

3.4 Bestandesinformationen (TP II-4)

Teilprojektleiter: Prof. Dr. B. Dohmen, Ulrich Wagner

Teilprojektbearbeiter: Dipl.-Ing. agr. A. Reh

3.4.1 Zusammenfassung

Im Jahre 2001 konnten trotz zeitweise ungünstiger Witterungsbedingungen erneut umfangreiche Flugmissionen erfolgreich durchgeführt werden, deren ausgewertete Bilder ins Projektinformationssystem gestellt wurden. Damit verfügen die entsprechenden Teilprojekte für die meisten der bundesweit verstreuten Versuchsbetriebe über Fernerkundungsdaten aus mindestens drei Befliegungen des Jahres 2001.

Tab. 3.4-1: Überflüge der Versuchsstandorte im Jahr 2001

Tab. 3.4-1: *Overflights of the trial sites in the year 2001*

Standort/Monat Dekade	April			Mai			Juni			Juli			August			Sept.			Oktober					
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III			
Kassow				X	X					X												X		
Landshut			X							X														X
SEDA					X																			X
TAS-Raguhn (Queis)			X			X			X															X
Thumby					X					X														X
Groß-Twülpstedt			X		X																			X
Baasdorf			X			X			X															X
Zeilitzheim			X							X														X

Neben den Befliegungen und der aktuellen Datenauswertung ist im dritten Projektjahr die multitemporale Datenanalyse der NIR-Luftbilder weiter fortgesetzt worden. Es konnte auf Basis von überwachten Klassifikationsverfahren ein neuer Bildverarbeitungsalgorithmus spezifiziert und praktisch zum Einsatz gebracht werden. Die erzielten Ergebnisse lassen auf eine deutlich verbesserte Standortanalyse bei Verwendung dieses Verfahrens in Verbindung mit multitemporalen NIR-Datensätzen hoffen.

Neben der Verbesserung der Standortanalyse wurde auch an neuen Verfahren zur Umsetzung von Ergebnissen gearbeitet. Mit der gezielten Programmierung von mobilen low-cost GPS-Empfängern aus der Freizeitbranche wird im Teilprojekt eine alternative Variante entwickelt, die bei entsprechender Bereitschaft zur manuellen Steuerung von Düngerstreuern oder Pflanzenschutzspritzen Landwirten einen relativ risikolosen Einstieg ins Teilschlagmanagement ermöglicht. Dabei kann von den Interessenten nur einzelbetrieblich zwischen der sicherlich bequemen, allerdings kapitalintensiven Vollautomatisierung oder der „konzentrationsintensiven“ manuellen GPS-Applikation abgewogen werden.

Aus den bisherigen Arbeiten und Ergebnissen wird deutlich, dass eine Fortsetzung der bundesweiten NIR-Befliegungen bis zum Projektende unbedingt erforderlich ist, um wissenschaftlich haltbare Aussagen für den praktischen Einsatz dieser Informationstechnologie im Rahmen von precision farming-Strategien zu beantworten.

Eine Weiterführung der Arbeiten zur Übertragung der Ergebnisse auf kostengünstige mobile GPS-Empfänger wird die Umsetzung in die Praxis erheblich vereinfachen.

Summary

This sub-project has the task to provide remote sensing data for the documentation of plant conditions during important growth stages over the investigation period 1999 - 2002. For data acquisition a digital video system was used which delivers colour (RGB) and near infrared (NIR) images. According to the field size a flight level between 1500- 3300 meters was chosen which gives a ground resolution (pixel size) between 3 and 6 meters. Air missions were conducted during the following seasonal periods:

September :	Maturing of maize (grain)
October :	Emergence of winter rape and barley; soil colour
April :	growth start of winter crops
May/June:	End of vegetative growth of cereals
June/July :	Maturing of cereals and rape

The images taken during the maturing season showed over all years an enormous heterogeneity within the same field. Due to the deficit of soil water in early summer crops on the lighter soils begin normally to mature significantly earlier than the plants on the heavier soils. This areas became particularly evident in June 2000 on all locations of the project.

With progressing data acquisition of the same fields multitemporal image analysis became possible. After two years "change detection" algorithms via data subtraction were successfully tested. In order to analyse mid term time series (data of three and more years) supervised classification procedures (*Maximum Likelihood*) were used to extract quantitative information from the remotely sensed data. In our case we wished to determine three relative classes: high, medium and low yield potential. For each class, a sample of pixels that correspond to it, was selected to allow a reasonable estimate for the range of pixels in each class. These signatures were then used to classify the full image of a single field by determining the most likely class for each individual pixel in the image.

It is concluded that supervised classification of multipertemporal data is one of the most powerful procedures to determine yield potential areas for the subsequent defining of management zones.

3.4.2 Bezug zum Verbundprojekt

Eine zentrale Aufgabenstellung im Verbundprojekt ist die Ableitung von Ertragspotentialen für die heterogenen Versuchsschläge. Hierzu wurden im Bereich der Boden- bzw. Standortforschung (vgl. TP II-1a, Hof-Bodenkarten) auch im Jahr 2001 erhebliche Anstrengungen in Form von Bodenbeprobungen für bodenchemische und bodenphysikalische Untersuchungen angestellt. Allerdings erfordert der hohe Bearbeitungsaufwand dieser Vorgehensweise weiterhin die Suche nach Alternativen in Form ergänzender Verfahren.

Die bereits heute in der Praxis anzutreffende und im Projekt eingebundene Ertragskartierung (vgl. TP II-5, Ertragskartierung) stellt aufgrund der kumulativen Wirkung verschiedener Einflussfaktoren in der Regel eine nicht ausreichende Indikatorgröße für die Standortunterschiede dar. Deshalb sind während des Wachstumsprozesses der Kulturpflanzen für die produktionstechnisch ausgerichteten Teilprojekte der Bestandesführung, Bodenbearbeitung, Dün-

gung und des Pflanzenschutzes (vgl. TP III-2, III-3, III-4 und III-5) zusätzliche Informationen erforderlich, um auf Standortunterschiede rückschließen und reagieren zu können.

Über den Einsatz der Flugzeugfernerkundung und speziell der NIR-Luftbilder wird dieser Anforderung Rechnung getragen, indem das Teilprojekt die integrierende Indikatorfunktion der Pflanzenbestände als Größe zur Ableitung der standörtlichen Heterogenität verwendet und unterschiedliche Bestandesentwicklungen in Form thematisierter Karten den o. a. Teilprojekten über das Projektinformationssystem (vgl. TP V-2) zur Verfügung stellt.

Darüber hinaus hat das Teilprojekt die Aufgabe, Bestandesinformationen über einzelne Jahre hinweg zu vergleichen und auf Korrelationen hin zu untersuchen. Bei zweijährigen Vergleichen ist dies über Differenzbilder möglich, bei längeren Zeitreihen bietet sich die Verwendung von multivariaten Klassifikationsverfahren an.

3.4.3 Einleitung und Problemstellung

3.4.3.1 Synergien durch Kombination verschiedener Informationsquellen

Die unterschiedliche Ertragsfähigkeit von Teilflächen innerhalb eines Schlages charakterisiert das Vermögen des Bodens, unter gegebener Einwirkung des Klimas sowie des Bewirtschaftungsregimes eines Agrarunternehmens Ertrag in einer Fruchtart zu realisieren. Diese Ertragsfähigkeit ist im Wesentlichen durch die betreffende Bodenart und Bodenphysik bestimmt und spiegelt sich vor allem in Trockengebieten über das unterschiedliche Wasserhaltevermögen einzelner Teilflächen im Ertragsniveau wider. Da das vollständige und flächendeckende Monitoring durch Bodenbeprobungen bzw. Feldbegehungen mit Bonitur des Pflanzenbestandes wirtschaftlich oft nicht zu vertreten und auf größeren Betrieben auch praktisch nicht durchführbar ist, sind für „precision agriculture“ im Bereich der Datenerhebung alternative Wege einzuschlagen.

Für eine erste Beurteilung der Heterogenität eines Schlages hat sich für die landwirtschaftliche Praxis die Kombination von Satelliten- und Flugzeugfernerkundung mit Low-Cost-Sensoren als eine effiziente und kostengünstige Informationstechnologie erwiesen. Allerdings fehlten bisher weiterführende mehrjährige Untersuchungen an identischen Schlägen (multitemporale Ansätze), die Auskunft über die entscheidende Fragestellung geben, ob denn Zonen mit bestimmten spektralen Signaturen eines Jahres über die Jahre hinweg „ortstreu“ sind oder Veränderungen unterliegen („Change Detection“). Es können nämlich nur dann pflanzenbauliche Teilschlagstrategien für die Aussaatmenge, die Düngung oder den Pflanzenschutz erfolgreich zum Einsatz kommen, wenn vorab die entsprechenden Areale eines Schlages als „ortstreu ertragsspezifische Managementzonen“ mit hoher statistischer Sicherheit prognostiziert und räumlich definiert werden können. Dazu bietet es sich an, neben mehrjährigen Fernerkundungsdatensätzen auch standortbezogene Geodaten aus der Reichsbodenschätzung sowie aktuelle Ertragskarten aus dem Mähdrescher mit in die Auswertungen einzubeziehen.

Im Rahmen der Arbeiten des Jahres 2001 konnte auf Basis von überwachten Klassifikationsverfahren (Maximum Likelihood Methode) eine Vorgehensweise spezifiziert werden, die zusätzlich zur Einbeziehung mehrjähriger Daten aus einer Informationsquelle (Fernerkundung) auch den Verschnitt mit Daten aus ergänzenden Informationsquellen erlaubt. Die bisher auf niederschlagsarmen Standorten erzielten Ergebnisse sind sehr plausibel und lassen auf eine deutlich verbesserte Standortanalyse bei Verwendung dieses Verfahrens hoffen, wie das folgende Beispiel zeigt.

Zur Auswahl kam ein Pflichtenschlag (Schlag 611 „Sorge“, WIMEX) im mitteldeutschen Trockengebiet (Landkreis Köthen/Sachsen-Anhalt), wo aufgrund der relativ restriktiven Nieder-

schläge (≤ 470 mm/Jahr) Bodenparameter eine entscheidende Rolle in der Erklärung der räumlichen Ertragsvariabilität spielen. Derartige Schläge eignen sich daher besonders gut für die Entwicklung neuer Methoden.

Zur Lokalisierung von Bestandes- und Bodenunterschieden wurde in dem kommenden Beispiel auf folgende Daten (vgl. Abb. 3.4-1, entsprechende Fenster) zurückgegriffen: Fernerkundungsdaten in Form einer Nahinfrarot-Satelliten- (links oben) bzw. einer Flugzeugaufnahme (links unten) zum Zeitpunkt der Abreife in den Jahren 1999 bzw. 2001, der Ertragskarte (rechts oben) aus dem Jahre 2000 sowie den vorliegenden Daten der Reichsbodenschätzung (Bodenkarte rechts unten). Die Auswahl dieser Daten hat sich im Wesentlichen an der Datenverfügbarkeit orientiert und soll darüber hinaus möglichst unterschiedliche Informationsquellen miteinander „verschneiden“.

3.4.3.2 Auswertungsmethodik

Bei der Interpretation und Analyse von digitalen Fernerkundungsdaten verfolgt man u. a. das Ziel, raumbezogene Daten in thematische Karten zu überführen, die ggf. noch mit anderen punktuell gewonnenen Geodaten verknüpft werden können. Neben der visuellen Interpretation von digitalen Bildern können multispektrale Aufnahmen auch zielgerichtet hinsichtlich der Verteilung von definierten Geo-Objektklassen untersucht werden. Dabei stellt eine Geo-Objektklasse eine vom Interpreten definierte Gruppe von Geo-Objekten (z. B. Zonen mit hohen NIR-Reflexionswerten) dar, welche für die Zielsetzung der Analyse relevant ist. Die mathematisch-statistische Analyse wird mit Hilfe von Klassifikatoren überwacht. Klassifikationen können selbständig (unsupervised) oder überwacht (supervised) am Computer interaktiv durchgeführt werden. Unter den überwachten (supervised) Klassifikationen ist das Verfahren der 'größten Wahrscheinlichkeit' (oder auch Maximum-Likelihood) die genaueste, aber auch aufwendigste Methode, Pixel zu klassifizieren.

Die Güte einer Klassifikation hängt wesentlich davon ab, wie eindeutig die Multispektralsignatur jeder Objektklasse ist, wie stark die stichprobenhafte Geländekenntnis (ground truth) in einem Testgebiet mit den Ergebnissen der Klassifikation harmonisiert und mit welchem Typ von Klassifikatoren gearbeitet wird.

Im Regelfall führen unüberwachte Klassifikationen von multispektralen Fernerkundungsdaten zu keinen befriedigenden Ergebnissen, da kaum eine Objektklasse eindeutig im Bild gekennzeichnet ist. Deshalb setzt man überwiegend auf überwachte, interaktive Klassifikationsverfahren, welche maßgeblich von den Interpreten gesteuert werden können und, gestützt durch individuelle Sach- bzw. Geländekenntnisse, deutlich bessere Klassifikationsergebnisse erbringen.

Dazu muss man entsprechend der Aufgabenstellung zunächst Klassen definieren. Die spektrale Definition einer Klasse (Erstellung einer spektralen Signatur) erfolgt im Dialog, indem man ausgewählten Musterklassen so genannte Trainingsgebiete zuordnet. Zu den ausgewählten Musterklassen werden Statistiken (Mittelwerte, inverse Kovarianzmatrix, Determinante der Kovarianzmatrix, Logarithmus der Determinante) errechnet, um eine spektrale Signatur für jede Klasse aufzubauen. Aufgabe der Bearbeiter im Vorfeld einer Klassifikation multispektraler Daten ist es, möglichst eindeutige Trainingsgebiete zu definieren, in denen die jeweilige Objektklasse durch ihre typischen Pixelsignaturen charakterisiert ist.

Diese klassenspezifischen Spektralsignaturen werden anschließend verwendet, um das gesamte Bild zu klassifizieren. Das weit verbreitete Maximum-Likelihood-Verfahren (Verfahren der größten Wahrscheinlichkeit) berechnet aufgrund statistischer Kenngrößen der vorgege-

benen Klassen die Wahrscheinlichkeiten, mit denen die einzelnen Bildelemente diesen Klassen angehören. Jedes Pixel wird der Klasse mit der größten Wahrscheinlichkeit zugewiesen. Dabei unterstellt man, dass die Messdaten der Bildelemente jeder Objektklasse im Merkmalsraum eine Normalverteilung um den Klassenmittelpunkt aufweisen.

Überwachte Klassifikationsverfahren werden im Bereich der Fernerkundung hauptsächlich zur Landnutzungsklassifikation eingesetzt. Nachdem entsprechende Landnutzungsklassen aufgestellt sind, werden anschließend kleine Gebiete digitalisiert, von denen man weiß, dass sie existieren (Trainingsgebiete). Diese Trainingsgebiete liefern die spektralen Signaturen, die für die Gesamtklassifikation benötigt werden.

Will man dieses Verfahren auf eine Standortanalyse mit Einbeziehung unterschiedlicher Informationsquellen übertragen, müssen zunächst alle raumbezogenen Informationen, die in der Analyse Verwendung finden sollen (Fernerkundungsdaten einzelner Jahre, Boden- und Ertragskarten), in digitale Bilder umgewandelt werden. Diese sind pixelgleich zu koregistrieren und ergeben so die einzelnen Kanäle eines „konstruierten Multispektralbildes“. Wie bei der Landnutzungsklassifikation werden die Trainingsgebiete für einzelne Klassen digitalisiert, die die Spektralsignaturen für die Klassifikation liefern.

3.4.3.3 Ergebnisse

Die folgende Klassifikationsmatrix in Tabelle 2 stellt einen Kompromiss zwischen theoretisch zahlreich machbaren Klasseneinteilungen und den für die praktischen Anwender relevanten Fragestellungen. Dabei wurden 7 unterschiedliche Klassen definiert, die eigentlich nur eine Verfeinerung einer Vierklasseneinteilung darstellen (hoch, mittel, tief, undifferenziert). Die mathematischen Symbole stehen für die jeweiligen Werte in den ausgewählten Bildern, die als einzelne Kanäle für das zu konstruierende Multispektralbild zusammengespielt wurden. In den Klassen 2, 4 und 6 sind es jeweils nur 3 Kanäle, die in die Wertungen eingehen. Zur vereinfachten Darstellung der Tabelle betrifft dies nur die Spalte der Reichsbodenschätzung (RBS), wobei durchaus ein Symbolwechsel zwischen den einzelnen Bildern innerhalb einer Klasse bestehen kann.

Tab. 3.4-2: Klasseneinteilung für Maximum-Likelihood-Klassifizierung

Tab. 3.4-2: Definition of classes for the maximum-Likelihood-classification

Klasse	NIR_1	NIR_2	EK	RBS	Interpretation Ertragspotential
1	+	+	+	+	Sichere Hohertragszone
2	+	+	+		Voraussichtlich Hohertragszone
3	+/-	+/-	+/-	+/-	Sichere Durchschnittszone
4	+/-	+/-	+/-		Voraussichtliche Durchschnittszone
5	-	-	-	-	Sichere Niedrigertragszone
6	-	-	-		Voraussichtliche Niedrigertragszone
7	+ +/- -	+ +/- -	+ +/- -	+ +/- -	Indifferente Zonen

Die Ergebnisse des anschließend am GIS durchgeführten Klassifikationsverfahrens sind in Abbildung 3.4-1 (s. Anhang) in Form thematischer Schlagkarten (vgl. mittleres Fenster) ausgegeben.

Eindeutig erkennbar sind diejenigen Zonen, die auf Basis der vorhandenen multitemporalen Fernerkundungsdaten, Ertragsdaten und Geodaten der Reichsbodenschätzung als schlagspe-

zifische ertragstreue Managementzonen eingestuft werden konnten. Die Hohertragszonen (Klassen 1 und 2) sind rot bzw. orange eingefärbt. Die Niedrigertragszonen (Klassen 5 u. 6) sind blau bzw. türkis markiert. Hell- und dunkelgrüne Areale repräsentieren die Durchschnittszonen (Klassen 3 u. 4). All diejenigen Bereiche, die nicht einer dieser Ertragsklassen (EK) zugeordnet werden konnten, sind weiß dargestellt. Sie sind als solche Zonen zu interpretieren, für die aus den bisher einbezogenen bzw. verfügbaren Daten noch keine sicheren Aussagen gemacht und damit auch noch keine neuen Input-Strategien entwickelt werden können. In der Praxis wird man derartige Zonen mit der betriebsüblichen Variante weiterdüngen, bis neue Erkenntnisse vorliegen.

3.4.3.4 Umsetzung der Ergebnisse auf dem Feld und voraussichtliche Kosten

Bevor über teilschlagspezifische Düngungsvarianten befunden werden kann, ist zunächst eine Bodenbeprobung zur Erfassung des Versorgungszustandes einzelner Managementzonen unbedingt anzuraten. Dazu empfiehlt sich eine so genannte „gezielte Bodenbeprobung“, um über möglichst wenig Mischproben - eine Mischprobe besteht aus ca. 15 Einstichen im Umkreis von 15 m um einen Beprobungspunkt - den Nährstoffstatus möglichst genau zu ermitteln.

Zur praktischen Durchführung einer solchen am PC vorbereiteten gezielten Bodenprobenentnahme wurde eine Software entwickelt und ausgiebig getestet, die eine schnelle und problemlose Übertragung der im GIS festgelegten Beprobungspunkte auf handygroße mobile GPS-Geräte erlaubt. Diese aus dem Freizeitbereich (Tracking) stammenden 12-Kanal-GPS-Empfänger weisen eine Positionierungsgenauigkeit von ca. 5 m auf und erlauben mit ihrem Navigationsprogramm ein problemloses und zielsicheres Anfahren bzw. Anlaufen der festgelegten Beprobungspunkte.

Nach Rücklauf der Analysenwerte aus dem Bodенlabor wird in Diskussion mit dem Betriebsleiter unter Berücksichtigung des Versorgungsstatus sowie des Ertragspotentials einzelner Managementzonen (vgl. Abb. 3.4-1) eine an ökonomisch und ökologisch vorgegebenen Zielvorstellungen orientierte teilschlagspezifische Düngungsstrategie festgelegt. Sie wird zunächst in Form einer Applikationskarte am GIS gezeichnet (digitalisiert) und anschließend mit einer speziellen Software auf die bereits zuvor erwähnten GPS-Geräte übertragen.

Es ist ratsam, sich derzeit aus Gründen der Praktikabilität nur auf drei unterschiedliche Intensitätsstufen zu beschränken (hoch, mittel und tief). Ebenso muss die Zahl der Teilflächen je Schlag auf ein vertretbares Maß reduziert werden, da bei der geplanten manuellen Steuerung der Applikationsgeräte der Fahrer sonst überfordert wäre. Außerdem ist die Speicherkapazität der kleinen Geräte begrenzt. Erste Tests haben ergeben, dass mit einem Aufspielen (Load up) Applikationskarten für 10 bis 15 Schläge mit einer Gesamtfläche von bis zu 600 ha gespeichert werden können, wenn die Zahl der Managementzonen je Schlag unter 10 liegt.

Nach dem Bespielen der mobilen GPS-Empfänger werden diese mit auf den Schlepper genommen und so angebracht, dass der Fahrer die Karten problemlos lesen kann. Beim Einfahren in die entsprechende Zone wird vom Fahrer manuell entweder der Druck einer Spritze oder die Fahrgeschwindigkeit der Zugmaschine so geändert, dass die in der Zone durch eine Zahl bzw. Farbcodierung geplante Ausbringungsmenge appliziert werden kann.

Der größte Teil der jährlichen Kosten leitet sich aus den Ausgaben für die Informationsbeschaffung ab. Wie aus Tabelle 3.4-3 ersichtlich wird, sind dies weit über 75 %, wenn die Ertragskartierung mit in die Auswertung einfließen soll. Bei der Berechnung ist die Tatsache in Betracht gezogen worden, dass auch Informationen, die längerfristig genutzt werden, auf die Nutzungsdauer kostenmäßig umzulegen sind. Eine Abschreibungsdauer von 5 Jahren darf als realistisch angenommen werden.

Tab. 3.4-3: Einmalige Ausgaben und abgeleitete jährliche Kosten des Verfahrens

Tab. 3.4-3: *Cash expenses and derived annual costs of the procedure*

Datensatz	Ausgaben	Mittlere Kosten
	Euro/ha	Euro/ha p.a.
NIR_1	1,5 - 3	0,45
NIR_2	2 - 2,5	0,45
RBS	2,5 - 5	0,55
EK	15 - 20	3,50
Zwischensumme		4,95
Applikationskarten- Erstellung	1,5 - 2,5	2,00
Gesamtsumme		6,95

Kosten für die Bodenbeprobung wurden nicht einbezogen, da bei der zielgerichteten Methode im Regelfall in einem Raster gezogen werden kann, das der guten fachlichen Praxis entspricht und vom Gesetzgeber sowieso gefordert wird.

3.4.4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Jahre 2001 wurden erstmals im Verbundprojekt „*pre agro*“ multitemporale NIR-Daten mit Geodaten aus der Reichsbodenschätzung sowie Ertragskarten für die praktischen Anwendungen verschnitten. Das für den Schlag 611, WIMEX beispielhaft vorgestellte Verfahren der überwachten Datenklassifikation zeigt mit seinen Ergebnissen interessante Möglichkeiten für die Bereitstellung von aussagekräftigen Standortinformationen auf, mit deren Hilfe Applikationskarten erstellt werden können.

Gleichzeitig werfen derartige Analysen neue Fragen auf, die es im Forschungsprojekt noch zu klären gilt. Während bisher die NIR-Fernerkundung die Zielsetzung verfolgte, räumliche Unterschiede der Pflanzenzustände zu einem bestimmten Zeitpunkt aufzuzeigen, erweitert sich nun die Fragestellung für die Standortanalyse. Die mit dieser Thematik befassten Arbeitsgruppen werden mit der Frage konfrontiert, welche Bodenparameter dafür ausschlaggebend sind, dass Areale in ortstreue, ertragsstabile Zonen eingeteilt werden können, bzw. was die dynamische Variabilität einer Zone bedingt. Und letztlich sind auch Vorgehensweisen aufzuzeigen, wie derartige Zonen pflanzenbaulich unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Zielstellung zu managen sind.

Mit der gezielten Programmierung von feldtauglichen mobilen GPS-Geräten aus dem Hobby- und Freizeitbereich zeichnen sich Wege ab, wie die Ergebnisse kostengünstig und dennoch praxistauglich umgesetzt werden können. Die Übertragung auf GPS-Geräte mit größerem Farbdisplay wird eine Aufgabenstellung des Teilprojektes bis zum Projektende sein. Erste Schritte zur Kontaktaufnahme mit den amerikanischen Herstellerfirmen sind bereits angedacht und werden im Jahr 2002 umgesetzt.

