

Ein multi-temporaler Klassifikationsansatz zur Erfassung der Landbedeckung mit RapidEye Satellitenbilddaten

Das neue satellitenbasierte Fernerkundungssystem von RapidEye besteht aus fünf unabhängigen Satelliten, die einen Orbit in ca. 620 km Höhe besetzen und alle mit jeweils einem identischen Multispektralsensor MSI (Multi-Spectral Imager) ausgerüstet sind. Die Konstellation der Satelliten in Verbindung mit ihrer Umlaufbahn ist so gewählt, dass jeder Punkt der Erdoberfläche täglich erreicht werden kann. Das RapidEye Satellitensystem wird im zweiten Halbjahr 2007 gestartet und ab dem 1. Halbjahr 2008 operationell Daten liefern. Regelmäßige Kalibrierungszyklen werden die Vergleichbarkeit und Homogenität der Daten unabhängig vom Aufnahmezeitpunkt und vom jeweils benutzten MSI sichern.

Die RapidEye AG in Brandenburg a.d.H. ist gegenwärtig dabei, Konzepte und Produkte für die Erfassung und Analyse der Landbedeckung auf der Basis dieser neuen Daten zu entwickeln. Das dazu konzipierte objektbasierte Klassifikationsschema fußt auf einem hierarchischen Ansatz, der in der ersten Hierarchieebene generalisierte Klassen erzeugt. Zur Unterscheidung der Klassen werden spektrale Objekteigenschaften gemeinsam mit geometrischen und Texturmerkmalen genutzt. Zur Trennung der detaillierteren Klassen auf den folgenden Klassifikationsebenen werden multitemporale Datensätze mit sehr kurzen Aufnahmezeitintervallen genutzt. Dies ermöglicht die Rekonstruktion der Wachstumskurven von Vegetation für detailliertere Klassifikationen sowie weiterführende Analysen. Durch die Kombination von hoher zeitlicher und hoher geometrischer Bodenauflösung wird eine Verbesserung der thematischen Tiefe, der Trennschärfe und der Klassifikationsgenauigkeit erreicht.

Einleitung

Die Entwicklung der satellitengestützten Fernerkundung in den letzten Jahren war gekennzeichnet durch den Einsatz neuer Sensorsysteme mit immer höheren Bo-

denauflösungen, die gegenwärtig bereits deutlich die Marke von einem Meter unterschritten haben. Diese überwiegend bereits kommerziell betriebenen Satelliten liefern

damit Bilddaten, die in traditionelle Anwendungsbereiche der flugzeuggestützten Luftbilderfassung vordringen.

Trotz dieser technologischen Erfolge auf dem Gebiet der Bildauflösung stößt die Nutzung von satellitengestützten Fernerkundungstechnologien für eine ganze Reihe von potentiellen Anwendungsgebieten immer noch an systembedingte Grenzen. Dies kann insbesondere überall dort beobachtet werden, wo die Bilddaten zu einem definierten Zeitpunkt, mit einer sehr hohen zeitlichen Wiederholrate oder mit einer hohen Aufnahmegarantie gewonnen werden müssen.

Eine hohe Wiederholrate wird dabei insbesondere für multi-temporale Auswertungen auf der Grundlage von Vegetationswachstumsmodellen für viele Anwendungen in der Land- und Forstwirtschaft, für Monitoringanwendungen, bei ökologischen Fragestellungen, aber auch für detaillierte Landnutzungserfassungen benötigt.

Eine weitgehende Garantie für die Datenbereitstellung verlangen insbesondere alle Aufgaben, die im Zusammenhang mit zeitkritischen Anwendungen, mit der Erfüllung gesetzlicher und normativer Pflichten sowie mit Aufgaben im Katastrophen- und Gefahrenschutz verbunden sind. Da die Bildaufnahmemöglichkeit für optisch/infrarote Satellitensensoren durch die Wolkenbedeckung bestimmt wird, kann auch hier eine Erhöhung der Aufnahmewahrscheinlichkeit nur durch eine Verringerung des zeitlichen Abstandes zwischen zwei Überflügen eines Gebietes erreicht werden.

Es zeigt sich somit immer deutlicher, dass gegenwärtig der zeitliche Aspekt bei der Datengewinnung und die damit verbundene Sicherheit bzw. Wahrscheinlichkeit

der Bildaufnahme in einem definierten Zeitintervall für die Akzeptanz und Nutzung von Fernerkundungsmethoden eine große Bedeutung gewinnt.

Das RapidEye Satellitensystem

Aus den in der Einleitung dargelegten Überlegungen heraus entstand das RapidEye-Konzept für ein neues innovatives Fernerkundungssystem. Kernpunkt dessen war die Forderung nach einer hohen geometrischen Auflösung in Kombination mit einer hohen zeitlichen Wiederholrate bei gleichzeitiger, möglichst großer täglicher Flächenabdeckung. Prinzipiell sollte die Möglichkeit bestehen, jeden Punkt der Erdoberfläche täglich durch einen der RapidEye Satellitensensoren mit einer Bodenauflösung von 6 - 7 m zu erreichen und gleichzeitig eine ausreichende Gesamtkapazität des Systems für eine wöchentliche bzw. mindestens 14-tägige Wiederholung der Bildaufnahme über große zusammenhängende Gebiete zu erreichen.

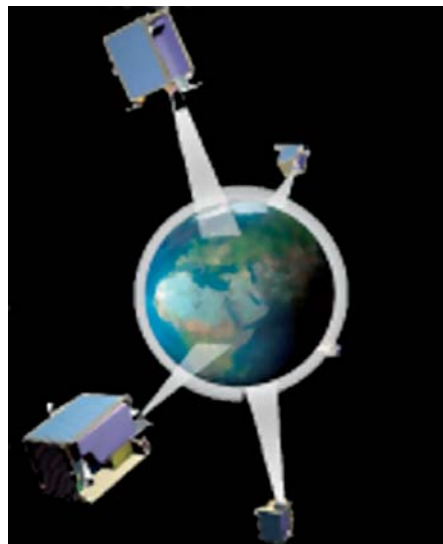


Abb. 1: Konstellation der RapidEye Satelliten

Konzeptionelle Studien haben gezeigt, dass ein solches System mit insgesamt 5 in einer nahezu polaren Umlaufbahn stationierten Satelliten realisierbar ist (Abb. 1). Alle 5 Satelliten fliegen dabei auf einer identischen Umlaufbahn mit 72° Winkelabstand. Die Bahnhöhe liegt bei ca. 622 km, die Inklination der Bahn beträgt 97°. Die lokale Überflugzeit am Äquator liegt bei ca. 11:00 Uhr mit jahreszeitlich bedingten Änderungen von ca. ±30 min.. Auf Grund der Abb. 1: Konstellation der RapidEye Satelliten Erdrotation beträgt der Abstand der Nadirpunkte zweier aufeinanderfolgender Satelliten in Ost-West – Richtung am Äquator ca. 540 km. Pro Tag (24 Stunden) absolviert jeder der 5 Satelliten 15 Erdumkreisungen.

Die Satelliten werden von der britischen Firma SST Surrey Satellite Technology entwickelt und gebaut, während die Entwicklung und Herstellung der digitalen Multispektralkamera MSI bei Jena Optronic in Thüringen erfolgt. Jeder dieser Satelliten ist mit einer identischen digitalen Kamera, dem MSI (Multi-Spectral Imager), ausgerüstet (Abb. 2). Diese Kameras arbeiten nach dem Prinzip eines multispektralen Pushbroom-Scanners mit 5 Sensorzeilen, die jeweils 12 000 CCD-Elemente

enthalten. Jede Sensorzeile nimmt dabei die Strahlungsinformationen in einem festgelegten Spektralkanal auf, von denen drei im optischen Bereich (blau – grün – rot) und zwei im nahen Infrarot (Red Edge, NIR) liegen. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der Spektralkanäle und der entsprechenden Wellenlängen.

Die Optik des MSI ist so ausgelegt, dass eine Schwadbreite des Bildstreifens von 77,25 km erreicht wird. Damit ergibt sich eine nominelle Bodenauflösung (Ground Sampling Distance) von 6,5 m. Der im Satelliten integrierte Bilddatenspeicher hat eine Kapazität von ca. 1 500 km Bildstreifenlänge bei Aufnahme aller 5 Spektralbänder. Somit können pro Orbit ca. 115 875 km² der Erdoberfläche in voller Auflösung unkomprimiert aufgenommen werden. Für alle 5 Satelliten zusammen ergibt sich damit bei 15 Orbits pro Tag, von denen etwa 10 über Landoberflächen verlaufen, eine tägliche Aufnahmekapazität zwischen 4 und 6 Millionen Quadratkilometer. Diese Fläche lässt sich nochmals fast verdoppeln, wenn die Anzahl der aufgenommenen Spektralkanäle reduziert oder die radiometrische bzw. geometrische Auflösung verringert wird. Diese Optionen können vom Boden aus gesteuert werden.

Kanal	Wellenlänge (nm)
1	440 - 510
2	520 - 590
3	630 - 685
4	690 - 730
5	760 - 850

Tabelle 1: Spektralkanäle des MSI

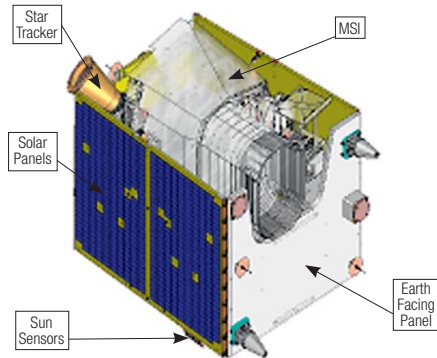


Abb. 2: Technologie der RapidEye Satelliten



Tag 1



Tag 2



Tag 3



Tag 4



Tag 5



Tag 6

Abb. 3: Abdeckung eines Gebietes durch RapidEye Satellitenaufnahmen

Zusätzlich verfügen alle Satelliten über ein System zur Lageveränderung, mit dem sich die Blickrichtung der Kamera quer zur Flugrichtung verändern lässt. Durch diese Möglichkeit erhöht sich die Flexibilität des Satellitensystems beträchtlich. Es ergibt sich daraus die Möglichkeit, potentiell jeden Punkt der Erdoberfläche täglich mit einem der Satelliten zu erreichen bzw. aufzunehmen. Insbesondere für Gebiete mit einer hohen Bewölkungswahrscheinlichkeit kann so die Chance zur Gewinnung einer wolkenfreien Aufnahme drastisch erhöht werden, da jede mögliche Wolkenlücke an einem beliebigen Tag zur Überflugzeit genutzt werden kann. Dazu wird bei der täglich zweimal erfolgenden Programmierung der Satelliten eine aktuelle Wolkenprognose einbezogen.

Mit der damit verfügbaren Aufnahmekapazität in Verbindung mit der Möglichkeit, die Satelliten zu schwenken und damit die

Aufnahmerichtung in festgelegten Grenzen zu variieren, können große Gebiete der Erdoberfläche in wenigen Tagen komplett abgedeckt werden. Abbildung 3 zeigt als Beispiel die Komplettabdeckung mit Fernerkundungsdaten für ein großes Gebiet in Osteuropa durch RapidEye-Satelliten innerhalb weniger Tage.

Das Operationszentrum für das RapidEye Satellitensystem hat seinen Sitz in Brandenburg an der Havel. Hier befinden sich die Anlagen für die operationelle Steuerung und Programmierung der Satelliten einschließlich der dafür benötigten S-Band Antenne. Diese besteht aus einem Parabolspiegel mit 3 m Durchmesser, der auf dem Dach des Hauptgebäudes installiert ist. Hier befinden sich auch das Bodensegment zur Verarbeitung und Auswertung der Bilddaten sowie das Zentrum für Forschung und Produktentwicklung (Abb. 4).

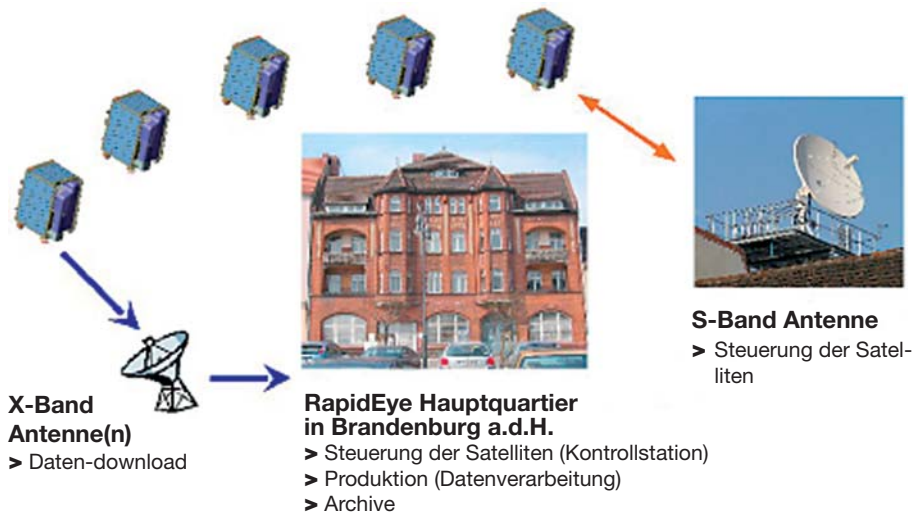


Abb. 4: Satelliten- und Bodensegment des RapidEye Fernerkundungssystems

Für den Empfang der Bilddaten (X-Band) sind Verträge mit mehreren Empfangsstationen in Deutschland, Europa und im außereuropäischen Raum in Vorbereitung. Die Übertragung der Bilddaten zum RapidEye Hauptquartier in Brandenburg erfolgt in kürzester Zeit über elektronische Datenübertragungswege, so dass die Bearbeitung der aufgenommenen Bilder in nahezu Echtzeit erfolgen kann.

Dienstleistungen – Ausgewählte Beispiele

Neben dem innovativen Satellitenkonzept unterscheidet sich auch das RapidEye Geschäftsmodell von den bisherigen Ansätzen. RapidEye versteht sich in erster Linie als Anbieter von integrierten Lösungen und Services im Geoinformationsbereich, basierend auf den aufgenommenen Satellitenbildern, und erst in zweiter Linie als Datenanbieter. Dazu verfügt RapidEye über ein Team von hochqualifizierten Anwendungsspezialisten und Technikern, die alle Aspekte der digitalen Bildverarbeitung

und Informationsextraktion beherrschen. RapidEye entwickelt und integriert dabei fundamentale Geoinformations-Verarbeitungsketten, auf denen dann kundenspezifische Lösungen aufbauen. Merkmale der von RapidEye entwickelten und angebotenen Geoinformationsprodukte und -services sind in methodischer Hinsicht unter anderem:

- Multispektrale und multitemporale Bildanalyse mit hoher zeitlicher Wiederholrate
- Objektorientierter Klassifikationsansätze
- Monitoring und Change Detection für große Gebiete
- Vektor- und Merkmalsextraktion
- vollautomatisierte Module für kundenspezifische Dienstleistungen
- zeitnahe Datenanalyse und Produktauslieferung

Eine Darstellung der vollständigen Angebotspalette ist im Rahmen dieses Beitrages selbstverständlich nicht möglich, deshalb werden im Folgenden dazu nur einige ausgewählte Beispiele gezeigt.

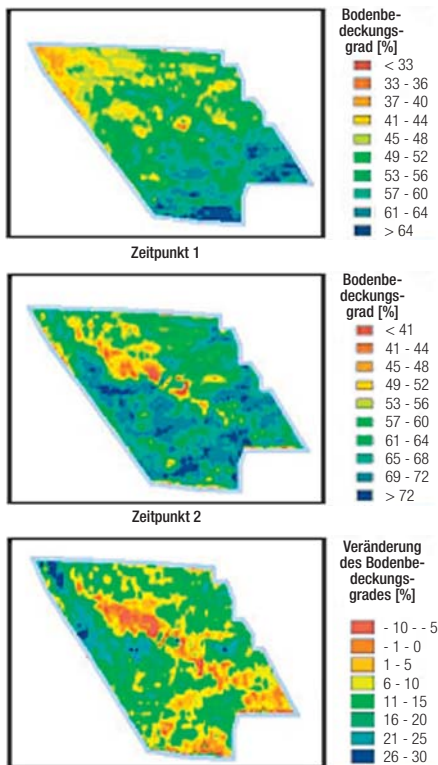


Abb. 5: Prinzip der Change Detection zur Erkennung von Anomalien im Frühstadium

Multitemporales Monitoring und Change Detection

Die hochauflösenden Bilddaten in Kombination mit der enormen Aufnahmekapazität, die eine quasi zeitgleiche Abdeckung sehr großer geografischer Regionen erlaubt, bilden die Grundlage für die vielfältigen Dienstleistungsangebote im Bereich Monitoring und Change Detection. Diese Serviceleistungen erstrecken sich in der Regel über einen längeren Zeitraum und erfordern die regelmäßige Aufnahme und vergleichende Analyse der entsprechenden Satellitenbilder. Die von den jeweiligen Kunden benötigten Zeitintervalle reichen dabei von wenigen Wochen bis zu meh-

rerer Monaten oder einem Jahr. Zu den Anwendungsfällen solcher Serviceleistungen gehören u.a.:

- Pipelineüberwachung in entlegenen Regionen
- Überwachung der Entwaldungsraten in betroffenen Ländern/Gebieten
- Überwachung von Krisen- und Kriegsgebieten
- Identifizierung von Schadensklassen, z.B. nach Hagelsturmereignissen, in landwirtschaftlichen Kulturen
- Erfassung von Veränderungen in urbanen Räumen wie z. B. der Siedlungsausbreitung

Landbedeckungsanalyse und Vegetationsklassifikation

Die multitemporalen Datensätze erlauben die Entwicklung kundenspezifischer Dienstleistungen, die auf vollautomatischen Prozessketten basieren, welche in der Lage sind, routiniert und akkurat die Veränderungen von Vegetation und anderen Landbedeckungsformen im Jahresverlauf zu erfassen. Der multitemporale Ansatz verbessert gegenüber Einzelaufnahmen signifikant die Klassifikationsgüten und die repetitive, verlässliche Natur des RapidEye Datenerfassungsprogramms gestattet eine zügige Reaktion auf Datenanforderungen. Einsatzmöglichkeiten betreffen z.B.:

- Regionale und nationale Landbedeckungsanalysen
- Fruchtarterkennung und Anbauflächenschätzung
- Repetitive Analyse von Vegetationsveränderungen im Jahresverlauf
- Standardisierte Landbedeckungsaktualisierungen zu geringen Kosten

Die Ergebnisse sind in vielschichtiger Hinsicht nutzbringend in der Praxis

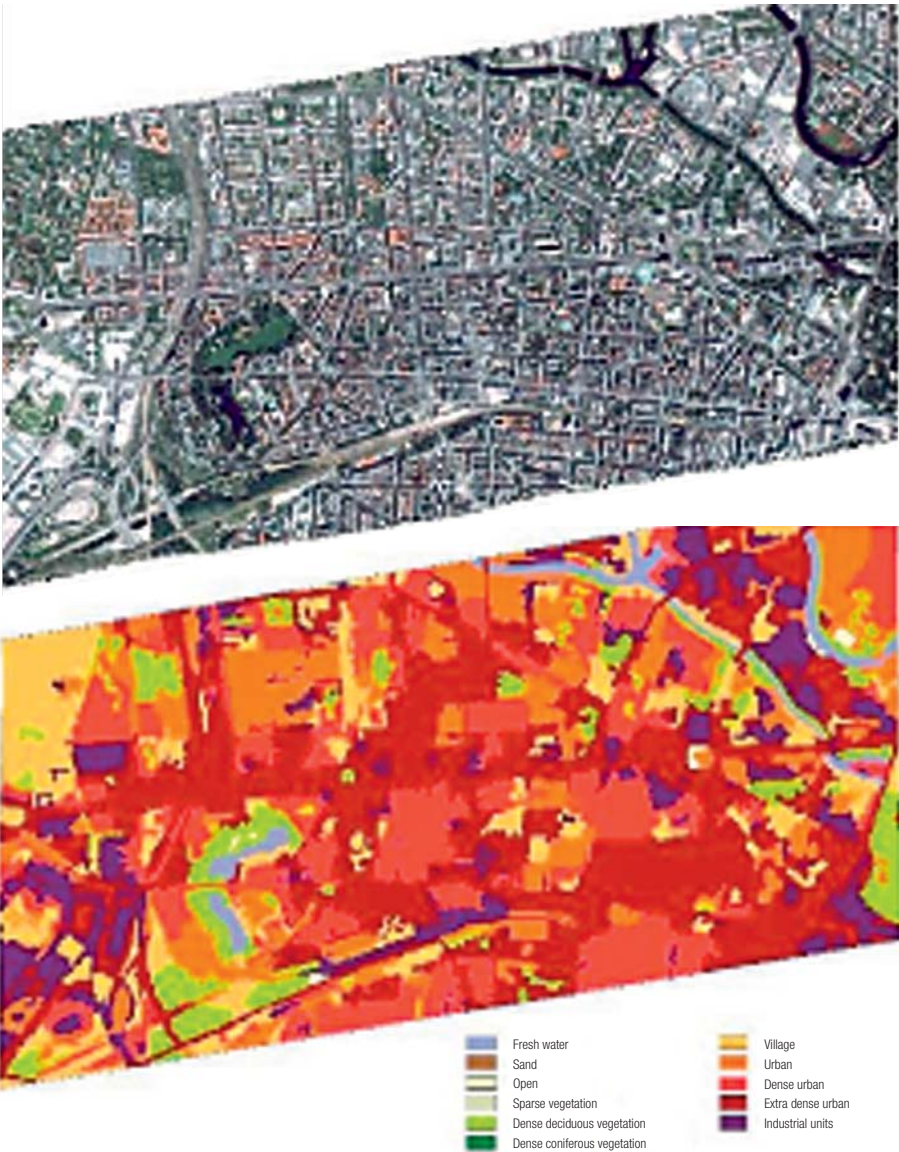


Abb. 6: Beispiel Landbedeckungsklassifikation aus verarbeiteten HyMap-Daten(Source: RE, 2006). Bild1: HyMap-Bild; Bild2: Klassifikationsergebnis

anwendbar. So kann beispielsweise die Veränderung der Landnutzungsmuster in den Umgebungen der weltgrößten Städte überwacht werden. Ebenso können in

landwirtschaftlichen Anbaubereichen die Flächen spezifischer Feldfruchtarten erfasst werden, um somit staatliche Versorgungsstrategien zu unterstützen.

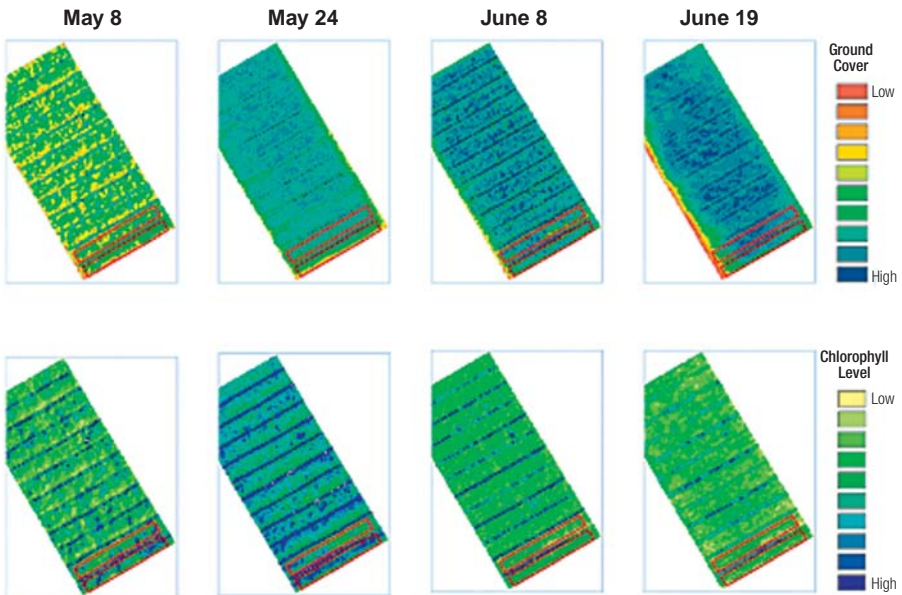


Abb. 7: Wintergerste: Auswirkung eines Pestizids auf das Wachstumsverhalten

Monitoring landwirtschaftlicher Nutzflächen

Einer der Schwerpunkte des RapidEye Dienstleistungsangebotes betrifft das Monitoring landwirtschaftlicher Nutzflächen, im Speziellen die Überwachung des Zustandes der Kulturen. Hierfür eignet sich insbesondere der Red Edge Kanal, der ein Alleinstellungsmerkmal des RapidEye Systems ist. Er ist in der Lage, Veränderungen des Vegetationszustandes zu identifizieren und zu messen. Dazu gehören vor allem:

- die Beurteilung des Gesundheitszustandes vitaler Vegetation
- die Beurteilung des Ernährungszustandes
- phänologische Veränderungen (saisonale Veränderungen des Erscheinungsbildes der Kulturen wie Wachstum und Reife)

Anbauflächen- und Produktions-schätzungen

Das Bild- und Informationsverarbeitungs-vermögen für land- und forstwirtschaftliche Märkte eröffnet Institutionen (Regierungen, Behörden, Organisationen) und Managern, die mit verschiedensten Fragen der nachhaltigen Nutzung der natürlichen Ressourcen konfrontiert sind, vielerlei neue Möglichkeiten. In diesem Sinne bietet das System beispielsweise im landwirtschaftlichen Bereich ein komplettes Dienstleistungspaket, das speziell für die Bewertung der Qualität und Quantität pflanzlicher landwirtschaftlicher Erzeugnisse ausgelegt ist. Dererlei Bewertungen beziehen sich insbesondere auf:

- frühsaisonale Anbauflächenschätzungen
- Schätzung des Zeitpunkts des Saataufgangs
- Intra-saisonale Zustandsbewertung
- Produktivitätsbewertung



Abb. 8: Simulierte RE-Bilddaten, hergestellt auf Grundlage von IKONOS True Colour
(Quelle: RE, 2006)



Abb. 9: Simulierte RE-Bilddaten, hergestellt auf Grundlage von IKONOS-CIR (Source: RE, 2006)

