

Entwicklung eines internetbasierten Recherchertools für Fernerkundungsdaten

Dipl. Ing. Peter Korduan ¹

1. Einleitung und Motivation

Ziel des Projekts vom BMB+F geförderten Verbundprojekts preagro ist es, das Konzept des Precision Farming, welches eine an die natürliche Heterogenität angepaßte Landwirtschaft mit modernster Technologie beinhaltet, interdisziplinär zu untersuchen und eine Operationalisierung vorzubereiten. Mit Precision Farming sollen Erträge gesteigert, Betriebsmittel eingespart und damit gleichzeitig die Umwelt geschont werden. Grundvoraussetzung des Precision Farming ist eine detaillierte Kenntnis der lokalen Bodenverhältnisse und des aktuellen Pflanzenbestandes. Hier kann die Fernerkundung wertvolle Beiträge leisten. Durch Blick aus der Vogelperspektive bekommt der Landwirt mit der Fernerkundung aktuelle und detaillierte flächendeckende Informationen über seine Schläge und ist in der Lage mit seinem Wissen entsprechend darauf zu reagieren. Darüber hinaus liefern regelmäßige Fernerkundungsaufnahmen über längere Zeiträume wichtige Informationen über persistente Strukturen (Grenzdörffer, 1998).

Im Rahmen von pre agro werden vom Institut für Geodäsie und Geoinformatik (IGGI) an der Universität Rostock mit einem digitalen low-cost Fernerkundungssystem pro Jahr ca. 1000 Einzelaufnahmen von landwirtschaftlichen Betrieben in ganz Deutschland erfolgen. Im Rahmen von zwei weiteren Teilprojekten erfolgt die Aufnahme zusätzlicher Bilder mit Hilfe verschiedener Sensoren. Darüber hinaus werden kommerzielle Satellitenbilder einbezogen. Die Archivierung und Verwaltung der Bilder erfolgt im Metadatenzentrum des Projektes am IGGI, vgl. Kapitel 2.

Um die Daten den am Projekt beteiligten Wissenschaftlern bzw. Landwirten bedarfsgerecht bereitzustellen, wird ein auf dem Internet basierendes Recherchesystem benötigt. Neben einer Recherche nach unterschiedlichen Kriterien hat dieses System die einfache und schnelle Distribution sowohl aktueller als auch bereits archivierter Bilder zu gewährleisten. Wegen des in der Regel großen Datenumfanges digitaler Fernerkundungsaufnahmen, pro Bild ist mit mindestens 10 MB zu rechnen, ist ein Vertrieb der Daten sowohl über das Internet als auch mittels externer Datenträger, in erster Linie CD-ROM, zu ermöglichen.

Datensammlungen auf externen Datenträgern sollten nicht nur die Bilder sondern auch die zu ihrer Interpretation notwendigen Metadaten umfassen, die dem Nutzer in einer Form darzustellen sind, die der Präsentation während der Recherche weitgehend entspricht. Um die Bilder sachkundig bewerten zu können, benötigen die Nutzer eine Vielzahl von Metainformationen, die textuell und / oder graphisch zu präsentieren sind. Da mit Hilfe derartiger Metadaten in der Regel nur eine unzureichende Vorstellung von den Bildinhalten vermittelt werden kann, ist in vielen Fällen eine zusätzliche graphische Vorabkontrolle durch Quicklooks notwendig. Die hier skizzierten Anforderungen sind nicht neu. Auf ihrer Basis wurden unterschiedliche Recherchesysteme insbesondere für Satellitenbilder realisiert. Eine nähere Analyse derartiger Systeme, vgl. Kapitel 3, ergab jedoch, daß die derzeit verfügbaren Lösungen den speziellen Anforderungen des Projektes pre agro nur ungenügend gerecht werden. Aus diesem Grunde wurde ein eigenes Recherchesystem entwickelt, welches im vorliegenden Beitrag im Kapitel 4 näher beschrieben wird. Aspekte der Realisierung dieses Systems werden im Kapitel 5 beleuchtet.

¹ Institut für Geodäsie und Geoinformatik, Universität Rostock, J.-v.-Liebig Weg 6, 18051 Rostock, email: peter.korduan@agrarfak.uni-rostock.de

2. Erfassung und Verwaltung von Fernerkundungsaufnahmen im Rahmen des Projektes pre agro

Am Projekt sind ca. 20 landwirtschaftliche Betriebe mit Flächen von 50 – 7.000 ha beteiligt. Die Feldgrenzen der Betriebe sind mit dem Differenziellen Globalen Positionierungssystem (DGPS) eingemessen und bilden zusammen mit digitalen Rasterkarten die topographische Grundlage für alle ortsspezifischen pflanzenbaulichen Maßnahmen sowie für eine raumbezogene graphische Recherche.

Im Vorfeld einer digitalen low-cost Befliegung wird am IGGI ein Bildflugplan mit der genauen Flugbahn erstellt. Dieser wird auf ein Laptop überspielt, mit einem DGPS gekoppelt und dient dem Piloten als Navigationsinstrument. Während eines Bildfluges werden die Bildmittelpunkte mit der DGPS-Position koregistriert. D.h. über einen GPS-Impuls wird die Aufnahme ausgelöst und die Position auf dem mitgeführten Laptop aufgezeichnet. Die Aufnahmen werden mit einer Längs- und Querüberlappung von 15-60 % geflogen. Nach dem Bildflug werden die aufgezeichneten Koordinaten der Bildmittelpunkte in eine ArcView Datei überführt und um weitere Metadaten zur Befliegung ergänzt. Die Erfassung der Metadaten wird zum größten Teil über ein Avenue-Skript realisiert, bei dem menügeführt allgemeine Angaben zum Bildflug eingegeben und ableitbare Informationen wie z.B. die Koordinaten der Bildeckpunkte automatisch generiert werden. Die Informationen über Bildnamen, Dateigröße und Uhrzeit werden während des Fluges aufgezeichnet und nach der Befliegung aus dem Laptop ausgelesen und mit den anderen Metadaten verknüpft. Von den unkomprimierten Farbbildern, die ca. 11.6 MB groß sind, werden Quicklooks generiert. Anschließend erfolgt die Integration der so erhobenen Metadaten in die zentrale Metadatenbank des Verbundprojekts².

Als weitere Fernerkundungsdaten sind neben den Bilddaten der Landesvermessungsämter Aufnahmen von anderen Projektpartnern z.B. der Firma AgroSat GmbH sowie Multi- und Hyperspektraldaten von der TU München für einzelne Betriebe integriert. Natürlich werden im Rahmen des Projekts auch Szenen bewährter Fernerkundungsmissionen wie Landsat TM und Spot ausgewertet. Ein weiteres Augenmerk gilt den zukünftigen hochauflösenden Satellitenmissionen. Die Metadaten aller Fernerkundungsdaten werden in einem vorgegebenen Schema ebenfalls an den Metadatenserver weitergereicht. Einen Überblick über die Datenflüsse im Rahmen des Projektes bietet die Abbildung 1.

² <http://www.preagro.de>

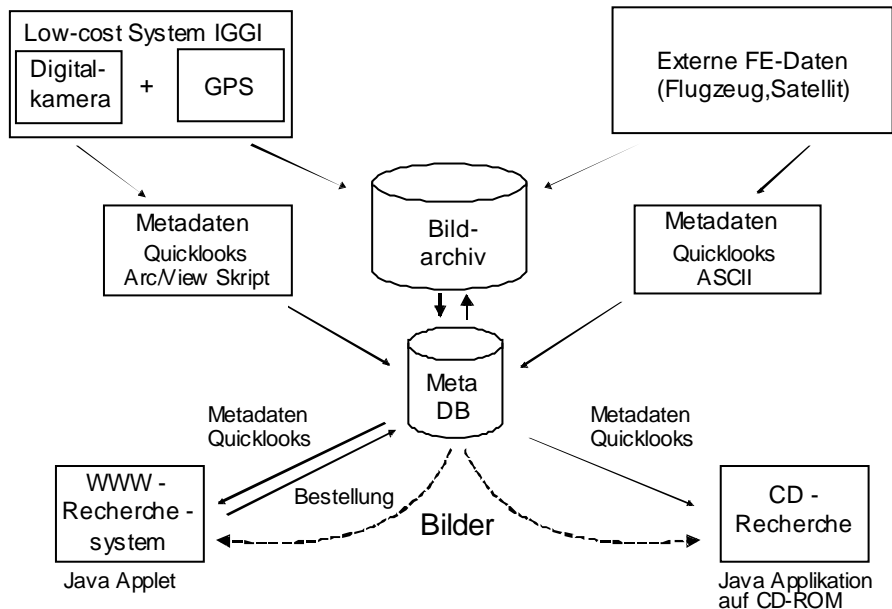


Abbildung 1: Datenflüsse bei der Erfassung und Verwaltung von Fernerkundungsdaten im Rahmen des Projektes pre agro.

Charakteristisch für das Precision Farming ist die große Anzahl an vorwiegend raumbezogenen Meßdaten. Dazu gehören neben den Fernerkundungsdaten z.B. auch Bodendaten, ökologische Daten, Pflanzen-, Technik- und Betriebsdaten.

Die Metadatenbank soll die strukturierte Erfassung und Bereitstellung des Datenbestandes weitgehend unterstützen. Sie wurde auf der Basis eines relationalen Datenbankmodells entwickelt und ist wie folgt aufgebaut. Die vier wichtigsten Gruppen von Metadaten sind administrative Daten (z.B. Personen, Institutionen, Projekte, Zugriffsrechte), Sachdaten (z.B. Dateien, Datensatzbeschreibungen, Literatur, Begriffe, Produkte), Attribute für den Zeitbezug und Daten für den Raumbezug (z.B. Punkt, Fläche, Koordinatensystem). Die Festlegung der Attribute erfolgt auf Basis der Anforderungen, der am Projekt beteiligten Fachdisziplinen. Zusätzlich werden aus den Sachdatensätzen generalisierte Informationen gewonnen, die dann für den gesamten Datensatz charakteristisch sind, z.B. Boundingboxen für die räumliche Zuordnung oder Mittelwerte von Bestandesdaten.

Dateien, speziell Bilder, werden in Verzeichnissen auf Festplatte oder auf externen Datenträgern gespeichert. Die Referenzierung dieser Dateien erfolgt in der Datenbank durch Angabe der Dateinamen und relativen Pfade. Auf die Speicherung der Dateien der Einzelbilder auf der Festplatte wurde verzichtet, weil die Datenmenge die Speicherkapazität des Servers übersteigen würde. So wird z.B. ein jährlicher Zuwachs an Fernerkundungsdaten um mehr als 50 Gigabyte erwartet.

Zusätzlich zu den Referenzierungsinformationen werden in der Datenbank Metainformationen verwaltet, die sich auf Dateien und deren Inhalt beziehen. Dabei sind Metainformationen, die für alle Dateien allgemein angegeben werden können, z.B. die Dateigröße, von denen zu unterscheiden, die jeweils nur für bestimmte Arten von Dateien angegeben werden, z.B. die Mittelpunkt-Koordinate in einem georeferenzierten Luftbild.

Fernerkundungsdaten liegen in Bild-Dateien vor, zu deren Interpretation spezielle Metainformationen notwendig sind. Die Metadaten zur Fernerkundung werden in einer separaten Tabelle gespeichert, die neben Verweisen auf allgemeine Dateiinformationen unter anderem Angaben zur Orientierung, zum Sensor, zu den Aufnahmebedingungen, zur geographischen Einordnung sowie Verweise auf Vorschau-Bilder enthält.

Die für die Recherche relevanten Metadaten beschreiben räumliche, zeitliche und sachliche Charakteristika der betreffenden Bilder. Die Beschreibung dieser Charakteristika erfolgt zunächst projektbezogen in einem begrifflichen Metaraum, der in einem kartesischen 3D Koordinatensystem veranschaulicht werden kann, vgl.

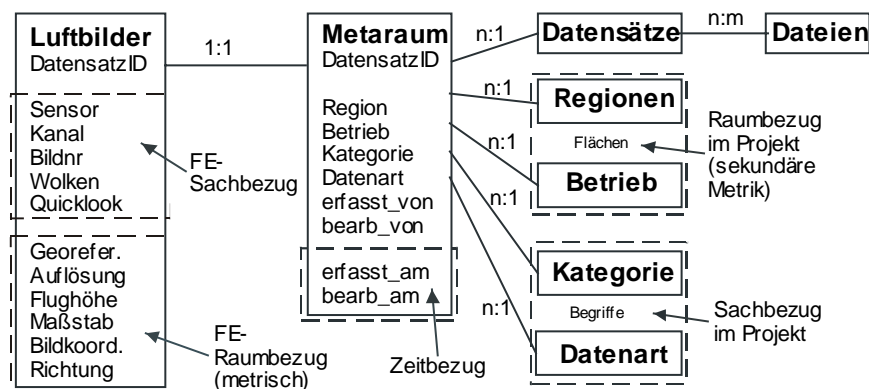
Abbildung 2. Eine Achse stellt den Raumbezug, eine den Zeitbezug und eine den Bezug zur Datenart dar. Die räumlichen Referenzen sind hierarchisch geordnete Flächen (Regionen, Betriebe, Schläge), die sachliche Zuordnung erfolgt über hierarchisch gegliederte Begriffe (Kategorie, Datenart), wobei es auf gleichen Hirarchiestufen keine Überschneidungen gibt. Die Einteilung bezieht sich auf die Erfordernisse im Projekt pre agro. Als temporale Informationen stehen Angaben zum Zeitpunkt der Erfassung, Bearbeitung und Archivierung zur Verfügung.

Abbildung 2: Veranschaulichung des Raum-, Zeit- und Sachbezuges durch den Metaraum.

Ein GIS-Datensatz kann zu mehreren Punkten im Metaraum zugeordnet werden. So kann ein Luftbild mehrere Betriebe überdecken, oder zu verschiedenen Zeiten bearbeitet worden sein. Ein GIS-Datensatz in der Metadatenbank ist die Entität, die einzelne oder mehrere zusammengehörige Dateien beschreibt. Im Falle der Fernerkundungsdaten sind das z.B. die Bilddatei, das Vorschaubild und eine Georeferenzierungsdatei.

Neben den für das Projekt festgelegten Bezügen im Metaraum ist mit der Orientierung der Luftbilder zusätzlich ein übergeordneter Raumbezug im System der Landesvermessung gegeben. Dieser wird zusammen mit den Angaben zum Sensor, zur Anzahl der Kanäle und zur Überdeckung mit Wolken in einer separaten Tabelle für Fernerkundungsdaten erfasst. Der Zusammenhang zwischen den für das Projekt festgelegten und den übergeordneten Bezügen ist durch die Datensatz ID hergestellt.

Zusätzlich zu den in Abbildung 3 dargestellten Entitäten und Relationen für den Fernerkundungsbereich sind in der Metadatenbank administrative Informationen über Urheberrechte, Zugriffsberechtigungen, Bildbestellungen und kartographische Zusatzinformationen berücksichtigt. Die Zugriffsberechtigungen auf die Luftbilder werden über die Zuordnung von Personengruppen zu Unterräumen im Metaraum repräsentiert. Dadurch können auch Zugriffsbeschränkungen mit räumlichen, zeitlichen und thematischen Kriterien realisiert werden. Die Zugriffsbeschränkungen unabhängig von den in der Metadatenbank registrierten Datensätzen zu speichern bietet den weiteren Vorteil, dass auch Beschränkungen zu noch nicht in der Metadatenbank registrierten Datensätzen möglich sind. Es lassen sich dadurch also auch Rechte für die Planung oder das



Anlegen von neuen Datensätzen registrieren.

Die Angaben zu Personen, Institutionen, Teilprojekten im pre agro und zu Bildbestellungen sind als Fremdschlüssel über entsprechenden ID's verknüpft.

Abbildung 3: Raum-, Zeit- und Sachbezug für die Fernerkundung (FE) im Metadatenmodell des Projektes pre agro

Die Metadatenbank wurde mit Access unter NT auf einem Arbeitsplatzrechner entwickelt und wird nach MySQL über die ODBC-Schnittstelle portiert. Access mit ODBC-Zugriff dient neben phpMyAdmin mit PHP3-Internetzugriff als Datenbank-Client zur Weiterentwicklung und Pflege der Datenbank. Das im vorliegenden Artikel beschriebene Recherchetooll ergänzt eine Benutzungsoberfläche für die allgemeine Suche nach allen Datenarten im Verbundprojekt pre agro, welche serverseitig realisiert wurde und auf der LAMP-Architektur (Linux, Apache, MySQL, PHP) aufsetzt wie z.B. in Korduan (2001) beschrieben.

3. Fernerkundungsdatenserver im Internet

Die im Kapitel 1 skizzierten Anforderungen an ein Rechercsystem für Fernerkundungsdaten sind nicht neu und sind auch schon von anderer Stelle in ähnlicher Form insbesondere für Satellitenbilder bearbeitet worden z.B. Kalliani und Niederl (1998). Alle staatlichen und kommerziellen Satellitenbildvertreiber präsentieren sich mittlerweile in der einen oder anderen Form im Internet und erlauben potentiellen Nutzern, teilweise gebührenpflichtig, sich im Archiv umzuschauen und die geeignetste(n) Satellitenbildszene(n) als Quicklook(s) zu betrachten, z.B. ISIS³ der DLR, EiNet von Eurimage⁴. Die Bestellung und der Vertrieb wird jedoch oftmals über herkömmliche Vertriebswege realisiert, denn zwischen den Satellitenbetreibern und den Endkunden sind in der Regel nationale Distributoren geschaltet, die den Endnutzer in allen Fragen beraten und bedienen.

International geht der Trend dahin, neue übergeordnete Suchmaschinen mit einer einheitlichen Benutzungsoberfläche zu entwickeln, die einen Zugang zu den Archiven vieler nationaler und kommerzieller Satellitenempfangsstationen ermöglichen, z.B. ImageNet der Firma Core Software⁵ oder die Suchmaschine INFEO der EU mit tagesaktuellen Informationen inkl. Quicklooks⁶.

Allen Servern ist ein zweistufiges Auswahlverfahren gemeinsam: Um die Netzbelastung gering zu halten, soll der Nutzer erst eine gezielte Vorauswahl treffen und dann in einem zweiten Schritt die ressourcenintensiveren Quicklooks auf seinen Rechner übertragen. Bei der Vorauswahl muß der Nutzer wenigstens Ort, Zeitraum und Sensor(en) festlegen. Anschließend bekommt er eine Liste mit den ausgewählten Szenen. Die Liste enthält einige wichtige Metadaten zu den einzelnen Szenen. Der Nutzer wählt durch Anklicken eines Listeneintrages eine oder mehrere Szenen aus und kann von diesen anschließend ein Quicklook sowie weitere Metadaten übers Netz anfordern.

Bereits zu Beginn des Projektes pre agro wurde deutlich, daß zur effektiven Nutzung von flugzeugbasierten Fernerkundungsaufnahmen eine Reihe anwendungsspezifischer Metainformationen erfaßt und verwaltet werden müssen. Darüber hinaus wird von den Nutzern des Metadatenzentrums erwartet, daß Fernerkundungsaufnahmen nach ähnlichen Verfahrensweisen vertrieben werden wie andere Daten, die innerhalb des Verbundprojektes ausgetauscht werden, d.h. insbesondere, daß eine betriebs- und schlagspezifische Recherchemöglichkeit zur Verfügung stehen sollte. Nicht zuletzt bestand auf Grund langjähriger Erfahrungen bei der Nutzung von Bildarchiven der Wunsch, in extrahierten Datenarchiven ähnlich komfortabel recherchieren zu können wie auf den oben erwähnten Bilddatenservern. Aus diesen Gründen wurde ein Rechercsystem entwickelt⁷, dessen Funktionalität nachfolgend charakterisiert werden soll.

³ <http://www.dfd.dlr.isis.de>

⁴ <http://www.einet.com>

⁵ <http://www.coresw/imagenet>

⁶ <http://www.infeo.ceo.org>

⁷ Das Javatooll wurde von Dr. Heiderose Vatterrott entwickelt und implemtiert

4. Funktionalität des Recherchesystems für Fernerkundungsaufnahmen für das Projekt pre agro

Die Recherche nach Fernerkundungsdaten soll im Rahmen des Projektes sowohl online als auch offline unterstützt werden. Sie erfolgt auf Basis einer breiten Palette von Metainformationen in mehreren Schritten.

In einem ersten Schritt, vgl. Abbildung 4, wählt der Nutzer unter Verwendung von drei Recherchekriterien, nämlich Ort, Sensor und Zeit, eine Menge potentiell interessanter Bilder aus, wobei für die Angabe der Recherchekriterien unterschiedliche Möglichkeiten zur Auswahl stehen.

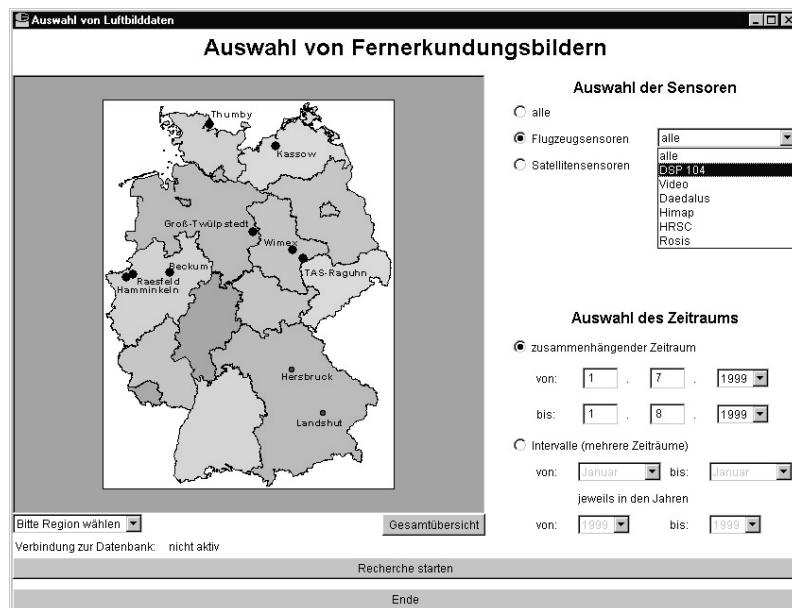


Abbildung 4: Benutzeroberfläche für die grobe Auswahl von Fernerkundungsdaten

Um den geographischen Kontext zu spezifizieren, ist zunächst eine Region auszuwählen, in der anschließend ein weiter einschränkender Rechteckbereich angegeben werden kann. Diese Spezifikationen können sowohl graphisch in entsprechenden Karten als auch textuell erfolgen. Sensoren sind entweder allgemein durch Auswahl von Sensorgruppen oder speziell durch Auswahl eines Sensors festlegbar. Für die Beschreibung von Zeiträumen, in denen die Bilder erfaßt wurden, stehen zwei Methoden zur Verfügung. Einerseits sind zusammenhängende Zeiträume festlegbar. Andererseits bietet die Auswahl von Intervallen eine Unterstützung für die gezielte Suche nach Bildern für Trendanalysen.

Auf Basis der so spezifizierten Recherchekriterien wird die Menge der relevanten Bilder bestimmt, die vom Nutzer weiter interaktiv eingeschränkt werden kann. Die Präsentation relevanter Metainformation zu den ausgewählten Bildern erfolgt zunächst in einer Tabelle. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, den geographischen Bezug der Bilder in einer interaktiven Karte zu veranschaulichen, wobei zur besseren Orientierung zusätzliche Informationen wie Flugroute und Bildränder eingeblendet werden können. Die Auswahl relevanter Bilder kann sowohl durch Auswahl in der Karte als auch durch Auswahl von Tabellenzeilen erfolgen, vgl. Abbildung 5.

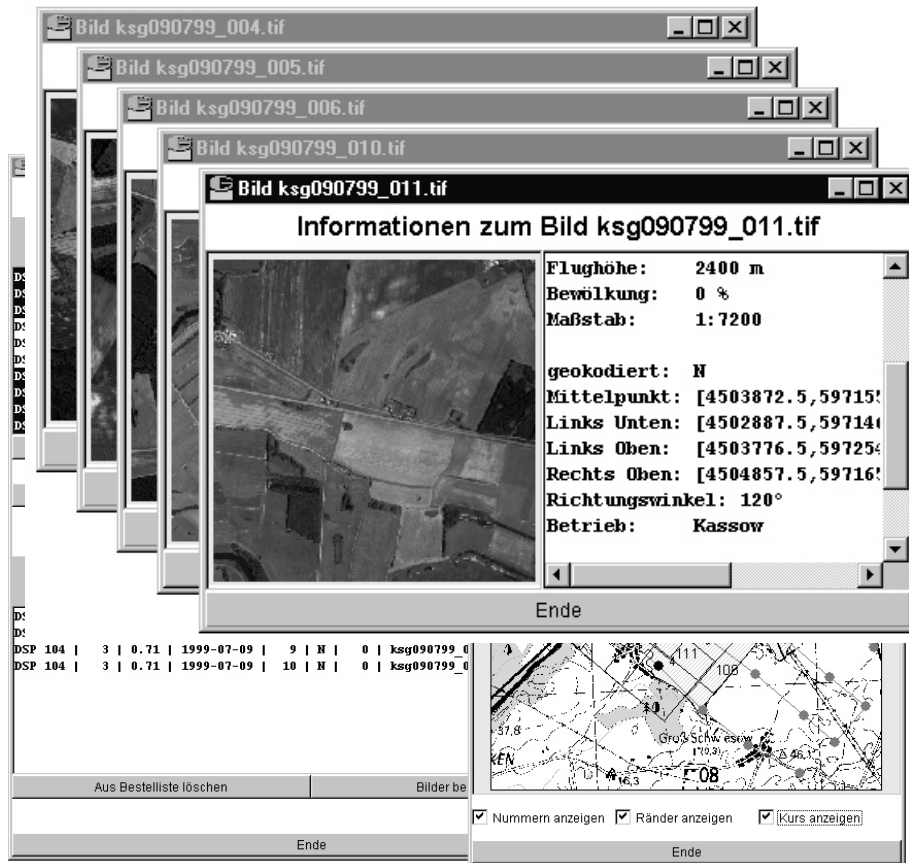


Abbildung 5: Benutzungsoberfläche für die detaillierte Auswahl von Fernerkundungsdaten

Da in der Tabelle nur eine kleine Auswahl der vorhandenen Metainformationen zu den Bildern angegeben ist, besteht die Möglichkeit, zusätzliche Metainformationen einschließlich Quicklooks, vgl. Abbildung 6, anzufordern. Hat der Nutzer aus der Menge der potentiell interessanten Bilder die für ihn relevanten ausgewählt, so kann er die Bereitstellung dieser Bilder initiieren. Bei der Nutzung der Internet-Schnittstelle des Systems wird eine Bestellung von Bildern ausgelöst, wobei die Wahl zwischen einer Sofortübertragung per WWW und einer Lieferung auf CD-ROM besteht. Im Falle einer Recherche auf der CD-ROM werden die ausgewählten Bilder zur Weiterverarbeitung in vom Nutzer ausgewählte Verzeichnisse kopiert.

Abbildung 6: Präsentation von Detailinformationen zu Fernerkundungsdaten

5. Realisierung

Als Softwareplattform für die Realisierung der hier charakterisierten Benutzungsoberflächen des Recherchesystems wurde Java⁸ ausgewählt, da es die Bereitstellung plattformunabhängiger internetfähiger Software unterstützt und keine zusätzlichen Softwarelizenzen benötigt werden. Eine Übersicht über die Programmstruktur des Recherchesystems vermittelt Abbildung 7. Um den Nutzern sowohl im Internet als auch auf CD-ROM weitgehend konsistente Benutzungsoberflächen präsentieren zu können, wurden die Klassen zur Präsentation von und die Recherche in Metainformationen in beiden Teilsystemen verwendet. Lediglich für die Bereitstellung der Me-

⁸ <http://www.sun.com>

tainformationen wurden jeweils spezielle Klassen implementiert. Der Zugriff auf die Metadatenbank der Projektes pre agro erfolgt mittels JDBC (Hamilton et al., 1997).

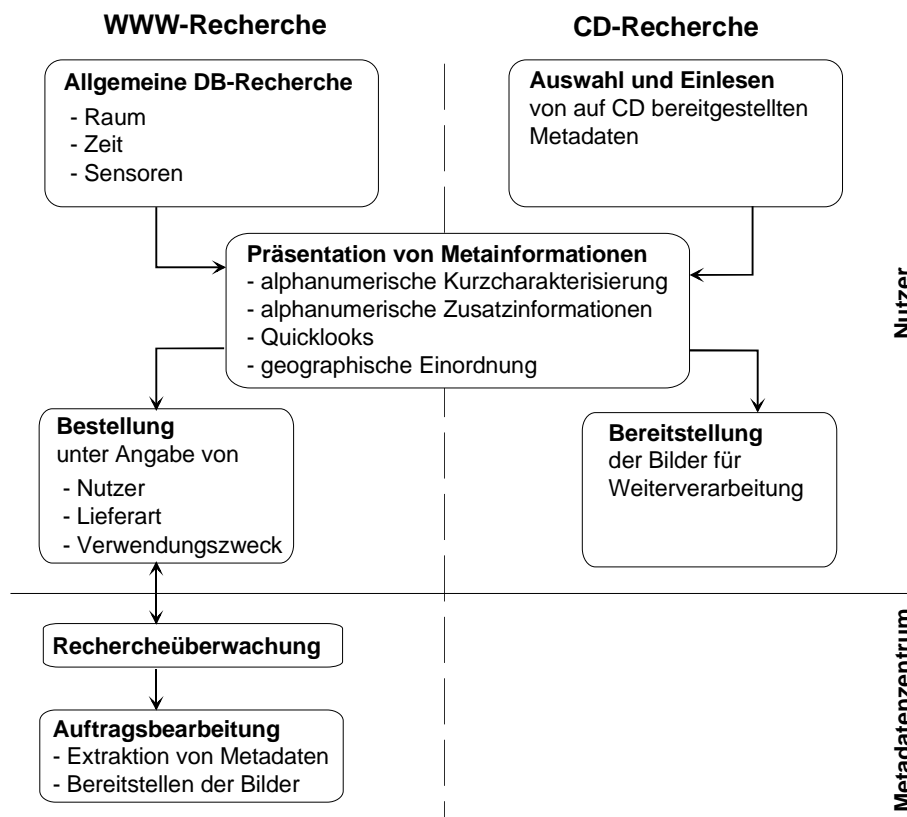


Abbildung 7: Klassenstruktur des Recherchesystems

Um den Internet-Nutzern die Installation zusätzlicher Java-Plugins zu ersparen, erfolgte die Realisierung unter Verwendung von Java 1.1 Standardklassenbibliotheken. Die Beschränkung auf Java 1.1 erwies sich in einigen Punkten als hinderlich. So sind der effektiven Realisierung optisch ansprechender Präsentationen von interaktiv manipulierbaren großen Tabellen Grenzen gesetzt. Darüber hinaus beschränkt das Sicherheitskonzept von Java 1.1 die Realisierung von CD-ROM-Lösungen als Applets erheblich (Pursche et al., 1999), weshalb die Entscheidung zugunsten einer Applet-Lösung für das Internet und einer Applikationslösung für den CD-ROM Bereich fiel.

6. Resümee und Ausblick

Mit dem vorgestellten internetbasierten Recherchetooll ist es möglich, in dem rasch anwachsenden Fernerkundungsdatenarchiv des Verbundprojekts pre agro effizient und unkompliziert relevante Daten zu finden. Das in Java programmierte Werkzeug hat, im Gegensatz zur bisherigen Vorgehensweise, den großen Vorteil der Plattformunabhängigkeit. Für die praktische Arbeit mit Massendaten ist das Metadatenmanagement auf Datenträgern sehr wichtig. Die Möglichkeit, einzelne Recherchen abzuspeichern und mit der entsprechend angepaßten Recherchesoftware auf CD zu brennen, erlaubt eine komfortable Archivierung mit einem raschen Zugriff auf alle Metadaten. Die hier beschriebene Recherchesoftware wird seit Januar 2000 im Rahmen des Verbundprojektes pre agro erprobt.

Danksagung

Der Autor bedankt sich beim BMB+F für die Förderung im Rahmen des Forschungs- und Verbundprojekts "pre agro", Förderkennzeichen 0339740.

Literatur

- Grenzdörffer, G. (1998): Fernerkundung zur teilschlagspezifischen Bewirtschaftung. ZPF 5-6/98. S. 135 – 145.
- Grenzdörffer, G.; Korduan, P., Vatterrott, H. (2000): Entwicklung eines internetbasierten Recherchertools für Fernerkundungsdaten, Umwelt-Informatik aktuell, metropolis Verlag Marburg 2000, ISBN 3-89518-281-8, 253-265,
http://www.preagro.de/Ergebnisse/FE_Recherche.pdf
- Hamilton, G.; Cattell, R.; Fisher, M. (1997): JDBC Database Access with Java, A Tutorial and Annotated Reference.- Addison-Wesley, Reading:
- Kalliani, R. und Niederl, F. (1998): DATENPOOL – ein internetbasiertes System für die Bereitstellung von Fernerkundungsdaten.- Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation (VGI) 86, Heft 3/1998: S. 132 – 136.
- Bill, R.; Korduan, P., Meta Information and Management System for Precision Agriculture, Proceedings Agroenviron 2000, 18.-20. 10. 2000, Tekirdag/Turkey, S.83-91, 2000,
<http://www.preagro.de/Veroeff/Tekirdag/Bill/bill/index.htm>
- Korduan, P. (2001): Forschungs- und Verbundprojekt „pre agro“, Zwischenbericht 2001, „Management- und Informationssystem“, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), 2001
- Pursche, K.; Tochtermann, K.; Fuchs, C. (1999): Zertifizierung und Signierung von Java Applets für deren Nutzung in internetbasierten Umweltinformationssystemen.- In: Dade, C.; Schulz, B. (Hrsg.): Management von Umweltinformationen in vernetzten Umgebungen.. S. 46-57. Metropolis Verlag, Marburg