

<b>Zeitschrift:</b>	Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)
<b>Band:</b>	99 (2001)
<b>Heft:</b>	10
<b>Artikel:</b>	Anwendung einer satellitengestützten Methode zur Ernteprognose im Kanton Waadt
<b>Autor:</b>	Eckert, Sandra / Kellenberger, Tobias
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-235817">https://doi.org/10.5169/seals-235817</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 27.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Anwendung einer satelliten-gestützten Methode zur Ernte-prognose im Kanton Waadt

In der Schweiz kamen Fernerkundungsmethoden im Bereich Landnutzungsüberwachung und -vorhersage bisher kaum zum Einsatz. Auf nationaler wie auf internationaler Ebene ist aber ein zunehmendes Bedürfnis nach Information dieser Art vorhanden. In der vorliegenden Untersuchung wurde versucht, ein Ernteprognosemodell auf der Basis multitemporaler, optischer Satellitendaten zu entwickeln und anzuwenden. Die Ernteprognosen wurden für die Kulturen Weizen und Zuckerrüben in einem ausgewählten Testgebiet durchgeführt.

*En Suisse, les méthodes de la télédétection dans le domaine de la surveillance et des prévisions de l'utilisation des terres n'ont jusqu'à présent peu été utilisées. Cependant, aux niveaux national et international, on constate un besoin croissant pour des informations de ce genre. Dans la présente étude, on a essayé de développer et d'appliquer un modèle de prévisions des récoltes sur la base de données satellitaires multitemporelles et optiques. Les pronostics de récoltes ont été exécutés dans une région test choisie pour les cultures de blé et de betteraves.*

Finora in Svizzera non si è praticamente mai ricorsi ai metodi di telerilevamento nel campo del monitoraggio e delle previsioni per le attività agricole. Tuttavia, a livello nazionale e internazionale si fa sentire l'esigenza di disporre di maggiori informazioni di questo tipo. In questo studio si è cercato di sviluppare e applicare un modello di previsione del raccolto, basato su dati satellitari ottici e multitemporali. Le previsioni del raccolto sono state realizzate, in una zona selezionata di prova, per le coltivazioni di frumento e barbabietola da zucchero.

S. Eckert, T. Kellenberger

### 1. Einleitung

Informationen über die Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen und die Produktion sind für die Sicherung der Versorgung von grosser Bedeutung. Ein national und zunehmend international übergreifendes Informationsbedürfnis ist vorhanden und nur europaweit identisch erhobene statistische Informationen können miteinander verglichen und in ein internationales Informationsnetz eingebunden werden. Ebenso wichtig ist es für die Koordination und Planung der verarbeitenden Industrien zu erfahren, wie hoch die Ernteerträge sein werden.

Das Abschätzen der Totalproduktion einer Feldfrucht in einem bestimmten Ge-

biet erfordert Kenntnis über die bebaute Fläche sowie der mittleren Erntemengen in dieser Region. Die Bestimmung der Anbaufläche kann aus Bewirtschaftungsplänen, der Agrarstatistik oder auch aus Fernerkundungsdaten hervorgehen. Zur Berechnung der totalen Erntemenge benötigt man zusätzlich die aktuellen durchschnittlichen Erntemengen pro ha. In der Schweiz wurden mit Fernerkundungsmethoden bisher noch kaum Ernteprognosen erstellt. Die herkömmliche und auch einzige Methode, visuelle Ernteschätzung der Bauern, sowie anschliessende Hochrechnung ist, im Verhältnis zum finanziellen Aufwand genügend gut. Allerdings wäre es für die Agrarplanung, den Handel sowie für diverse verarbeitende Industriezweige wie Zuckerfabriken von Interesse vor Erntebeginn genauere Kenntnisse, über die zu erwar-

tenden Ernteerträge der Kulturen zu haben.

In der vorliegenden Untersuchung wurde versucht, ein für Schweizer Landwirtschaftsverhältnisse geeignetes Ernteprognosemodell auf der Basis multitemporaler, optischer Satellitendaten zu entwickeln und anzuwenden. Die Prognosen sollen schnell und einfach durchführbar sein, so dass sie mindestens einen Monat vor Erntebeginn zur Verfügung stehen, um genügend Zeit zur Einleitung von entsprechenden Massnahmen zur Verfügung zu haben. Auf der Basis dieser Ernteprognosen sollen pro Parzelle, aber auch für einen ganzen Betrieb Vorhersagen gemacht werden können.

### 2. Methode

#### 2.1 Ernteprognosemodelle

Bisher entwickelte Methoden zur Ernte prognostizierung, mit Hilfe der Fernerkundung, können in zwei Gruppen eingeteilt werden. Die erste Gruppe beinhaltet die agrometeorologischen oder pflanzenphysiologischen Modelle [12], [4]. Sie basieren auf Parametern wie der Bodenfeuchte, Bodenart, Leaf Area Index (LAI), Pflanzentemperatur, Düngereinsatz, Sortenwahl, Evapotranspiration, Biomasse etc. Diese Parameter müssen teilweise wöchentlich bzw. täglich im Feld erhoben werden, und können mit Fernerkundungsdaten nur ergänzt werden, da heutige operationelle Satellitensysteme noch nicht in der Lage sind den notwendigen zeitlichen, räumlichen und spektralen Anforderungen zu genügen. Die zweite Gruppe beinhaltet Ernteprognosemodelle, welche annehmen, dass eine direkte mathematische Beziehung zwischen den mittels Fernerkundung gewonnenen spektralen Messwerten und den Ernteerträgen besteht. Die Reflexionswerte werden meist mit dem LAI, der Trockenbiomasse oder der Erntemenge direkt, in Beziehung gesetzt [6].

Ein Beispiel für die zweite Gruppe ist das Gemeinschaftsprojekt MARS (Monitoring Agriculture with Remote Sensing) der Europäischen Union [8], welches die Überprüfung von Angaben zu Anbauflächen

RVI	Ratio Vegetation Index, [15]	(NIR/ROT)
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index, [11]	(NIR-ROT)/(NIR+ROT)
TVI	Transformed Vegetation Index, [11]	(NDVI+0.5) <sup>0.5</sup>
OSAVI	Optimized Soil Adjusted Vegetation Index, [10]	(NIR-ROT)/(NIR+ROT+0.16)

Tab. 1: Verwendete Vegetationsindizes.

(Direktzahlungen) und Management der ökologischen Ausgleichszahlungen, die Pflanzenzustands- und Ernteüberwachung für verschiedene Kulturen, die Durchführung spezifischer lokaler Untersuchungen zur Entscheidungsunterstützung agrarpolitischer Reformen und die Untersuchung des Potenzials neuer Sensoren für die Landwirtschaftsüberwachung zum Ziel hat. Das innerhalb MARS entwickelte Ernteprognose-Modell wird vor allem in der EU angewandt. Es basiert auf Landsat TM-, ETM++, MSS- sowie SPOT HRV-Daten.

## 2.2 Modellentwicklung

Grundlage des hier verwendeten Modells ist die Annahme, dass die von den Pflanzen reflektierte Strahlungsenergie, welche von den Satelliten gemessen wird, in direkter Beziehung zur erwarteten Erntemenge steht. Die Reflektionseigenschaften variieren jedoch je nach Pflanzenart und Phänologiestadium. Die beste Korrelation zwischen Messwert und Erntemenge findet sich erfahrungsgemäß in Fernerkundungsdaten, welche zum Zeitpunkt der höchsten Vegetationsdichte aufgenommen werden [13]. Dieser Zeitpunkt variiert je nach Anbaumethode, Aussaatdatum und Witterung.

Optische, multispektrale Satellitensensoren messen die von der Erdoberfläche reflektierte Strahlung in verschiedenen Wellenlängenbereichen. Ein Vegetationsindex versucht nun die differenzierte spektrale Information verschiedener Kanäle miteinander in Beziehung zu setzen, so dass die gewünschte Information über die Vegetationsbedeckung ermittelt werden kann. In der Regel basiert ein Vegetationsindex auf den Reflexionswerten des roten (ROT) und nahinfraroten (NIR) Wellenlängenbereichs, in denen die Vegetation charakteristisch reflektiert. Vegetationsindizes sind empfindlich auf die

Blätterdichte bzw. die Vegetationsdichte, können aber auch andere spezifische biophysikalische Charakteristiken der Landoberfläche wiederspiegeln oder verstärken [14]. Sie korrelieren stark mit Bestandesparametern wie dem grünen LAI [16], [3], der Biomasse [15], dem Bedeckungsgrad [16], der photosynthetischen Aktivität und der Produktivität [1].

Der Vorteil der verwendeten Vegetationsindizes (Abb. 1) ist deren einfache Berechnung. Sie sollten allerdings bei einer Vegetationsbedeckung unter 50% nicht verwendet werden, da die Reflexionswerte des Bodens sie massgebend verfälschen können. Der Vegetationsindex OSAVI ist daher mit einem Korrekturkoeffizient ergänzt worden, um dieses Problem zu minimieren.

Die standardisierte lineare Vegetationsindex-Erntemenge-Gleichung (2.1) sowie die Grundgleichung, welche ein quadra-

tisches Verhalten eines spektralen Profils ausdrückt, lassen sich wie folgt beschreiben:

$$Y_{ij} = b_0 + b_1 X_{pij} \quad (2.1)$$

$$X_{aij} = X_{pij}(1 - b_2(t_{aij} - t_{pij})^2) \quad (2.2)$$

In Gleichung (2.1) ist  $Y_{ij}$  die Erntemenge im Gebiet  $i$  und im Jahr  $j$ . Damit die Korrelation hoch und das Ernteprognosemodell genau ist, sollte man die Information einer Satellitenszene mit dem Vegetationsindex-Wert  $X_{pij}$  einer Satellitenszene, aufgenommen zum Zeitpunkt maximaler photosynthetischer Aktivität  $t_{pij}$ , ins Modell einfließen lassen. Dies ist oft wetterbedingt oder satellitenbahntechnisch nicht möglich. Zudem ist dieser Zeitpunkt variabel sowie jahres-, ortsabhängig und bisher noch unbekannt. Der Vegetationsindex-Wert  $X_{aij}$  zum Aquisitionszeitpunkt der Satellitenszene ist uns bekannt. Wenn nun die Aquisition plus minus 2–3 Wochen um den Maximalwert von  $X_{pij}$  herum stattfindet, kann ein einfaches quadratisches Verhalten des spektralen Profils der Pflanze angenommen werden [9], wie Gleichung (2.2) zeigt.

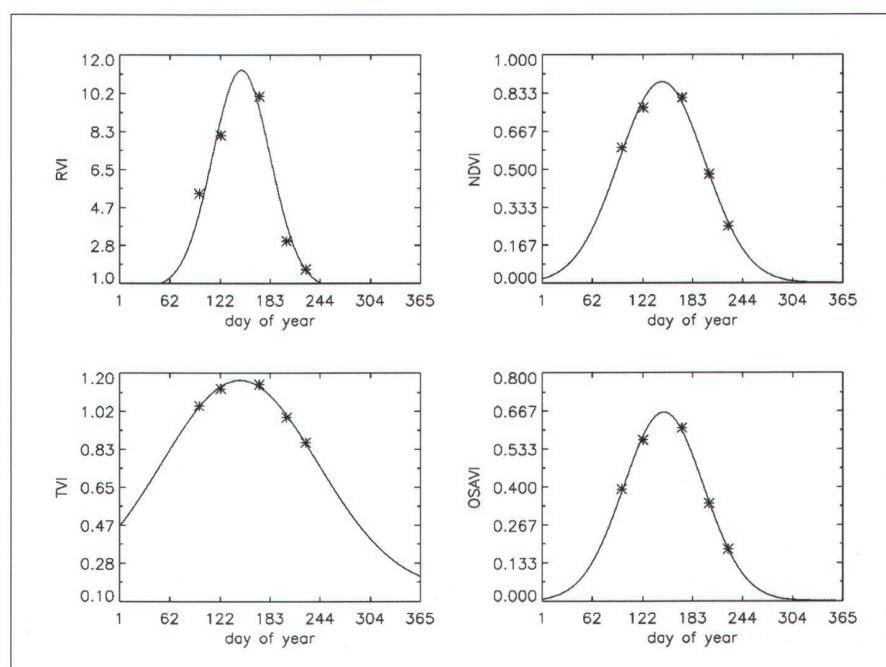


Abb. 1: Gemessene Vegetationsindexwerte für Weizen der Monate April bis August (\*) und die dazu modellierten Vegetationsindex-Kurven.

Wenn wir die Gleichung (2.2) nach  $X_{pij}$  auflösen und in die lineare Vegetations-Erntemenge-Gleichung (2.1) einsetzen, erhalten wir die Gleichung (2.3).

$$Y_{ij} = b_0 + b_1 X_{aij} (1 - b_2 (t_{aij} - t_{pij}))^{2(-1)} \quad (2.3)$$

In dieser Gleichung sind nur noch  $t_{pij}$  sowie die Konstanten  $b_0$ ,  $b_1$  und  $b_2$  unbekannt. Als Ausgangslage für die mögliche Annäherung von  $t_p$  gelten die berechneten Vegetationsindizes aus mehreren Szenen innerhalb eines Jahres. Wobei  $t_p$  zur Eichung des Modells innerhalb eines realistischen Wertebereichs iterativ angenähert wird (Abb. 1) und (Abb. 2). Man erhält einen Wert  $t_p$ , der abhängig von  $i$  und  $j$  ist. Da man das Modell aber zusätzlich noch orts- und jahresunabhängig anwenden können sollte, wird ein Korrekturterm  $t_c$  für  $t_p$  eingeführt, der die mögliche Abweichung von  $t_p$  nach Jahr oder Ort berücksichtigt. Dieser Korrekturterm muss aus kollateralen Daten ausserhalb des Modells gewonnen werden, und wurde noch nicht realisiert [5]. Das komplette Modell hat schliesslich die Form

$$Y_{ij} = b_0 + b_1 (X_{aij} (1 - b_2 (t_{aij} - (t_p + t_{ci}))^{2}))^{(-1)} \quad (2.4)$$

### 3. Untersuchung

Für die Untersuchung wurde ein Gebiet südwestlich von Yverdon ausgewählt. Es umfasst einen Teil (350 ha) der Orbe-Ebene, welcher vom «Etablissement de Plain de l'Orbe», einer Strafanstalt mit geschlossenem landwirtschaftlichem Betrieb, bewirtschaftet wird. Der grosse, maschinell gut ausgerüstete Betrieb betreibt sowohl Ackerbau als auch Viehwirtschaft. Die Ackerparzellen sind sehr gross und eignen sich u.a. auch dank der geringen topographischen Unterschiede gut zur Erprobung eines Ernteprognosemodells auf der Basis von Fernerkundungsdaten.

#### 3.1 Datengrundlage

Zur Eichung eines Ernteprognose-Modells ist es wichtig, einen Datensatz zur Verfügung zu haben, der eine ganze Vegetati-

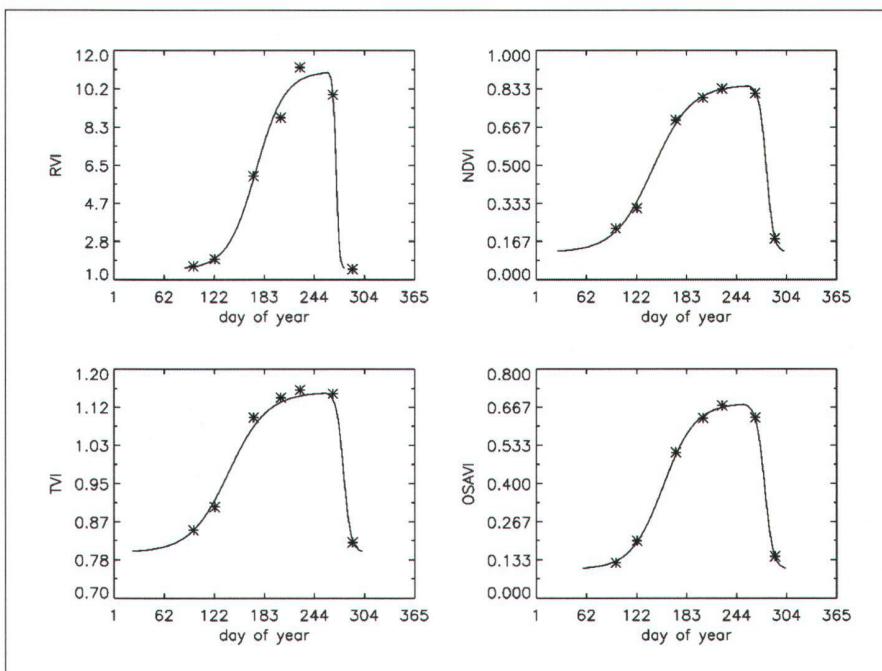


Abb. 2: Gemessene Vegetationsindexwerte für Zuckerrüben der Monate April bis August (\*) und die dazu modellierten Vegetationsindex-Kurven.

onsperiode abdeckt. Es wurden sieben Landsat TM-Szenen verwendet, welche verteilt über einen Zeitraum April bis Oktober 1995 aufgenommen wurden.

Die Daten wurden geometrisch korrigiert und in die orthogonale Geometrie der Schweizerischen Landeskarte überführt. Die Lokalisierungsgenauigkeit liegt dabei unter einem halben Bildelement bei einer Zielauflösung von 25 m.

Satellitendaten verschiedener Aufnahmzeitpunkte können nicht direkt miteinander verglichen werden. Sie unterliegen dem Einfluss unterschiedlicher Beleuchtungsverhältnisse, atmosphärischer Störungen und auch topographischer Effekte. Mit Hilfe einer radiometrischen Korrektur konnten diese Einflüsse eliminiert und die Daten in physikalische Grössen umgewandelt werden. Damit wurde erreicht, dass die Satellitendaten alleine die spezifischen Reflexionseigenschaften der Objekte auf der Erdoberfläche beinhalten [7].

Zur Eichung und nachträglichen Verifikation des Ernteprognosemodells wurden Bodendaten, wie Angaben über die Erntemenge und die Sortenwahl erfasst. In Bezug auf die Satellitendaten von 1995

war es vor allem wichtig, Ernteerträge (kg/ha) pro Parzelle aus demselben Jahr in Erfahrung zu bringen. Im Testgebiet standen Daten für die Kulturen Weizen und Zuckerrübe zur Verfügung.

Die temporale Veränderung der Vegetationsindizes für Weizen und Zuckerrübe wurden aus den Satellitendaten ermittelt. Für Weizen wurden Stichproben in den Daten von April bis Juli gewählt, für Zuckerrüben in den Daten der Monate Juni bis Oktober. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Stichproben und damit die Vegetationsindizes nicht durch Mischpixel, welche Reflexionswerte anderer Bodenbedeckungen enthalten, verfälscht wurden.

Der jahreszeitliche Verlauf der Vegetationsindizes entspricht zumeist der pflanzenphysiologischen Entwicklung der Kultur (Abb. 1). Die Werte steigen während der Bestockung, der Schossphase und des Ährenschiebens rapide an, erklärbar durch das exponentielle Wachstum der Blätter. Gegen Ende der Reiphasen stellt die Pflanze ihre photosynthetische Aktivität ein. Die Folge ist ein rapides Absinken der Vegetationsindizes-Werte. Bei Zuckerrüben beginnen die Vegetati-

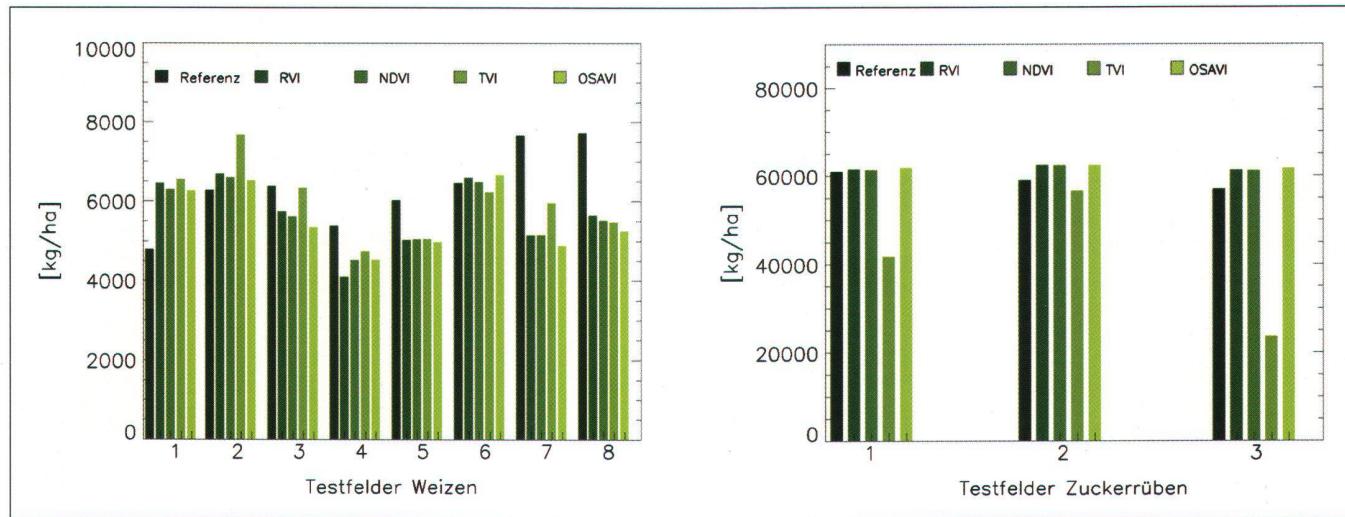


Abb. 3: Resultate des einfachen Modells für Weizen, verifiziert an acht Feldern (links) bzw. für Zuckerrüben, verifiziert an drei Feldern (rechts).

onsindizes erst im Mai zu steigen (Abb. 2), im Gegensatz zu Weizen aber exponentiell. Gegen Ende August nimmt die Wachstumsintensität wieder ab. Die Absterberate der Blätter übersteigt von nun an die Neubildungsrate. In der Folge verringern sich auch die Vegetationsindizes, bis sie schliesslich im Oktober, zum Zeitpunkt der Ernte, abrupt auf den Wert des kahlen Bodens absinken.

## 4. Resultate

### 4.1 Prognose ohne Berücksichtigung des Zeitpunktes der höchsten photosynthetischen Aktivität $t_p$

Die mit dem einfachen Modell berechneten Erntemengen wurden parzellenweise mit den tatsächlichen Erntemengen verglichen (Abb. 3). Für Weizen zeigt sich zunächst kein Vegetationsindex als sehr geeignet. Im Vergleich mit der tatsächlichen Erntemenge konnten für die Felder 2, 3 und 6 gute Resultate mit Abweichungen von weniger als 5% erreicht werden. Für die Testfelder 4 und 5 betragen die Abweichungen zwischen 11% und 24% und für die Testfelder 1, 7 und 8 zwischen 22% und 37%. Die grossen Abweichungen bei den letztgenannten Testfeldern 7 und 8 können auf die hier angebaute Hochertragssorte «Galaxie» zurückgeführt werden, welche neben den Sorten «Arina» und «Camino» an-

gebaut wird. Sie hat vermutlich signifikant andere pflanzenphysiologische Eigenschaften, welche nicht die gleiche modellierte Beziehung zum Ernteertrag hat. Die Resultate für Zuckerrüben wurden ebenso parzellenweise mit den tatsächlichen Erntemengen verglichen. Die Ernteprognosen mit RVI, NDVI und OSAVI liegen sehr nah beieinander, wenn man bedenkt, dass es sich bei den durchschnittlichen Ernteerträgen um mehrere Tonnen pro Hektare handelt. Die Ernteprognose auf Basis des NDVI ergab insgesamt die besten Ergebnisse. Der OSAVI, der sich speziell für Zuckerrüben eignen sollte [14], schnitt hingegen schlechter ab. Ernteprognosen, berechnet auf Basis des TVI waren analog zu den Weizenfeldern durchwegs schlechter, was durch die Formel erklärt werden kann, die eine höhere Empfindlichkeit gegenüber Vegetation aufweist.

### 4.2 Prognose zuzüglich des Zeitpunktes höchster photosynthetischer Aktivität $t_p$

Damit eine frühzeitige Ernteprognose möglich ist, muss für die Vorhersage von Weizen eine Szene von Ende Mai oder Juni zur Verfügung stehen. Das um  $t_p$  erweiterte Modell wurde entwickelt, damit auch Daten mit frühem Aufnahmepunkt zur Vorhersage verwendet werden können. Die Berechnung wurde mit einer

Szene durchgeführt, welche am 20. Juni 1995 aufgenommen wurde. In einem nächsten Schritt wurde das Modell zusätzlich mit einer Szene vom 3. Mai 1995 gerechnet, um festzustellen, ob Ernteprognosen auch in einem frühen phänologischen Stadium möglich sind. Die mit dem verbesserten Modell erhaltenen Ernteprognosen wurden parzellenweise mit den entsprechenden Bodenmessungen verglichen. In Abbildung 4 ist zu erkennen, dass sich die vier, aus den Vegetationsindizes berechneten, Ernteprognosen differenzierter verhielten als beim einfachen Modell. Die Ernteprognose mittels OSAVI schnitt für alle Testfelder am besten ab. Abgesehen von den Ergebnissen für das Testfeld 1, 7 und 8 mit einer Abweichung zwischen 23% und 32% konnte eine Verbesserung gegenüber den Ernteprognosen des einfachen Modells erreicht werden. Die Gründe für die schlechte Annäherung sind wohl dieselben wie im einfachen Modell. Die zweitbesten Annäherungen gelangen mit dem NDVI.

Bei Zuckerrüben wurde auf die graphische Darstellung der TVI-Resultate in Abbildung 4 verzichtet, da sie um ein Mehrfaches zu hoch ausfallen sind. Die Resultate für die drei Testfelder sind sehr ähnlich. Die Ernteprognosen des RVI waren dabei am genauesten, gefolgt von den Prognosen des OSAVI und NDVI.

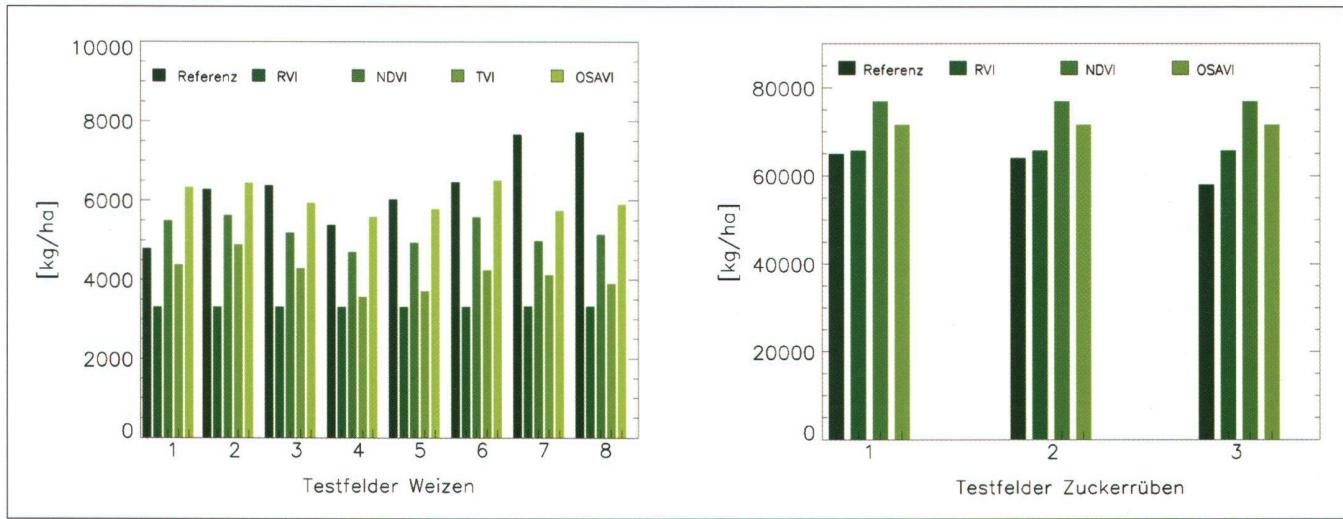


Abb. 4: Resultate des erweiterten Modells für Weizen, verifiziert an acht Feldern (links) bzw. für Zuckerrüben, verifiziert an drei Feldern (rechts).

#### 4.2.1 Prognose mit einer Aufnahme aus dem Monat Mai

Die Ergebnisse der Berechnung des erweiterten Modells mit der Mai-Szene sind wie erwartet schlecht ausgefallen (Abb. 5). Einzig die Resultate der Testfelder 1, 4 und 5 liegen im Bereich der Resultate der Juni-Szene. Die Abweichung betrug hier weniger als 10%. Schlechte Ergebnisse wurden wiederum für die Testfelder 7 und 8 erzielt. Aber auch die Ernteprognosen der Testfelder 2, 3 und 6 der Sorten «Camino» und «Arina» liegen unter den Erwartungen.

Wenn man die Vegetationsindizes vergleicht, fällt auf, dass die Ernteprognosen mittels OSAVI, gefolgt von TVI, RVI und NDVI für alle Testfelder jeweils die besten Annäherungen an die Bodenmessungen erzielen.

#### 4.3 Ernteprognose für den gesamten Betrieb

«Etablissement Plain de l'Orbe»

##### 4.3.1 Weizen

Die Ernteprognosen für die einzelnen Parzellen wurden auf den ganzen Betrieb hochgerechnet. Die gesamte Weizenanbaufläche umfasst 83 396 ha.

Mit dem einfachen Modell konnte mit dem TVI eine gute Prognose erreicht werden. Die Abweichung betrug lediglich 10%. Mit dem erweiterten Modell konnte mit dem OSAVI eine noch genauere Ernte prognostiziert werden. Diese guten Resultate

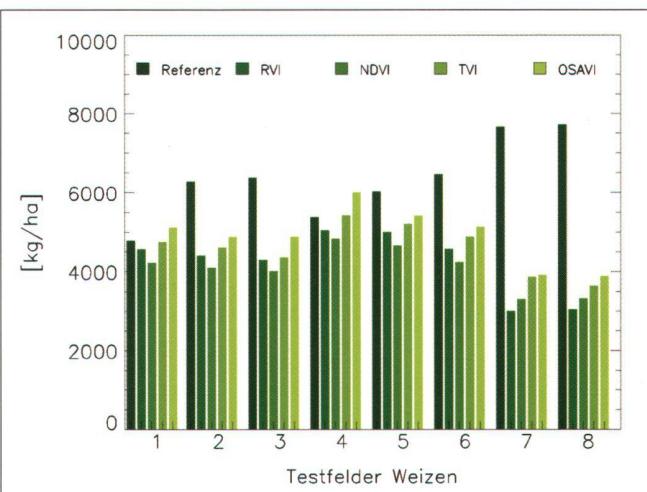


Abb. 5: Resultate des erweiterten Modells für Weizen, Mai-Szene.

wurden mit den Vegetationsindex-Werten der Juni-Szene erreicht. Die Vegetationsindex-Werte sind zum Zeitpunkt dieser Aufnahme sehr hoch, weshalb sie sich zur Prognostizierung sehr gut eignen. Die Vegetationsindex-Werte sind am 3. Mai noch zu tief, um mit Hilfe des erweiterten Modells eine realistische Prognose machen zu können.

Modell/Szene	Referenz [kg]	Prognose RVI [kg]	Abwei- chung [%]	Prognose NDVI [kg]	Abwei- chung [%]	Prognose TVI [kg]	Abwei- chung [%]	Prognose OSAVI [kg]	Abwei- chung [%]
Einfaches Modell / 20. Juni	525 000	454 957	13.3	455 449	13.2	472 097	10.0	449 370	14.4
Erweitertes Modell / 20. Juni	525 000	354 005	32.6	426 996	18.7	332 425	36.7	497 115	5.3
Erweitertes Modell / 3. Mai	525 000	353 390	32.7	341 921	34.9	381 502	27.3	414 694	21.0

Tab. 2: Weizen-Prognosen für den ganzen Betrieb.

Modell/Szene	Referenz [kg]	Prognose RVI [kg]	Abwei- chung [%]	Prognose NDVI [kg]	Abwei- chung [%]	Prognose TVI [kg]	Abwei- chung [%]	Prognose OSAVI [kg]	Abwei- chung [%]
Einfaches Modell / 14. August	1 925 670	1 942 170	0.9	1 940 750	0.8	1 678 180	12.9	1 946 870	1.1
Erweitertes Modell / 14. August	1 925 670	2 060 720	7.0	2 411 150	25.2	73 468 300	3715.2	2 245 080	16.6

Tab. 3: Zuckerrüben-Prognosen für den ganzen Betrieb.

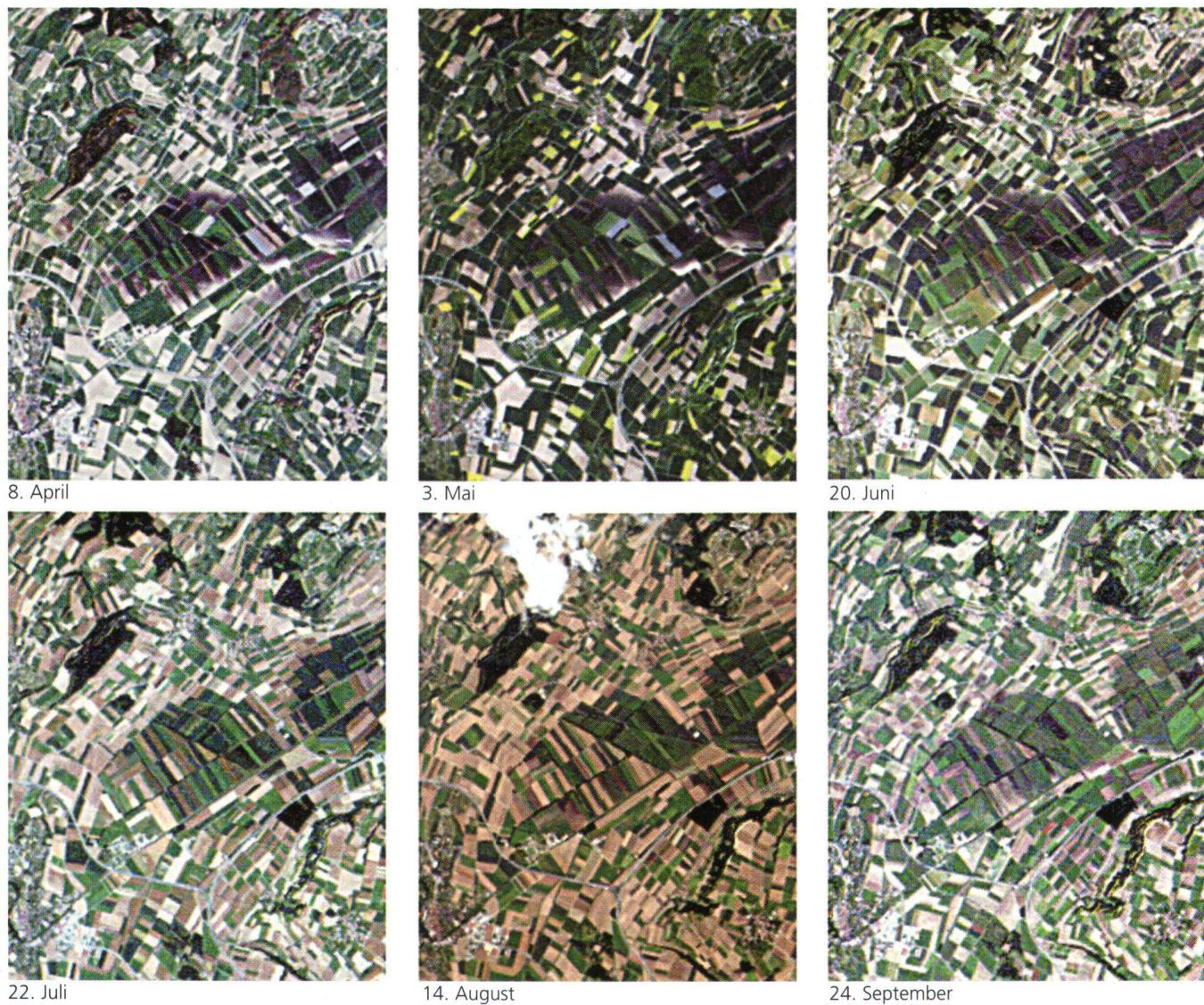


Abb. 6: Zur Eichung eines Ernteprognosemodells ist es notwendig, einen weitgehend wolkenlosen Satellitenbild-Datensatz zur Verfügung zu haben, der eine ganze Vegetationsperiode abdeckt. Abgebildet sind sechs Landsat-TM Szenen (Darstellung: Kanäle 3,2,1 – RGB) aufgenommen in den Monaten April–September 1995. Sie zeigen die Orbe-Ebene südwestlich von Yverdon, welche als Testgebiet einer Untersuchung zur Ernteprognosemodellierung diente. Gut zu erkennen ist die sich saisonal ändernde Bodenbedeckung sowie einzelne Phänologiezustände verschiedener Feldfrüchte, wie zum Beispiel die blühenden Rapsfelder in der Mai-Szene oder die erntereifen Getreidefelder in den Juni- und Juli-Szenen.

### 4.3.2 Zuckerrüben

Die Ernteprognosen der einzelnen Zuckerrübenfelder wurde ebenfalls auf den ganzen Betrieb hochgerechnet (Tab. 3). Die Anbaufläche beträgt 31 336 ha. Mit dem einfachen Modell konnte mit dem RVI und NDVI eine gute Prognose erzielt werden. Die Abweichungen betragen 0.8% bzw. 0.9%. Bei der Prognostizierung mit dem erweiterten Modell schrumpft der RVI mit einer Abweichung von 7% am besten ab. Dies überrascht insoweit, als dass sich das Modell 2 auf ein lineares Verhalten der Reflexion um den Zeitpunkt  $t_p$  abstützt. Das spektrale Verhalten der Zuckerrüben muss um diesen Zeitpunkt herum aber eher als doppelloogarithmisch bezeichnet werden. Auf eine Durchführung der Berechnung mit einer andern Szene des Datensatzes wurde verzichtet, weil der Aufnahmezeitpunkt der August-Szene als optimal bezeichnet werden kann.

auszuwertenden Gebiet. Da es sich bei der Eichung jedoch um einen einmaligen Prozess handelt, sollte die Verfügbarkeit dieser Daten kein Problem darstellen. Der Datenaufwand umfasst den multitemporalen Datensatz, zum Beispiel 5–7 Landsat 7 ETM+-Szenen, (Kosten für eine systemkorrigierte Szene von 185 km x 170 km: ca. 1200.– sFr.), ein digitales Geländemodell [2] (Kartenblatt-Preis für das DHM25-Matrixmodell: 1575.– sFr., Stand 03.2000) sowie zuverlässige Bodenmessungen. Der Arbeitsaufwand umfasst die Aufbereitung des Datensatzes, die Erhebung und das Zusammentragen der erreichten Ernteerträge sowie die eigentliche Eichung des Modells. Der Zeitaufwand dafür beträgt zirka vier Wochen. Ist das Modell geeicht, kann die Ernteprognose mit einer Szene, welche in dem oben genannten Zeitrahmen aufgenommen wurde, beliebig durchgeführt werden. Die Kosten belaufen sich bei der eigentlichen Ernteprognose auf ca. 1200.– sFr. für eine systemkorrigierte Szene. Der Arbeitsaufwand wird auf zwei Wochen geschätzt.

Die Resultate, welche mit dem einfachen Modell für Weizen erreicht werden konnten sind erfolgsversprechend. Mit den extrahierten Vegetationsindizes der Juni-Szene konnten Ernteerträge für den gesamten Betrieb mit einer minimalen Abweichung von 10% modelliert werden. Mit Hilfe des multitemporalen Datensatzes wurden die saisonal bedingten Vegetationsindex-Werte von Weizen und Zuckerrüben aufgezeigt und mögliche Kurvenverläufe modelliert. Mit dem daraus resultierenden Term  $t_p$  konnte eine Verbesserung der Ernteprognose von 5% erreicht werden. Die mit Hilfe der Mai-Szene modellierten Ernteerträge wichen hingegen um 21% von den tatsächlichen Ernteerträgen ab und müssen als zu ungenau bezeichnet werden. Für das einfache Modell erwies sich der TVI, und für das erweiterte Modell der OSAVI als geeignetster Vegetationsindex.

Die Ernteprognosen für Zuckerrüben sind mit dem einfachen Modell mit Abweichungen von rund 1% sehr genau. Die Anwendung des erweiterten Modells

führte in diesem Fall zu keiner Verbesserung der Resultate. Es kann aber mit Bestimmtheit gesagt werden, dass die Ernteprognose für Zuckerrüben Ende August, eineinhalb Monate vor Erntebeginn, durchgeführt werden kann. Da nur drei Zuckerrübenfelder zur Verifikation des Modells zur Verfügung standen, kann keine sichere Aussage über die generelle Eignung des Modells gemacht werden. Man muss außerdem beachten, dass die Abweichungen je nach verwendetem Vegetationsindex stark variieren.

Diese Arbeit hat gezeigt, dass mit einer geometrischen Auflösung von 25 Metern die Überwachung grösserer landwirtschaftlicher Nutzflächen in der Schweiz durchaus möglich ist. Die Ergebnisse bestätigen die erfolgsversprechende Methodik des angewandten Erntemodells. Die Resultate sind für die Schweiz bisher einmalig. Ähnliche Modellierungen und Methoden werden aber in grösseren Untersuchungsgebieten, wie in einzelnen US-Bundesstaaten, indischen Provinzen, Ungarn und in diversen EU-Ländern, wie Spanien, Italien oder Deutschland operationell angewendet. Die hier für ein schweizerisches Gebiet gemachten Prognosen sind mit einer vergleichbaren Genauigkeit ausgefallen. Man darf aber nicht ausser Acht lassen, dass in dieser Arbeit nur ein kleines Testgebiet sowie nur zwei Kulturen untersucht werden konnten. Eine Vorhersage von Mais, Kartoffeln, Raps und Soja wären ebenfalls von Interesse und sollten für die Modellierung, sofern es sich um geschlossene Bestände ohne grosse Bodenreflexionseinflüsse handelt kein Problem darstellen. Im Idealfall sollte das Modell vor der Übertragung auf andere Gebiete zunächst ein oder mehrere Jahre verifiziert werden, um Erkenntnisse über die Stabilität der Methode zu erhalten. Damit würde man einen Eindruck über die Grösse der Unterschiede der saisonalen Verläufe von Vegetationsindizes und den Prognosen in verschiedenen Jahren gewinnen. Die geographische sowie zeitliche Ausdehnung der Untersuchung wäre insbesondere hilfreich zur Bestimmung des noch unbekannten Faktors  $t_c$ . Erst durch diesen Fak-

tor können örtliche sowie zeitliche Unterschiede einer Untersuchung in das Modell einfließen.

## Dank

Wir bedanken uns bei Ivo Leiss, der uns im Rahmen dieser Untersuchung mit seinem Fachwissen zur Seite stand.

## Literatur:

- [1] Asrar, G., Kanemasu, E.T., Jackson, R.D., Pinter Jr, P.J. (1985): Estimation of total above-ground phytomass production using remotely sensed data. In: *Remote Sensing of Environment*, Vol. 17, S. 211–220.
- [2] Homepage des Bundesamtes für Landestopographie, (2001): DHM25 Produktionsinformationen. 3.2000, <http://www.swisstopo.ch/de/digital/dhm25.htm>.
- [3] Clevers, J.G.P.W., (1989): The application of a weighted infrared-red vegetation index for estimating leaf area index by correcting for soil moisture. In: *Remote Sensing of Environment*, Vol. 29, Nr. 1, S. 25–37.
- [4] Das, D.K., Mishra, K.K., Kalra, N., (1993): Assessing growth and yield of wheat using remotely-sensed canopy temperature and spectral indices. In: *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 14, Nr. 17, S. 3081–3092.
- [5] Dadhwal, V.K. und Sridhar, V.N., (1997): A non-linear regression form for vegetation index-crop yield relation incorporating acquisition date normalization. In: *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 18, Nr. 6, S. 1403–1408.
- [6] Hamar, D., Ferencz, C., Lichtenberger, J., Tarczai, G. und Ferencz-Arkos, I., (1996): Yield estimation for corn and wheat in the Hungarian Great Plain using Landsat MSS data. In: *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 17, Nr. 9, S. 1689–1699.
- [7] Leiss, I.A., (1998): Landnutzungskartierung mit Hilfe multitemporaler Erdbeobachtungs-Satellitendaten. Dissertation am Geographischen Institut der Universität Zürich.
- [8] MARS Projekt Homepage, (2001): Monitoring Agriculture with Remote Sensing Techniques, <http://mars.aris.sai.jrc.it/activities/>.
- [9] Patel, N.K., Ravi, N., Navalgund, R.R., Dash, R.N., Das, K.C. und Patnaik, S., (1991): Estimation of rice yield using IRS-1A digital data in coastal tract of Orissa. In: *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 12, Nr. 11, S. 2259–2266.
- [10] Rondeaux, G., Steven, M., und Baret, F., (1996): Optimization of soil-adjusted vegetation indices. In: *Remote Sensing of Environment*, Vol. 55, Nr. 1, S. 95–107.
- [11] Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. und Deering, D.W., (1973): Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: third ERTS Symposium, NASA SP-351, NASA, Washington, DC, Vol. 1, S. 309–317.
- [12] Rudorff, B.F.T. und Batista, G.T., (1991): Wheat yield estimation at the farm level using TM Landsat and agrometeorological data. In: *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 12, Nr. 12, S. 2477–2484.
- [13] Sharma, T., Sudha, K.S., Ravi, N. und Navalgund, R.R., (1993): Procedures for wheat yield prediction using Landsat MSS and IRS-1A data. In: *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 14, Nr. 13, S. 2509–2518.
- [14] Steven, M.D., (1998): The sensitivity of the OSAVI Vegetation index to observational parameters. In: *Remote Sensing of Environment*, Vol. 63, Nr. 1, S. 49–60.
- [15] Tucker, C.J., (1979): Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. In: *Remote Sensing of Environment*, Vol. 8, S. 127–150.
- [16] Wiegand, C.L., Richardson, A.J., Kanemasu, E.T., (1979): Leaf area index estimates for wheat from Landsat and their implications for evapotranspiration and crop modeling. In: *Agronomy Journal*, Vol. 71, S. 336–342.

Dipl. Geogr. Sandra Eckert  
Dr. Tobias Kellenberger  
Remote Sensing Laboratories  
Universität Zürich-Irchel  
Winterthurerstrasse 190  
CH-8057 Zürich  
[seckert@geo.unizh.ch](mailto:seckert@geo.unizh.ch)  
[knelle@geo.unizh.ch](mailto:knelle@geo.unizh.ch)

Wandeln Sie Ihr INTERLIS-Datenmodell in ein UML-Diagramm. Oder umgekehrt. Software herunterladen, testen.

## Ihr Datenmodell als Diagramm!



**EISENHUT INFORMATIK**

Rosenweg 14 • CH-3303 Jegenstorf • Tel 031 762 06 62 • Fax 031 762 06 64 • <http://www.eisenhutinformatik.ch>