Digitalkamera für spektrale Auswertungen ist eine diffus reflektierende Farbtafel (Fotowand™ 4261) aufgenommen worden. Parallel dazu sind die Reflexionseigenschaften der farbigen Testflächen mit einem Feldspektrometer (ASD FieldSpec HH) gemessen worden. Die Prüfung der Zusammenhänge zwischen den gemessenen Reflexionswerten, gemittelt für die drei Kanäle RGB, und den Farbwerten der Digitalkamera erfolgte durch eine Regressionsanalyse, siehe Abb. 7-6. Die Übereinstimmung für den blauen, grünen und den roten Kanal ist sehr gut, mit einem r^2 von 0,98, 0,99 bzw. 0,98. Dies bedeutet, dass die Digitalkamera für Spektralmessungen geeignet ist.

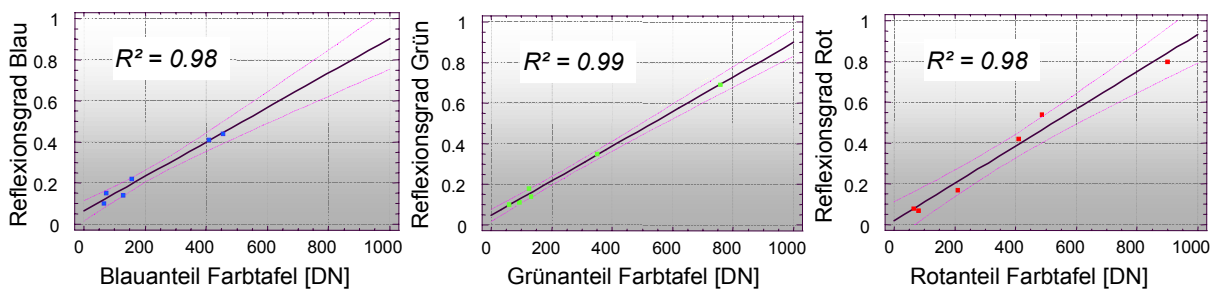


Abb. 7-6: Korrelation zwischen spektrometrischen Reflexionsmessungen und RGB-Grauwerten der Digitalkamera am Beispiel einer Farbtafel (Fotowand 4261)

7.4.3 Digitale Bildauswertung

Informationen eines Luftbildes verfügen, hinsichtlich der Bestandesentwicklung, über eine geringe Halbwertszeit. Daher sind für Applikation, wie z. B. N-Gaben, relevante Ableitungen aus aktuellen Luftbildern weitestgehend automatisiert und objektiv zu generieren. Weiterhin kann ein Luftbild als unabhängige Informationsquelle zur Evaluierung anderer Daten herangezogen werden. Für solche Anwendungen sind Untersuchungen mittels digitaler Bildverarbeitungs-methoden erarbeitet worden, die zum einen das Ziel verfolgen, relative Ertragsmuster aus Luftbil-

dem mittels Clusteranalyse und zum anderen eine optimierte Methode zur Generierung von Ertragskarten aus Mähdrescher- und Luftbilddaten mittels Regressionsanalysen abzuleiten.

7.4.3.1 Clusteranalyse zur Ertragsmusterdetektierung

Ziel dieser Untersuchung war es, vorerst zeitnah zur Ernte eine geeignete Methode zur Detektierung des Ertragsmusters zu erarbeiten. In der kommenden Vegetationsperiode werden diese oder ähnliche Verfahren auf frühere Zeitpunkte übertragen. Letztendlich soll versucht werden, ertragsrelevante Muster zum frühestmöglichen agrotechnisch relevanten Termin aus Luftbilddaten zu erkennen und für Applikationen zur Verfügung zu stellen.

Im Vorfeld wurden im Untersuchungsgebiet (Schlag 104 in Kassow) mittels einer vereinfachten Methode (Irrgang, Johnen & Gebbers 2001) Bestandeshöhen bezogen auf 1 m² und Ährenanzahl pro 0,25 m² GPS-gestützt erfasst, um somit Trainingsgebiete für eine überwachte Klassifizierung zu erhalten. Insgesamt ergaben sich 36 Messpunkte für die Bestandeshöhen und 23 für die Bestandesdichten. Da für die Bestandeshöhe mehr Messpunkte als für die Bestandesdichte vorlagen und beide mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,904 bei einem Signifikanzniveau von 0,01 (nach Spearman robuste nicht parametrische Korrelation) miteinander korrelieren, wurde für die Klassifizierung nur die Bestandeshöhe berücksichtigt.

Im Wesentlichen wurden bei der überwachten Klassifizierung zwei verschiedene Ansätze verfolgt, die sich durch die Art der Klassendefinition und Ermittlung der RGB-Werte unterscheiden.

1. Ansatz: Bildung von drei Klassen mit gleich großen Klassenabständen (15 cm) auf der Basis der Bestandeshöhen; kleine, 25 Pixel umfassende Trainingsgebiete; geringe spektrale euklidische Distanz von 20 bis 50 DN (digital number) (Abb. 7-7) und

2. Ansatz: Bildung der vier Klassen durch hierarchische Clusteranalyse mit der Ward-Linkage-Methode auf der Basis von Bestandeshöhe, Neigung, TWI und ECa; große, 100 Pixel umfassende Trainingsgebiete; große spektrale euklidische Distanz von 500 DN.

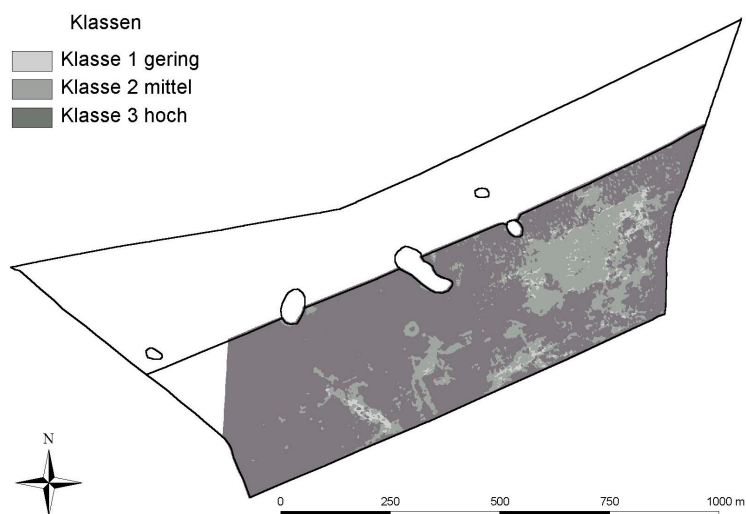


Abb. 7-7:

Clusteranalyse Ertrag Schlag 104, KSG auf der Grundlage des Luftbilds vom 14.08.2000

Für beide Untersuchungen lagen wenige Datenpunkte vor, so dass die Ergebnisse für sich genommen keine validen Aussagen zulassen. Es ist jedoch zu beobachten, dass beide Ergebnisse ähnliche Strukturen ausweisen. Die Klassifikationen bilden drei verschiedene Niveaus der Bestandeshöhe ab. Nach Gebbers, 2000 (mündl. Mittl.) nimmt mit zunehmender Bestandeshöhe auch der Ertrag zu. Daraus rückschließend spiegelt die Klassifikation indirekt drei verschiedene Ertragsniveaus wider. Somit müsste sich diese Beziehung zwischen den Klassen und Ertragsda-

ten wiederfinden. Allerdings ist die Streuung der Beziehung Erträge-Bestandeshöhe innerhalb der einzelnen Trainingsgebiete einer Klasse sehr hoch, so dass sich die genannte Beziehung nur tendenziell abzeichnet. Dafür gibt es unter anderem zwei mögliche Gründe:

- zum einen die geringe Anzahl von Trainingsgebieten pro Klasse und
- zum anderen die Qualität der Ertragsmesswerte des Mähreschers.

Die Hinzunahme weiterer potentiell ertragsrelevanter Parameter (Ansatz 2) bewirkt eine größere Differenzierbarkeit der Ertragsmuster. Es ist folglich denkbar, dass man mit Hilfe der Bestandeshöhen schon zu früheren Zeitpunkten das Ertragsmuster detektieren kann und somit eine relative Ertragsabschätzung möglich wird.

7.4.3.2 Regressionsanalyse zur Ertragsschätzung

Zur Ernte sollte zeitnah eine Ertragsschätzung mittels Ertragsdaten von Mähreschern und Luftbildern vorgenommen werden. In der Annahme, dass es eine Beziehung zwischen Farbwert und Ertrag gibt, wird hierbei der Ertrag als abhängige Variable von den DN's im Luftbild betrachtet.

$$y = b + a_1 \cdot R + a_2 \cdot G + a_3 \cdot B$$

Die Streudiagramme lassen eine lineare Beziehung zwischen Ertrag und RGB erkennen. Daher lässt sich allgemein folgende lineare Regressionsgleichung formulieren:

mit

$$y = \text{Ertrag [dt]}$$

$$R = \text{sichtbare Rotreflexion (digital number [DN])}$$

$$G = \text{sichtbare Grünreflexion [DN]}$$

$$B = \text{sichtbare Blaureflexion [DN].}$$

Berechnet wurde dieses Modell sowohl für ungeglättete als auch geglättete Ertragswerte und einem Low-Pass gefilterten Luftbild vom 14.08.2000 mit folgenden Ergebnissen:

Modell 1 (für ungeglättete Ertragswerte)

$$y = -21,50 + 8,41 \cdot 10^{-3} R - 3,73 \cdot 10^{-2} G + 3,92 \cdot 10^{-2} B$$

mit $r^2 = 0,467^{***}$

Modell 2 (für geglättete Ertragswerte),
Abb. 7-8

$$y = -30,15 + 5,92 \cdot 10^{-3} R - 3,34 \cdot 10^{-2} G + 3,92 \cdot 10^{-2} B$$

mit $r^2 = 0,572^{***}$

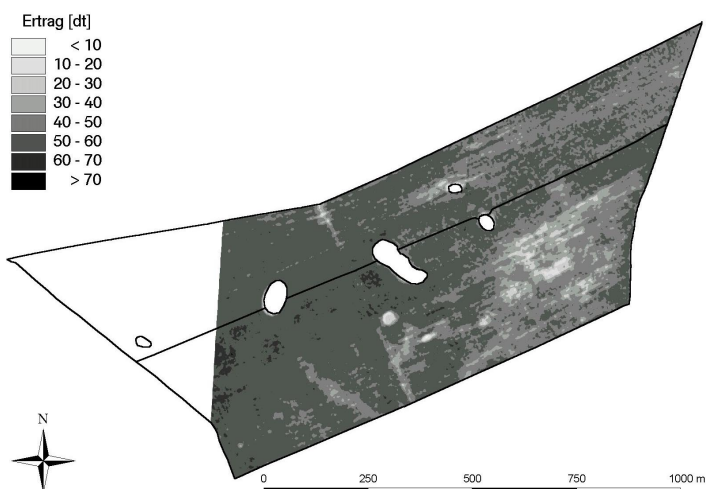


Abb. 7-8: Ertragsschätzung Schlag 104, KSG auf der Grundlage des Luftbilds vom 14.08.2000

Das Modell 1 ist zwar statistisch weniger erklärt, schätzt allerdings die Extremwerte besser als Modell 2. Zur Bewertung der Ertragsdaten wurde kontrolliert, ob sich die Messwerte innerhalb des 0,95 % Konfidenzintervalles des Regressionsmodells befanden. Die meisten Punkte, die außerhalb der dreifachen Standardabweichung lagen, sind auf typische Ertragsmessfehler zurückzuführen. Sie liegen in der Regel fortlaufend hintereinander in einer Arbeitsreihe, ohne dass eine Korrespondenz zu benachbarten Reihen vorliegt. In einigen Fällen kann man räumliche Cluster feststellen, die auf die Ungenauigkeit des Regressionsmodells zurückzuführen sind. Spektrale Ähnlichkeit unterschiedlicher Ertragswerte verschiedener Standorte kann die Ursache für die ungenaue Schätzung sein. Folglich müssen weitere ertragsrelevante Informationen (z. B. DGM-Ableitungen) zur Optimierung herangezogen werden, um solche Stellen genauer schätzen zu können. Jedoch hängt die Qualität der Schätzung von der Genauigkeit der Ertragsdaten ab, an denen das Modell kalibriert wurde. In diesem Fall standen ausschließlich von Mähdreschern erfasste Ertragsdaten zur Verfügung. Daher sollen für das Jahr 2001 zusätzliche Ground Truth erhoben werden, um eine solche Kalibrierung besser vornehmen zu können und somit das Ergebnis einer punktuell ermittelten Regressionsgleichung und deren luftbildgestützten Extrapolation mit den von Mähdreschern erfassten Erntedaten vergleichen zu können.

7.4.4 Visuelle Luftbildinterpretation

Das nachfolgende Beispiel soll mit der Analyse einer Zeitreihe während der Vegetationsperiode 1998/99 für den Schlag 110 der KSG Kassow (15,36 ha) die Bestandesentwicklung von der Aussaat bis zur Ernte dokumentieren. Durch die deskriptive Interpretation der Aufnahmen und der Luftbildkartierung soll die Bedeutung von Bodeneigenschaften, pflanzenbaulichen Maßnahmen und sonstigen Ereignissen im Verlauf eines Jahres im Hinblick auf den Ertrag räumlich analysiert werden. Zudem sollen die Möglichkeiten einer luftbildgestützten Pflanzenbonitur als Grundlage für angepasste Management Units aufgezeigt werden.

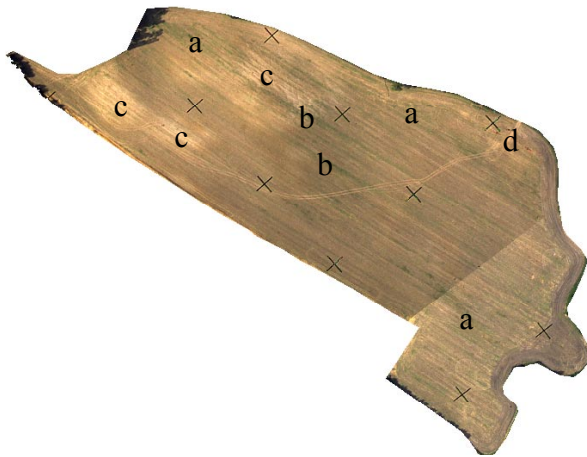
7.4.4.1 Deskriptive Luftbildinterpretation

In die Interpretation der vier (von sechs) vorgestellten Aufnahmen fließt schlagbezogenes Vorwissen über die pflanzenbaulichen Maßnahmen und das geogene Standortpotential mit ein. Da der (teilflächenspezifisch) arbeitende Landwirt seine Schläge in ähnlicher Weise kennt, soll dieses Beispiel auch die Aussagemöglichkeiten bzw. die Managementoptionen für den Landwirt verdeutlichen.

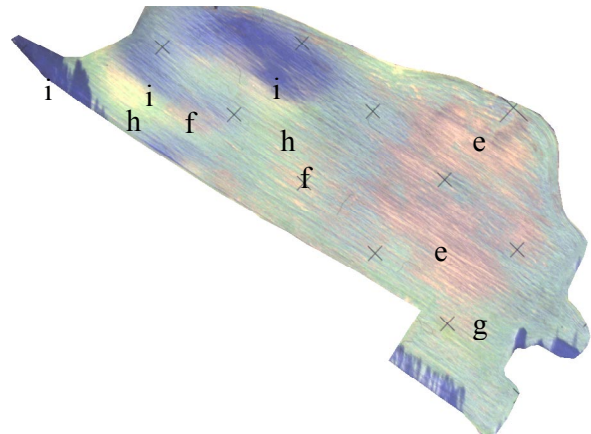
Interpretation Luftbild 09.08.1998

Die Aufnahme vom 09.08.1998 zeigt das geräumte Feld, auf dem als Vorfrucht Wintergerste angebaut wurde. Eine Stoppelbearbeitung ist bereits erfolgt und die Aussaat stand in 12 Tagen an. Für eine erfolgreiche Aussaat werden an das Saatbett hohe Anforderungen gestellt. Dies betrifft insbesondere die Bodenstruktur und die Wasserversorgung, damit ein rasches Auflaufen des Winterraps möglich wird. Bei einer pfluglosen Bearbeitung ist darüber hinaus bei der Bodenbearbeitung auf eine gleichmäßige Einarbeitung des Strohs sowie eine effiziente Unkrautbekämpfung zu achten. Bei der Interpretation des Luftbildes fällt auf, dass die Restverunkrautung

bzw. der Wiederaufbau sehr unterschiedlich sind. In einigen Bereichen (a) sind zusammenhängende Unkrautnester zu beobachten, in anderen Bereichen (b) sind eher streifige, auf eine unzureichende Bearbeitung hindeutende Verunkrautungen oder wieder aufgelaufene Wintergerste zu erkennen. Während die Bereiche mit einer leichten Verunkrautung durch entsprechende Maßnahmen nicht ertragsmindernd wirken, ist bei den stärkeren Verunkrautungen mit Ertragseinbußen zu rechnen. Weiterhin deutlich sichtbar sind die sehr trockenen und sandigen Stellen (c) sowie die Hauptzufahrt des Schlages (d), in dessen Bereich mit einer starken Verdichtung zu rechnen ist. Dies konnte durch Kontrollbohrungen eindeutig bestätigt werden.



Luftbild 09.08.1998
(Schlag 110, KSG Kassow)



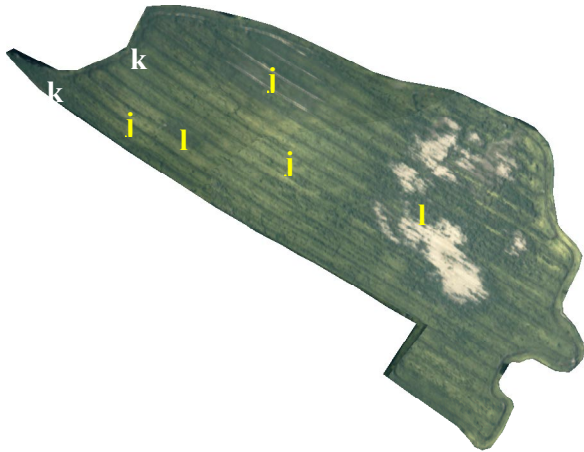
Luftbild 22.12.1998
(Schlag 110, KSG Kassow)

Interpretation Winteraufnahme 22.12.1998

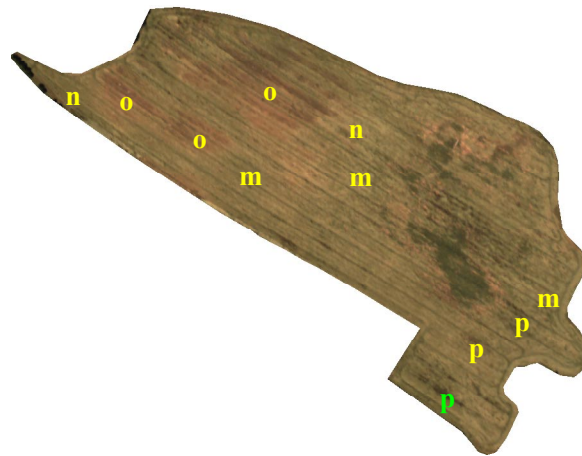
Bei der Winteraufnahme zur Vegetationsruhe ist die Bestandesetablierung abgeschlossen. Als erstes fällt die ca. 3 ha große Fehlstelle (e) auf, die durch Schnecken verursacht wurde. Weiterhin deutlich sichtbar sind die Fehlstellen (f), an denen der Raps durch mangelnde Feuchtigkeit nicht aufgelaufen ist. An diesen Stellen kommt zu dem sandigen Substrat noch die feuchtigkeitszehrende (Süd)-West-Exposition. Das Unkraut hat sich an einigen Stellen (g) durchgesetzt, die auch schon in der Augustaufnahme deutlich waren. Durch den niedrigen Sonnenstand ist der Einfluss der Exposition recht deutlich. Während die süd- und west-exponierten Lagen (g) in der Sonne liegend frostfrei sind, herrscht auf den nord-exponierten Lagen sowie im Waldschatten noch um die Mittagszeit Frost vor (h).

Interpretation Frühsommernaufnahme 05.06.1999

Die Aufnahme zeigt den Beginn der Rapsblüte (EC 61). Der Blühbeginn wird in erster Linie von der Temperatursumme und dem Entwicklungsstand bestimmt. Aufgrund der morphologischen Situation ist auf den süd- und west-exponierten Lagen ein früherer Blühbeginn zu beobachten (j). Ein verspäteter Blühbeginn in Kaltluftlagen (k) und verspätete Vegetationsentwicklung (l) wirken sich auch negativ auf den Ertrag aus.



Luftbild 06.05.1999
(Schlag 110, KSG Kassow)



Luftbild 09.07.1999
(Schlag 110, KSG Kassow)

Interpretation Abreifeaufnahme 09.07.1999

Die Aufnahme vom 09.07.99 spiegelt die Situation kurz vor der Ernte wider (EC 87 - 95). Die ertragsstarken Bereiche (m) sind durch ihre grünliche Färbung mit dichten, d. h. zu leichtem Lager neigenden Beständen zu erkennen. Weniger dichte Bestände (n) zeichnen sich durch eine hellgrüne Färbung aus. Auf den sandigen bzw. trockenen Standorten (o) schließlich hat eine vorfrühte Abreife stattgefunden, die sich durch eine Braunfärbung bemerkbar macht. Die in der ersten Aufnahme dieser Reihe beobachteten Unkrautnester haben streckenweise den Bestand überwachsen und werden zu empfindlichen Ertragseinbußen führen (p).

7.4.4.2 Visuelle Luftbildkartierung der Bestandesdichte

Neben einer deskriptiven Interpretation sind die Bestandesdichte bzw. die Biomasse visuell nach einem einfachen qualitativen Interpretationsschlüssel (Fehlstelle, niedrig, mittel, hoch) kartiert worden. Die Ergebnisse sind in der Abb. 7-9 a-d dargestellt. Aufgrund der teilweise starken Verunkrautung ist für verschiedene Termine die Verunkrautung nach dem gleichen Interpretationsschlüssel kartiert worden. Wie an obiger Stelle erwähnt, ändert sich das räumliche Muster während der Vegetationsperiode aufgrund unterschiedlich limitierender Einflussfaktoren. Die Saattbettbedingungen z. B. spielen in den obersten 5 cm sowie das verfügbare Wasserdargebot während der Aussaat im Herbst eine große Rolle. Im Laufe der Vegetationsperiode haben, neben dem Unkraut- und Pilzdruck, z. B. die Bodenqualität, das Nährstoffangebot und das verfügbare Wasser einen größeren Einfluss auf die räumliche Bestandesdifferenzierung.

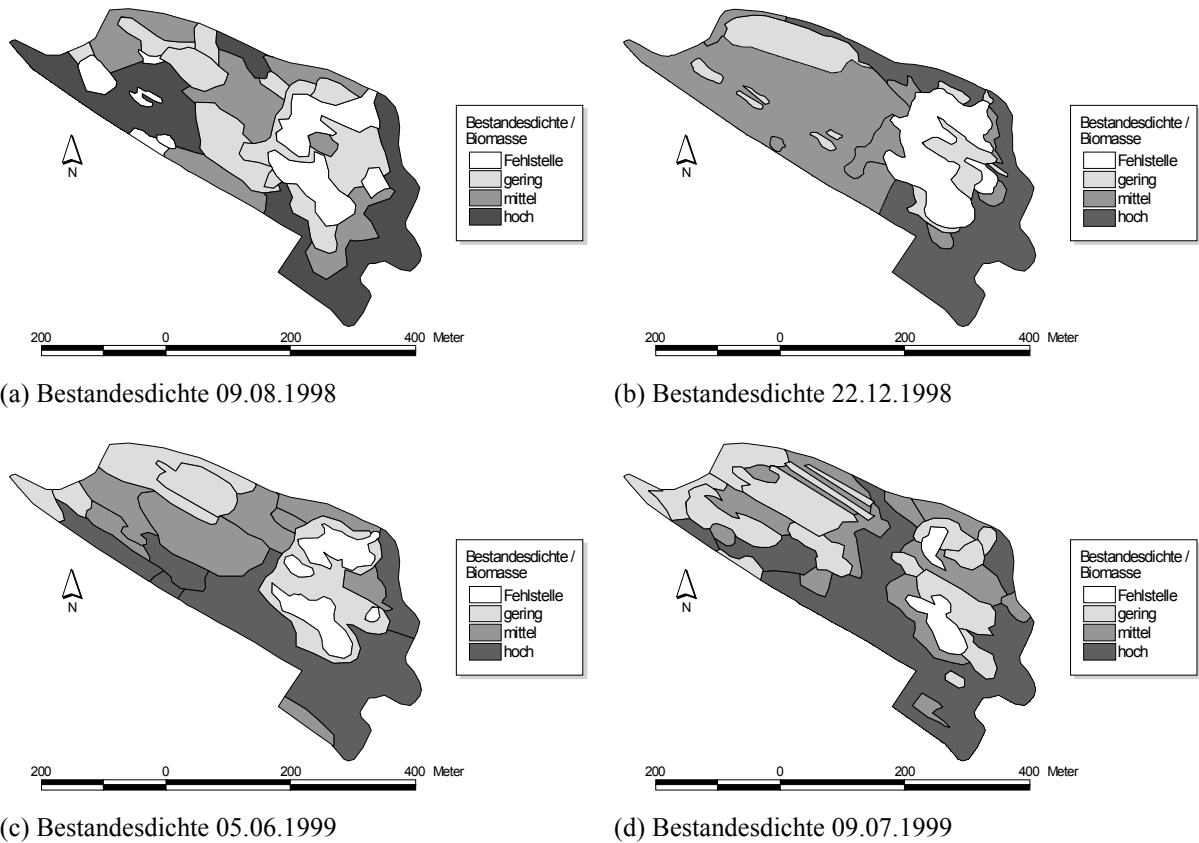


Abb. 7-9: Luftbildkartierung der Bestandesdichte '98/99 Schlag 110 (KSG Kassow)

Das Muster des Pflanzenbestandes verändert sich im Laufe der Vegetationsperiode und ähnelt immer mehr dem Muster der Ertragskarte, wie den Boxplots in Abb. 7-10 zu entnehmen ist. Die als geringe Biomasse kartierten Bereiche der Sommeraufnahme bringen einen ca. 40 % niedrigeren Ertrag gegenüber den Bereichen mit einer hohen Bestandesdichte. Dieser in Wirklichkeit noch höhere Unterschied wird durch das Ertragskartierungssystem von Fieldstar aufgrund statistischer *a priori*-Filterung und Interpolation nicht wiedergegeben. Auf benachbarten Schlägen liegen die Unterschiede zwischen Bereichen hoher und niedriger Bestandesdichte bei ca. 50 %, siehe Grenzdörffer und Gebbers (2001). Die zum Ende der Vegetationsperiode kartierte Verunkrautung hat ebenfalls einen großen Einfluss auf die Ertragsleistung.

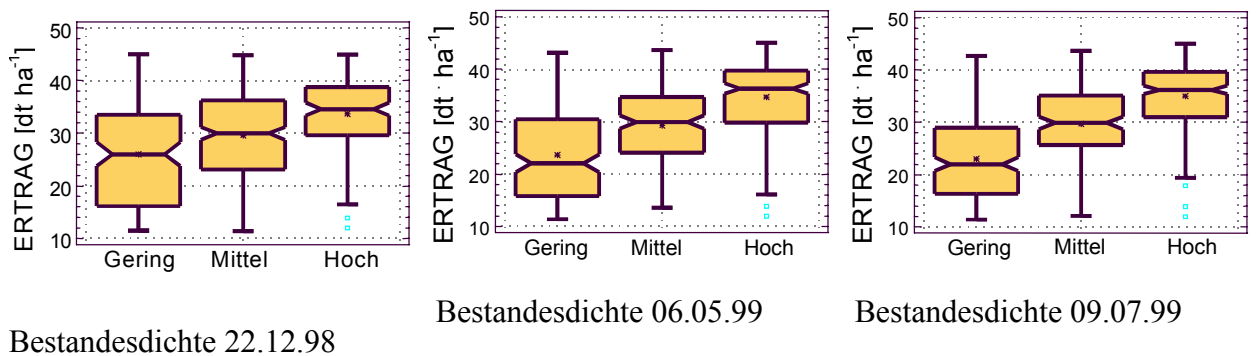


Abb. 7-10: Entwicklung des Zusammenhangs zwischen im Luftbild kartierter Bestandesdichte und dem Kornertrag, Schlag 110 '98/99

Die ertragslimitierenden Faktoren und der Erfolg von pflanzenbaulichen Maßnahmen verändern das räumliche Muster des Bestandes nicht nur innerhalb einer Vegetationsperiode sondern auch zwischen den Jahren. Verschiedene Feldfrüchte haben unterschiedliche Ansprüche an Boden, Nährstoffe, Klima etc. Dies führt zu sehr unterschiedlichen Ertragsmustern (siehe für eine siebenjährige Auswertung auch Grenzdörffer und Gebbers 2001).

7.4.4.3 Luftbildgestützte Pflanzenbonitur

Das Ziel einer differenzierten Pflanzenbonitur ist es, repräsentative Punkte zu beproben, um damit einen Querschnitt aller vorkommenden Phänomene sowie Aussagen zur Verteilung z. B. der Vegetations- und Unkrautentwicklung zu bekommen. Hierbei lassen sich Luftbilder in zweierlei Hinsicht optimal in den Boniturprozess einbinden: zum einen bei der Auswahl repräsentativer Punkte/Flächen vor einer Bonitur im Sinne einer Konzeptkarte und zum anderen bei der Übertragung der Boniturergebnisse in die Fläche.

Bei der Pflanzenbonitur auf dem Schlag 110 in Kassow sind am 05.03.1999 an 7 Bonitурpunkten, die anhand des Luftbildes vom 22.12.98 ausgewählt wurden, folgende Parameter erfasst worden:

Bestandesparameter	Verunkrautung	Gesamtbewertung
- Anzahl Pflanzen	- Stärke der Verunkrautung	- Gesamtnote für Standort
- Wurzeldurchmesser	- Benotung der Verunkrautung	
	- Bestimmung der Leitunkräuter	

Auf der Grundlage der Bonitur wurde ein Interpretationsschlüssel entwickelt, der auf die Differenzierbarkeit im Luftbild und auf die besonderen Belange des Schlages Rücksicht nimmt.

- Als Schwellwert für einen geringen Bestand wurde ein Wert von weniger als 30 Pflanzen je m² und ein durchschnittlicher Wurzeldurchmesser von < 5 mm gewählt. Ertragserwartung 20 - 28 dt/ha Raps, je nach Verunkrautung.
- Bei mehr als 30 Pflanzen je m² und einem Wurzeldurchmesser von 5 - 8 mm wurde der Bestand als mittel bzw. normal eingestuft. Ertragserwartung 25 - 32 dt/ha.
- Homogene Bestände mit wenig Unkraut, mehr als 30 Pflanzen je m² und einem Wurzeldurchmesser von mehr als 8 mm wurden mit hoch eingestuft, Ertragserwartung > 30 dt/ha.
- Zusätzlich zur Bestandesdichte wurden besonders heterogene lückige Bestände, stark verunkrautete Bestände und vernässte Bestände extra ausgegliedert.

Die Ergebnisse der luftbildgestützten Bonitur und Kartierung (auf der Grundlage des Luftbildes vom 22.12.98, Abb. 7-9b) und der tatsächlich erzielte Ertrag in den drei Klassen sind in Tab. 7-2 zusammengefasst.

Tab. 7-2: Vergleich der luftbildgestützten Bonitur zur Bestandesdichte 06.03.99 und dem tatsächlichen Ertrag, Schlag 110 Kassow, Winterraps

BESTAND Schlag 110	Fläche [ha]	Fläche [%]	Ertragserwartung	Ertrag $\bar{\varnothing}$ [dt · ha ⁻¹]
Fehlstelle	2,32	15,2	< 20	(26.6)*
gering	2,24	14,7	20 – 28	23.7
mittel	6,64	43,3	25 – 32	29.3
hoch	4,13	26,9	> 30	33.6
Summe / Durchschnitt	15,36			$\bar{\varnothing}$ 29.2

* überhöhter Wert durch Interpolation

Damit zeigt sich, dass die Anfang März geschätzte Ertragserwartung der drei Klassen mit dem tatsächlichen Ertrag gut übereinstimmt. Außerdem wird deutlich, dass eine luftbildgestützte Bonitur und Kartierung zu Beginn der Vegetationsperiode im Frühjahr schon verlässliche quantitative Aussagen über den Ertrag zulassen, die bei den gesamten nachfolgenden Maßnahmen (z. B. Düngung, PSM) berücksichtigt werden können.

7.5 Diskussion

Mit den vorgestellten analogen und digitalen Auswertestrategien konnte ein Teil des Informationspotentials der Luftbilder aufgezeigt werden, wobei die Qualität der Aussagen mit den Ground Truth-Daten sehr eng verknüpft ist. Ein anderer Teil, der sich schwer schriftlich fixieren lässt, liegt z. B. in der intuitiven und teilweise unbewussten Erkenntnis von Zusammenhängen durch die Luftbilder und dem in diesem Rahmen bisher nicht näher untersuchten Managementpotential für den Landwirt.

7.6 Ausblick 2001/Zukünftige Arbeiten

2001 sollen neben den oben erläuterten Bildflügen inkl. deren Auswertung verstärkt Satellitenbilder mit zwei verschiedenen inhaltlichen und räumlichen Schwerpunkten ausgewertet werden.

1. Untersuchung der **Möglichkeiten multitemporaler Satellitenbildserien für precision agriculture** im Rahmen der Bestandesführung und der Ertragsprognose an Beispielschlägen im Raum Baasdorf/TAS Raguhn. Dafür ist eine Satellitenbildzeitreihe im Zeitraum vom 22.02.2001 - 17.08.2001 (12 Landsat TM-Aufnahmen (Miniszene (50 * 50 km)) im Raum Baasdorf/TAS Raguhn bestellt worden. Die Zeitreihe soll zur
 - Beobachtung der Entwicklung und Variabilität von räumlichen Bestandesmustern und zur Analyse der pflanzenbaulichen Bedeutung, zur
 - Berechnung des LAI zur Kopplung der Reflexionswerte an das Ertragsprognosemodell CERES (TP II-6b) und zur
 - Untersuchung und zum Vergleich der spektralen Reflexionsmuster mit terrestrischen und flugzeuggestützten Sensoren (N-Sensor (TP I-2, TP III-4), Pendolometer (TP III-5), Luftbilder (TP II-2), NIR-Aufnahmen (TP II-4), MS-Scanneraufnahmen (TP II-6a)) verwendet werden.

2. **Satellitenfernerkundung zur Standortpotentialanalyse:** Im Raum Thumbby sind im Teilprojekt IV-4a mit verschiedenen numerischen Modellen aus dem Methodenpaket DILAMO unterschiedliche Standorteigenschaften berechnet worden. Allerdings beruhen die Modelle weitestgehend auf den amtlichen Daten ohne Berücksichtigung von z. B. Drainagen. Als Ergänzung und zur Präzisierung der Modelle soll eine multitemporale Satellitenbilddauswertung von 3 Landsat TM-Miniszeneen der letzten 10 Jahre durchgeführt werden, um z. B. Vernässungen und Trockenstressstandorte zu identifizieren.

7.7 Literatur

- Auernhammer, H. (1999): Precision farming for site-specific Fertilisation.- Zeitschrift für Agrarinformatik (GIL). 7. Jahrgang: S. 58 – 66.
- Grenzdörffer, G. und Gebbers, R. (2001): Seven Years of Yield Mapping - Analysis and Possibilities of Multi Year Yield Mapping Data.- In: F. Sévila, S. Blackmore, G. Grenier [ed.]: Precision Agriculture '01.-Proceedings of the Third European Conference on Precision Agriculture, Montpellier June 18th-21st, 2001. 6 S. (Im Druck).
- Irrgang, A., Johnen, T. und Gebbers R. (2001): Evaluation of Yield Maps by Low-Cost Remote Sensing. In: F. Sévila, S. Blackmore, G. Grenier [ed.]: Precision Agriculture '01.-Proceedings of the Third European Conference on Precision Agriculture, Montpellier June 18th-21st, France.
- Lillesand, T.M. und Kiefer, R.W. (1994): Remote Sensing and Image Interpretation.- 3. Aufl.: 750 S.; John Wiley & Sons.
- Smith, G.M. und Curran, P. (1999): Methods for estimating image signal-to-noise-ratio (SNR).- In: Atkinson, P.M. und Tate, N.J. [Hrsg.]: Advances in Remote Sensing and GIS Analysis: S. 61 – 74; Chichester (Wiley & Sons).
- Sökefeld, M., Gerhards, R. und Kühbauch, W. (1999): Einsatz der digitalen Bildverarbeitung zur teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle.- In: Bill, R., Grenzdörffer, G. und Schmidt, F. [Hrsg.]: Sensorsysteme im Precision Farming.- Interner Bericht Heft Nr. 12 Institut für Geodäsie und Geoinformatik: S. 75 – 82; Rostock.
- Wollring, J. und Reusch, S. (1999): Variable N-Düngung mit Hilfe eines Online Sensors.- In: Bill, R., Grenzdörffer, G. und Schmidt, F. [Hrsg.] (1999): Sensorsysteme im Precision Farming.- Interner Bericht Heft Nr. 12 Institut für Geodäsie und Geoinformatik: S. 93 – 104; Rostock.

7.8 Adressen

Prof. Dr. R. Bill, Dipl. Geogr. A. Irrgang, Dipl. Geogr. G. Grenzdörffer

Universität Rostock

Agrarwissenschaftliche Fakultät

Institut für Geodäsie und Geoinformatik

Justus-von-Liebig-Weg 6

18059 Rostock

Tel: 0381/498-2162, -2025, -2183

Fax: 0381/4982188

E-Mail: ralf.bill@agrarfak.uni-rostock.de, andreas.irrgang@agrarfak.uni-rostock.de
goerres.grenzdorffer@agrarfak.uni-rostock.de