

**Institut für Nutzpflanzenwissenschaften  
und Ressourcenschutz  
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn  
Lehrstuhl für Allgemeinen Pflanzenbau  
Prof. Dr. Walter Kühbauch**

---

**Schätzung des regionalen Aufkommens an Sommergerste  
in Tschechien 2001 und 2002  
mit Satelliten- und Wetterdaten**

**I n a u g u r a l – D i s s e r t a t i o n**

zur

Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften  
(Dr. agr.)

der

Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität  
zu Bonn

vorgelegt am 22. Mai 2006

von

Dipl. Ing. agr. Barbara Schilling

Landwirtschaftsassessor

aus Bonn

D 98 (Diss. Universität Bonn)

Diese Dissertation ist auf dem Hochschulschriftenserver der ULB Bonn  
[http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss\\_online](http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online) elektronisch publiziert

Erscheinungsjahr: 2007

Referent: Prof. Dr. W. Kühbauch

Korreferent: Prof. Dr. G. Menz

Tag der mündlichen Prüfung: 18. August 2006

**Schilling, Barbara (2006):**

**Schätzung des regionalen Aufkommens an Sommergerste in Tschechien 2001 und 2002 mit Satelliten- und Wetterdaten**

Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Landwirtschaftliche Fakultät, Universität Bonn, 122 Seiten.

Ziel der Arbeit ist es, mit Hilfe der optischen Fernerkundung und ergänzender Daten das regionale Aufkommen an Sommergerste in Westböhmen in den Jahren 2001 und 2002 zu schätzen. Zwei getrennte Schätzverfahren werden dafür entwickelt, eines zur Inventarisierung der Anbaufläche und eines zur Prognose des Kornertrags pro Hektar.

Die Anbauflächenschätzung arbeitet auf der Basis einer Landnutzungsklassifikation mit multitemporalen, multispektralen Satellitenbildern. Die Szenen werden geometrisch-, radiometrisch- und atmosphärenkorrigiert, mit Vektordaten der tatsächlichen Landnutzung von Musterstücken, Vektordaten der Verwaltungsgebietsgrenzen und den Rasterdaten von CORINE-LANDCOVER® verschnitten. Die spektralen Eigenschaften der Musterstücke in den echten und den virtuellen Kanälen bilden den Klassifikator. Durch Herausrechnen der redundanten Informationen (Hauptkomponententransformation) wird die Distanz zwischen den Klassen vergrößert und damit die Klassifikation verbessert. Die Anbauflächenschätzung ist eine Addition der Flächeninhalte der als Sommergerste klassifizierten Felder in einem Landkreis. Im Ergebnis zeigt sich, dass bereits 2 Landsat-Szenen von Mai und Ende Juli/Anfang August ausreichend sind, um die Anbaufläche zu schätzen.

Die Ertragsschätzung besteht aus einer multiplen linearen Regressionsanalyse des Ertrages aus vorselektierten Wetter und NDVI-Werten. Mittels einer für diesen Zweck entwickelten Methode werden die unabhängigen Variablen den Entwicklungsphasen der Pflanzen von der Aussaat bis zur Ernte zugeordnet. Die Schätzwerte der Erträge sind den Ertragsdaten aus der offiziellen Agrarstatistik ähnlich.

Auch die Übertragung der Schelling-Methode auf die regionale Sommergerstenkornertragsschätzung in Westböhmen auf Basis der über Phänophasen aggregierten Wetterdaten ist erfolgreich.

**Schilling, Barbara (2006):**

**The prediction of regional spring barley production by satellite and meteorological data in 2001 and 2002**

Institute of Crop Science and Resource Conservation, Faculty of Agriculture, University of Bonn, 122 pages.

The aim of this study is to estimate the regional spring barley production in West-Bohemia in 2001 and 2002 using optical remote sensing and ancillary data. Two different estimation methods are developed, one for the area estimation and one for the yield prediction.

The estimation of the area is based on land-use-classification by evaluating multitemporal and multispectral satellite images. The raw image data is rectified with respect to geometric, radiometric and atmospheric distortions. It is combined with vector data of real land use of training areas and of borders of administration units, and also with CORINE-LANDCOVER® raster data. The class description is based on the spectral performance of the training areas in the bands and the arithmetic layers. We find the best separation distances between classes through feature space optimization and the classification result is improved. The area estimated per county is the sum of the areas classified as spring barley fields. The study shows that two LANDSAT images, one taken in May and the other in the last days of July or early in August are sufficient to appraise the area.

We use multiple linear regression analysis to forecast the yield, using selected meteorological and NDVI data. The explanatory variables are assigned to phenological phases in plant development from seeding to harvesting. The estimated yields resemble the agro-statistical values.

Furthermore the transfer of the "Schelling methodology of regional spring barley yield prediction" based on aggregated meteorological data in phenological periods to spring barley production in West-Bohemia is successful.

<b>1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2. STAND DES WISSENS .....</b>	<b>2</b>
<b>3. MATERIAL UND METHODEN.....</b>	<b>22</b>
3.1 Das Untersuchungsgebiet .....	22
3.2 Agrarstatistik.....	28
3.3 Agrarmeteorologische Daten.....	29
3.4 Feldbeobachtungen .....	32
3.5 Satellitendaten .....	33
3.5.1 Hochauflösende Satellitendaten für die Anbauflächenschätzung.....	33
3.5.2 Grobauflösende Satellitendaten für die Ertragsschätzung .....	36
3.5.2.1 Vorprozessierung.....	36
3.5.2.2 Extraktion der regionalen Ackerpixel-NDVI-MVC-Werte .....	39
3.6 Anbauflächenschätzung.....	41
3.6.1 Gesamtbilder .....	41
3.6.2 Klassifikationsprojekte .....	43
3.6.2.1 Rasterdaten und Vektordaten.....	43
3.6.2.2 Multiresolutionale Segmentierung.....	44
3.6.2.3 Klassifikation der Sommergerste.....	45
3.6.2.4 Anbauflächenschätzung.....	48
3.7 Schätzung der phänologischen Phasen.....	49
3.8 Ertragsschätzung .....	53
3.8.1 Ertragsschätzung mittels Wochenwetterdaten und Satellitendaten .....	54
3.8.1.1 Multiple Korrelationsanalyse.....	54
3.8.1.2 Multiple lineare Regression des Ertrages .....	56
3.8.1.3 Testmethoden zur Prüfung der Regressionsgleichungen.....	59
3.8.2 Ertragsschätzung nach über Phänophasen aggregierten Daten (Methode Schelling).....	60
3.8.3 Regressionsanalyse des Kornetrags aus Wetter- und Satellitendaten mittels des Statistikprogrammes SPSS®.....	62
<b>4. ERGEBNISSE .....</b>	<b>63</b>
4.1 Regionale Anbauflächenschätzung durch Satellitenbildauswertung .....	63
4.1.1 Genauigkeit der Klassifikation.....	63
4.1.2 Anbaufläche pro Landkreis .....	67
4.2 Schätzung der phänologischen Phasen.....	68
4.3 Ertragsschätzung .....	68
4.3.1 Ertragsschätzung mittels Wochenwetterdaten und Satellitendaten .....	68
4.3.2 Ertragsschätzung nach über Phänophasen aggregierten Daten (Methode Schelling).....	75
4.3.3 Ergebnisse der SPSS© Berechnungen und Vergleich der 10 Modelle.....	79
4.4 Ableitungen aus der Korrelationsmatrix zur Schätzung der Ertrags- und Qualitätsentwicklung auf der Grundlage von Wetter- und NDVI-Daten .....	82
<b>5. DISKUSSION .....</b>	<b>88</b>

<b>6. ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>93</b>
<b>7. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>94</b>
<b>8. ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>98</b>
<b>9. TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>100</b>
<b>10. LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>102</b>
<b>11. ANHANG.....</b>	<b>110</b>

## 1. Einleitung und Zielsetzung

Die Kapazität der Mälzereien in Deutschland liegt bei 2,5 Mio. Tonnen Braugerste, die jährlich zu Malz verarbeitet werden können. Um stets ausgelastet zu sein, müssen die Mälzereien sich sowohl um die Beschaffung des Rohstoffes Braugerste wie auch um den Absatz des Malzes an Brauereien im In- und Ausland bemühen. Das Braugerstenaufkommen in Deutschland ist selbst in Jahren mit hohen Kornerträgen niedriger als der Bedarf der Mälzereien. Deshalb muss die deutsche Malzindustrie Braugerste aus benachbarten Regionen zukaufen. Hierbei kommt den Frachtkosten eine große Bedeutung zu. Der Transport mit dem Lastkraftwagen über eine Entfernung von 500 km kostet für eine Tonne Gerste 25 Euro. Ein preiswerter Transport via Schiff ist bei vielen Mälzereistandorten und Braugerstenanbaugebieten in Europa wegen ihrer hafentfernen Lage nicht möglich.

Die westböhmische Braugerstenanbauregion liegt nur 200 km von den süddeutschen Mälzereien und Brauereien entfernt und gehört seit 1. Mai 2004 zur Europäischen Union. Es liegt deshalb nahe, aus dieser Region Gerste zu beziehen und auch tschechische Brauereien als Malzkäufer zu gewinnen.

Das Braugerstenaufkommen in Tschechien schwankt von Jahr zu Jahr. Es ist abhängig vom Kornertrag pro Hektar, der Qualität der Körner und der Größe der Anbaufläche. Eine frühzeitige Kenntnis der zu erwartenden Erträge würde den Mälzereien eine vorausschauende Kalkulation der Kosten und sichere Beschaffung des Rohstoffes erleichtern.

Zielsetzung der Arbeit ist es, eine Methode zu finden, die mit konventionellen und fernerkundlichen Daten eine frühzeitige Prognose des tschechischen Braugerstenaufkommens zulässt.

Damit ergeben sich zwei Fragestellungen, die mit unterschiedlichen Methoden beantwortet werden müssen, die Anbauflächenschätzung und die Ertragsschätzung.

## 2. Stand des Wissens

Ausgangspunkt für die Studie waren vorausgehende Untersuchungen. In diesen wurden der Einfluss des Bodentyps, der Höhenlage und der Braugerstensorte auf die spektrale Remission von Braugerste (MÜLLER 2000) sowie die operationelle Anwendung von Witterungs- und NOAA-Satellitendaten zur Prognose des Ertrags und der Qualität von Braugerste erforscht (SCHELLING 2000). Phänologische Daten wie die Länge der Kornfüllungsphase (Zeitraum zwischen Ährenschieben und Gelbreife) und ihr Einfluss auf Qualität und Ertrag von Braugerste wurden untersucht (SCHELLING et al. 2003). Die gefundenen Beziehungen zwischen dem Ertrag und den mit dem Ertrag in der Regel positiv korrelierten Qualitäten der Braugerste einerseits und der witterungsabhängigen phänologischen Entwicklung des Getreides andererseits lieferte in Verbindung mit der über NOAA-Satelliten erfassten – den Allgemeinzustand der Vegetation wiedergebenden – Rot- und NIR-Reflektion, einen geeigneten Ansatz zur Schätzung des Aufkommens von Braugerste je Flächeneinheit. Auch ohne Berücksichtigung der Phänologie konnten in früheren Untersuchungen Ertrag (HANUS 1969, BINDER und ORTNER 1978, CHMIELEWSKI 1998) und Qualität (KLOß 1987) von Braugerste nach Witterungsdaten geschätzt werden.

### Qualität und Anbaumaßnahmen

Die Braugerstenqualität wird durch folgende Merkmale bestimmt (Scheffer 1974):

- Niedriger Eiweißgehalt. Er sollte höchstens 12 %, möglichst weniger als 11 % betragen. Zu hoher Eiweißgehalt führt unter anderem zu unerwünschter Trübung des Bieres.
- Gleichmäßige, große Körner. Als Braugerste kommt nur solche Gerste in Frage, die ein Schlitzsieb von 2,2 mm Maschenweite nicht mehr passiert. Die Qualitätsbezeichnungen der Braugerste richten sich nach dem Vollgerstenanteil, das heißt dem Anteil der Körner, die größer als 2,5 mm sind. Man nennt eine Braugerste *Vollgerste*, wenn 80% der Körner größer als 2,5 mm sind, *feine Gerste*, wenn 90 % der Körner größer als 2,5 mm sind und *Ausstichgerste*, wenn 95 % der Gerstenkörner größer als 2,5 mm sind.



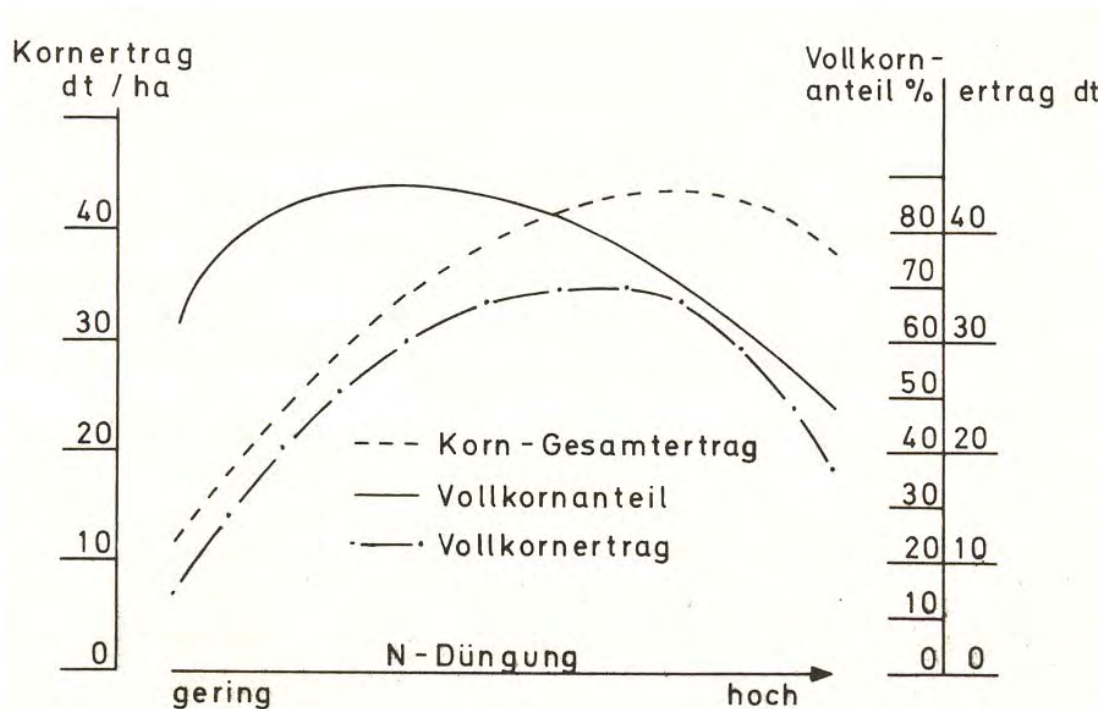
- Feine Spelzen. Der Spelzenanteil soll 9 % des Gesamtgewichtes nicht überschreiten. Ein hoher Spelzenanteil wirkt sich nachteilig auf die Geschmacksbildung und die Farbe des Bieres aus.
- Hohe Keimfähigkeit. Die Keimfähigkeit sollte mindestens 95 % betragen.
- Weitere Qualitätskriterien sind: Geruch, Farbe, Kornausbildung, Auswuchs und Grad der Verletzung der Körner.

Die Qualitätserzeugung kann der Landwirt durch geeignete Anbaumaßnahmen steuern. Die Wahl der richtigen Sorte (Vermarktungschance, standortgerechtes genetisches Potential) und ein möglichst früher Aussaattermin (pro Woche Saatverzögerung ist mit 5 % Minderertrag und um 0,5 % höherer Proteingehalt zu rechnen) bilden die Basis. Erwünscht ist eine möglichst dichte Saat, um die Bestockung einzuschränken, da Bestockungstriebe immer kleinere Körner als die Haupttriebe produzieren. Ausreichend hohe Kalidüngung (20 kg K<sub>2</sub>O pro t Kornertragserwartung) ist Voraussetzung für hohen Stärkegehalt, außerdem werden Standfestigkeit sowie Widerstandsfähigkeit gegen Mehltau erhöht. Die Stickstoffdüngung darf höchstens zu zwei Zeitpunkten erfolgen, eine Spätdüngung ist nicht angebracht. Die Gesamtstickstoffdüngung sollte nicht unter 50 kg ha<sup>-1</sup> liegen. Die erste Stickstoffgabe sollte sehr frühzeitig, möglichst vor der Saat, erfolgen und ca. 40 kg N ha<sup>-1</sup> betragen.

Für den Grad der Eiweißbildung ist die Ausreife von großer Bedeutung. Geht sie langsam vonstatten, ist mit einem niedrigen Eiweißgehalt zu rechnen, tritt Notreife ein, so liegt der Eiweißgehalt sehr hoch.

Wie Braun (1980) ausführte, sind die Ziele geringer Proteingehalt und Großkörnigkeit durchaus kombinierbar, wenn nicht daneben unbedingt die Forderung nach Höchstertrag bestünde. Denn bei schwacher N-Düngung und geringer Bestandesdichte fällt der Ertrag meist großkörnig aus und ist dabei eiweißarm. Auch bei reichlich mit Stickstoff versorgten Beständen ist ein großkörniger, eiweißarmer Ertrag möglich. Jedoch wird durch ungünstige Witterung der gewünschte hohe Ertrag nicht erreicht, weil das Tausendkorngewicht (TKG) unter den Erwartungen blieb, ist damit ein überhöhter Proteingehalt verknüpft. Dass die N-Düngung als wesentlicher Hebel der Ertragssteigerung tendenziell auf

Erhöhung des Proteingehaltes, aber Senkung des TKG wirkt, liegt maßgeblich am Bestockungsimpuls der frühen und der Steigerung der Kornzahl / Ähre durch die späteren N-Gabe. In Abb. 1 ist modellhaft die Wechselwirkung der N-Düngung auf die Ertragsstruktur der Sommergerste dargestellt.



**Abbildung 1: Abhängigkeit von Korngesamtertrag, Vollkornanteil und Vollkornertrag von der Höhe der N-Düngung (halbschematisch) (BRAUN 1980). Die Begriffe gering und hoch sind je nach Standort verschieden zu interpretieren.**

Zu geringe N-Düngung kann allerdings dazu führen, dass die Sorte ihr Ertragspotential aufgrund von mangelhafter Nährstoffversorgung nicht ausschöpfen kann und Ertrag und Qualität selbst bei günstiger Witterung schwach bleiben. Auch mangelnde Kaliumversorgung hat mindernde Wirkung auf Ertrag und Qualität.

Zunächst soll an Hand der vorhandenen Literatur die Frage beleuchtet werden, welche Beziehungen zwischen dem Verlauf der Witterung und Ertrag und Qualität der Sommergerste bestehen.

KREUTZ (1962) untersuchte den Einfluss von Witterung und Boden auf Ertrag und Qualität der Braugerste an 25 verschiedenen Standorten unterschiedlicher Böden und Höhenlagen in Baden-Württemberg und Bayern in den Jahren 1956 und 1957. Er stellte fest, dass „sich geringe Winterniederschläge und wasserzehrende

Witterung im März und Anfang April günstig auf den Ertrag auswirken. Ebenso wirken Temperaturrückschläge, Trockenperioden und lange Sonnenscheindauer zwischen Aufgang und Ährenschieben positiv auf den Ertrag. Während der generativen Phase ist die Gerste sowohl gegen zu hohe wie auch gegen zu niedrige Niederschläge empfindlich. Geringe Winterniederschläge und trockene, warme und sonnenreiche Witterung im März und Anfang April führen zu eiweißärmerer Gerste; Trockenperioden in der generativen Phase hingegen führen zu einem höheren Eiweißgehalt. Das Tausend-Korn-Gewicht nimmt zu durch geringe Winterniederschläge, Wärme und Sonnenschein im März und Anfang April, sowie durch reichliche Niederschläge während und nach dem Ährenschieben.“

Johann LANG (1966) zeigte in seiner Dissertation zum Einfluss von Klimafaktoren auf den Wachstums- und Entwicklungsverlauf sowie die Ertrags- und Qualitätsleistung der Braugerste, dargestellt durch internationale Anbauversuche an sechs europäischen Standorten, die enorme Anpassungsfähigkeit der Braugerste an unterschiedliche Klimabedingungen. Standorte und Jahre mit viel Sonnenschein, hier wirken sowohl die Tageslänge wie auch die Intensität der Strahlung positiv, und wenig Niederschlägen in der vegetativen Phase der Braugerste brachten die besten Erträge. Die Ursachen lagen in der Ausbildung eines kräftigen, leistungsfähigen Wurzelsystems und einem straffen Heranwachsen der Pflanzen mit kleinen Zellen und einer damit verbundenen besseren Standfestigkeit. Der kompakte Aufbau der Pflanze verbunden mit intensivem Lichteinfall führte zu einer Verminderung des Befalls mit Blattkrankheiten wie *Helminthosporium gramineum* (Streifenkrankheit), *Rhynchosporium secalis* (Blattfleckenkrankheit) und *Puccinia glumarum* (Gelbrost), die besonders in feuchten Jahren und an sonnenarmen Standorten Ertragseinbußen herbeiführten. Die Ausbildung von Bestockungstrieben der Sommergerste wurde durch niedrige Temperaturen und kurze Tageslänge gefördert. Unter Langtagsbedingungen treten alle Getreidearten in die generative Phase ein, sichtbares Zeichen dafür ist die Verlängerung der Halminternodien, das Getreide beginnt zu schossen. Die Weiterentwicklung der Bestockungstriebe zu Ähren tragenden Halmen kann jedoch durch steilen Temperaturanstieg und Wassermangel beeinträchtigt werden. Klima- und Witterungsbedingungen, die die Schossphase der Gerste verlängern, z.B. Temperaturrückschläge oder ein geringeres Lichtangebot in dieser Phase, führten zu einer höheren Kornzahl / Ähre. Das Tausend-Korn-Gewicht ist am höchsten, wo Wetter und Klima eine lang andauernde Kornfüllungsphase

begünstigen, etwa durch eine hohe Lichtmenge bei gleichzeitig milden Temperaturen um die 18° C und gleichmäßiger Wasserversorgung. In Bezug auf den Rohproteingehalt des Erntegutes zeigte die internationale Studie, dass eine lange Dauer der Phänophase „Auflaufen bis Ährenschieben“, die durch eine frühe Saat oder niedrige Temperaturen bei kurzer Tageslänge (unter 12 Stunden) gefördert wird, den Proteingehalt senkt. Dagegen erhöhen hohe Maximum- und Durchschnittstemperaturen in dieser Phase den Proteingehalt, weil die hohe Temperatur die Nettphotosynthese verkleinert und die Phase verkürzt. Niedrige Minimumtemperaturen in der generativen Phase scheinen eiweißsenkend zu wirken.

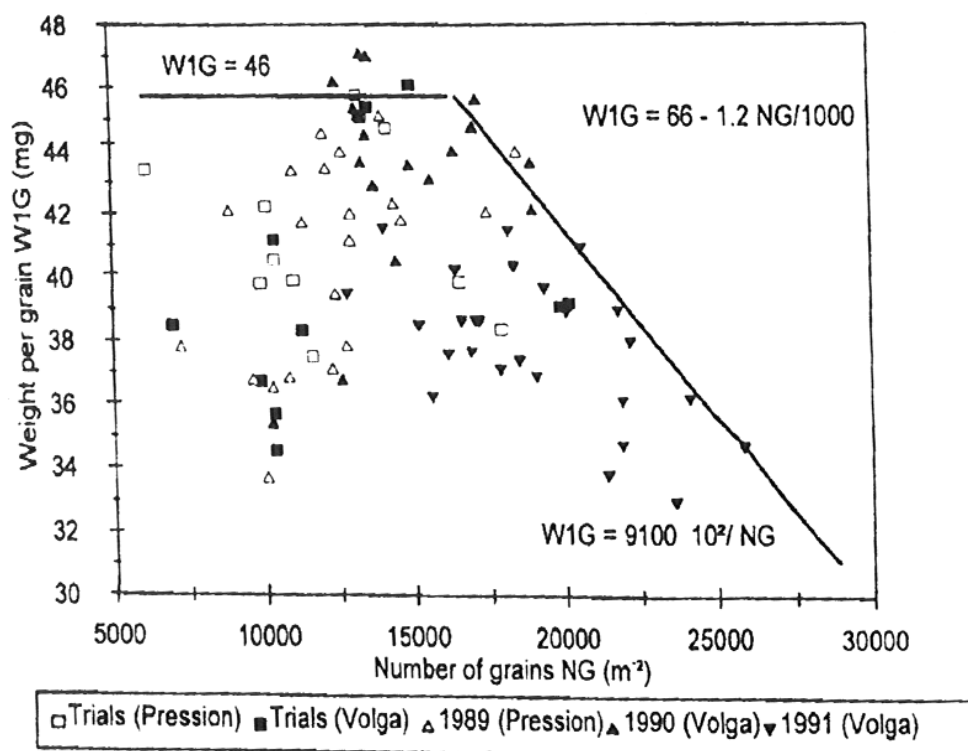
CHMIELEWSKI (1998) wertete die Witterungs- und Ertragsdaten für Sommergerste der Jahre 1962-1989 aus. Einerseits sei „eine ausreichende Niederschlagsversorgung und hohe Luftfeuchtigkeit im Mai günstig für die Ausbildung der Korn-erträge. Hohe Maxima der Lufttemperatur sowie eine übernormale Sonnenscheindauer, verbunden mit einem starken Verdunstungsanspruch der Atmosphäre (Wind und trockene Luft) führen zu Ertragseinbußen. Die negativen Ladungen der Lufttemperatur verstärken sich noch im Juni. Insgesamt lässt sich die Variabilität des Kornertrages zu annähernd 60% aus der Witterung erklären. Die Ertragskomponenten zeigten ebenfalls eine deutliche Beeinflussung durch den jährlichen Witterungsverlauf. Im Mai würden vor allem die Kornzahl je Ähre durch starke Einstrahlung und hohe Werte der potentiellen Verdunstung negativ beeinflusst. Hohe Luftfeuchtigkeit und ausreichende Niederschläge wirken positiv auf die Ausprägung dieses Merkmals. Für die Bestandesdichte ergibt sich die stärkste Witterungsabhängigkeit im Juni. Vor allem hohe Temperaturen, kombiniert mit einer hohen potentiellen Verdunstung, führten zu einer Reduktion ährentragender Halme. Die stärkste positive Ladung zeigt hier die relative Luftfeuchtigkeit. Das Tausend-Korn-Gewicht wird erwartungsgemäß relativ spät, d.h. erst im Juli merklich beeinflusst. Hier wirkten sich in erster Linie hohe Temperaturen negativ auf die Kornfüllung aus. Auch in diesem Zeitabschnitt ist eine höhere Luftfeuchte eher günstig für ein hohes TKG.“

SCHELLING et al. (2003) bezogen sich in Felduntersuchungen in Rheinland-Pfalz und Süddeutschland auf die phänologischen Phasen der Sommergerste und stellten fest, dass lang dauernde Kornfüllungsphasen mit niedrigen Temperaturen, viel Regen und hoher Luftfeuchtigkeit einhergehen. Die lange Dauer hat einen positiven

Effekt auf Ertrag und Qualität, wobei sich der Vollgerstenanteil am wenigsten veränderte. In den meisten Fällen ging hohe relative Luftfeuchtigkeit, sie begünstigt die Kohlenhydratbildung und senkt die Respirationsverluste, mit niedrigem Kornproteingehalt einher. Sind aber wie im Jahre 1980 Niederschläge und Luftfeuchtigkeit außerordentlich hoch, geht das Getreide ins Lager und Ertrag und Qualität werden stark gemindert. Überdurchschnittliche Erträge wurden in diesen Untersuchungen nie erreicht, wenn während der Kornfüllungsphase die Tagesdurchschnittstemperatur über 18°C stieg; niedrige Proteingehalte unter 10,5% bedürfen Tagesdurchschnittstemperaturen während der Kornfüllungsphase von weniger als 17°C, mindestens 116 mm Niederschlag und mindestens 75% relative Luftfeuchte. Vollkornanteile von über 90% gab es nur in Jahren mit durchschnittlichen Tagestemperaturen während der Kornfüllungsphase von weniger als 16°C. Gleichmäßig verteilte Niederschläge oder Böden mit hohem Wasserspeichervermögen begünstigen die kontinuierliche Wasserversorgung der Pflanzen und damit das Längenwachstum der Blätter und Stängel. Niederschläge, Verdunstungskälte und Bewölkung tragen zugleich zu einer Verminderung der Bestandestemperatur bei, wodurch wiederum die Fotorespiration und Dunkelatmung der translozierbaren Kohlenhydrate - beides Prozesse, die zu Lasten der Assimilation gehen und zu verminderter Kornfüllung führen - verringert wird. Bewölkung und Niederschläge verringern aber zugleich den Strahlungsgenuss der Pflanzen, womit zumindest geringere Bruttofotosynthese verbunden ist. Aufgrund der zum Teil gegenläufigen Wirkung ist die Ertragsprognose für Braugerste und andere Kulturpflanzen schwierig. Als Orientierung kann aus der Literatur (KREUTZ 1962, LANG 1966, CHMIELEWSKI 1998 und SCHELLING 2003) abgeleitet werden, dass eine lang andauernde Kornfüllungsphase bei kühler und feuchter Witterung die Ertragsbildung begünstigt. Und schließlich machen extreme Witterungsereignisse in manchen Jahren oder an manchen Standorten alle Prognosen zunichte, wenn zum Beispiel starke Niederschläge mit Sturmböen dazu führen, dass Getreide lagert oder Hagelkörner die Ähren zerschlagen.

LE BAIL und MEYNARD (2003) untersuchten den Braugerstenanbau im Pariser Becken und führten die Unterschiede in Ertrag und Proteingehalt der Braugerste auf Unterschiede in der Produktionstechnik, dem Witterungsverlauf und der Bodenfeuchte während der Saatbettbereitung zurück. Nur bei nicht Bodenstruktur schädigender Saatbettbereitung bei trockenem Oberboden konnten Höchsterträge

erzielt werden. Bodenbearbeitungsmaßnahmen bei feuchter Witterung führten zu Bodenverdichtungen, die dann die Wurzeln an einer gesunden Entwicklung hinderten. Dieses Defizit führte dazu, dass die Pflanze in der Kornfüllungsphase die Ähren nicht mehr vollständig mit Wasser versorgen kann. Dies erklärt auch die großen Unterschiede in Ertrag und Qualität von Feld zu Feld im gleichen Jahr. Ferner stellten die Autoren eine strenge Abhängigkeit des Korngewichts von der Anzahl der Körner pro  $m^2$  fest. Nur bei bis zu 17.000 Körnern pro  $m^2$  war ein optimales Korngewicht von 46 mg zu erzielen, höhere Körnerdichte aufgrund von mehr Bestockungstrieben pro  $m^2$  oder zu großer Saatstärke führte aufgrund der Konkurrenz zwischen den Körnern zu kleineren Körnern. Die **Abb. 2** zeigt den Zusammenhang von Korngewicht und Bestandesdichte bei den Sommergerstesorten Pression und Volga. Die Daten stammen aus den Dissertationen von LEBAIL (1997) und WIBAWA (1992) sowie Feldversuchen 1989, 1990 und 1991 im Pariser Becken.



**Abbildung 2:** Die Abhängigkeit des Korngewichtes von der Anzahl der Körner  $m^{-2}$  (LEBAIL 2003). Die Konkurrenz zwischen den Körnern verhindert die Entwicklung von großen Körnern bei hoher Bestandesdichte mit mehr als 17.000 Körnern pro  $m^2$ . Die Y-Achse zeigt das Korngewicht in mg, die X-Achse die Anzahl der Körner pro  $m^2$ . Die Untersuchung wurde mit 5 Braugerstensorten im Pariser Becken durchgeführt.

Der Kornertrag war mit einem multiplen Bestimmtheitsmaß von 0,89 als eine Funktion der absorbierten Stickstoffmenge und der N-Effizienz berechenbar, wobei

die N-Effizienz definiert ist als Anzahl der Körner pro  $m^2$  geteilt durch die absorbierte Stickstoffmenge pro  $m^2$ . Der Kornproteingehalt war mit einem multiplen Bestimmtheitsmaß von 0,87 als eine Funktion der N-Effizienz und dem Korngewicht erklärbar.

Da die Erntemenge ein Produkt von Hektarertrag und Anbaufläche ist, ist die Anbauflächenschätzung für die Ernteprognose ebenfalls von Bedeutung. Mit Beginn des *Large area crop inventory experiment (LACIE)* 1974, einer Gemeinschaftsstudie von NASA, NOAA und dem US-Landwirtschaftsministerium, wurde ein Verfahren entwickelt, das die Anbauflächenschätzung von Weizen auf Basis von multitemporalen und multispektralen Landsat-Daten in Verbindung mit agrarstatistischen und Witterungsdaten ermöglicht (MAC DONALD, R.B. und HALL, F.G. 1980). Eine sehr hohe Trefferquote in der Artenerkennung vor allem bei Winterweizen zeigt eine Studie von MÜLLER (KÜHBAUCH et al. 1990), die sich auf eine Landsat-Szene der Region Weilerswist bei Bonn vom 1. August 1988 stützt.

KLAETKE et al. (1991) zeigten, dass die flächendeckende Bestimmung von Feldkulturarten auch in kleinstrukturierten Gebieten Baden-Württembergs möglich ist. Sie klassifizierten nach Winterweizen, Wintergerste, Sommergerste, Zuckerrüben, Winterraps, Mais und Erbsen. Dabei liefert die Anbauflächenschätzung für Winterweizen die genauesten Ergebnisse mit nur 3% Abweichung von einer Hochrechnung des Statistischen Landesamtes. Zwei Faktoren erwiesen sich als begrenzend für die Anbauflächenschätzung, die oft geringe Größe der Parzellen von weniger als 0,5 ha und die Verfügbarkeit von wolkenfreien Satellitenszenen aus der Vegetationsperiode.

PESTEMALCI, et al. (1995) schätzten mittels Landsat-Szenen die Anbauflächen von Weizen und Gerste in der Provinz Adana, Türkei. Sie kamen auf einen Schätzfehler von 15%, den sie unter anderem auf nicht optimale Aufnahmezeitpunkte zurückführten.

CSORNAI et al. (2002) untersuchten im Rahmen des seit 1980 laufenden ungarischen landwirtschaftlichen Fernerkundungsprogramm (HARSP) die Möglichkeiten der Anbauflächen- und Ertragsschätzung für 8 Hauptfrüchte. Ziel von HARSP ist ein für das gesamte Staatsgebiet Ungarns flächendeckendes Monitoring und frühzeitige Ertragsprognosen. Die Flächenschätzung basiert auf hochauflö-

senden, vornehmlich LANDSAT-, IRS- und SPOT- Daten. Die Ertragsschätzung fußt auf NOAA AVHRR Werten derjenigen Flächen, die parallel in der Klassifikation als Anbauflächen einer der 8 Hauptfrüchte identifiziert wurden. Die Ergebnisse sind ähnlich denen des Statistikamtes, das auf Basis von Anbauberichten seine Ergebnisse gewinnt. Nur bei Sommergerste war die Übereinstimmung der konventionellen Agrarstatistik mit den fernerkundungsgestützten Schätzungen nicht befriedigend. Die in Ungarn angewendete Methode der fernerkundlichen Ertragsschätzung basiert auf dem von PUYOU LASCASSIES et al. (1994) publizierten Verfahren der linearen Entmischung von NOAA AVHRR Serien. Ein NOAA Pixel stellt, bedingt durch die Größe der gescannten Fläche von 1,1 km<sup>2</sup> eine Mischsignatur dar, an deren Entstehung verschiedene Landnutzungsklassen beteiligt sind, die in dieser Fläche vorkommen. Zur Entmischung kann mit Hilfe der multiplen linearen Regression (zur Definition des Begriffes siehe Abschnitt 3.8.1.2) bei bekanntem Flächenanteil der Klassen und bekannten Spektralverhalten zu einem Aufnahmetermin das Spektralverhalten der beteiligten Landnutzungsklassen (Endmembers) berechnet werden. So entsteht über die Vegetationsperiode hinweg ein detailliertes Bild des Wachstumsverlaufs in Form der Entwicklung des Spektralverhaltens einzelner Fruchtarten.

Ein Nachteil der linearen Entmischung der von Sensoren aufgezeichneten reflektierten Strahlung ist nach LILLESAND und KIEFER (2000), dass sie manche Faktoren unberücksichtigt lässt. Sie trägt nicht den vielfachen Reflektionen Rechnung, denen die Strahlung ausgesetzt ist auf dem Weg von der Sonne durch die mit Staub und Dampf angereicherte Atmosphäre auf ein Objekt und von dort wiederum mit einiger Ablenkung zum Sensor. Die Pixel bilden auch Strahlung ab, die zwischen Bestandteilen der Szene wie Blätter und Boden vielfach reflektiert wurde.

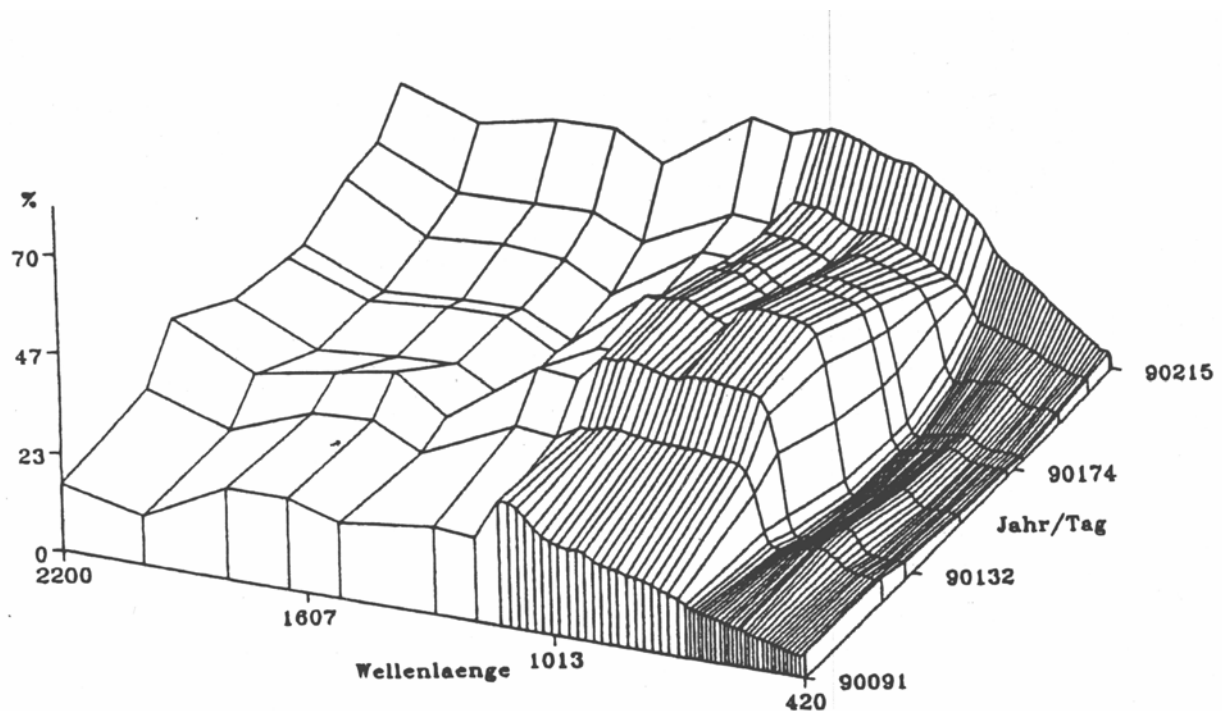
PUYOU LASCASSIES et al. (1994) realisierten bei den Ackerfrüchten, die mehr als 10 % der Szene ausmachten, die genauesten Ertragsschätzungen. CSORNAI et al. (2002) hatten die besten Ergebnisse bei Körnermais und Winterweizen, die das 10%-Kriterium in jeder ungarischen Region übererfüllten. Auf Basis des HARSP wird auch die ungarische Kontrolle der Flächenbeihilfen durchgeführt.

Auch Dänemark setzt die Fernerkundung zur Kontrolle der Flächenbeihilfen ein. PEDERSEN (2005) und McCLOY et al. (2005) erzielten sehr gute Klassifikationsergebnisse und genaue Flächenmessung mit einer Juli-QUICKBIRD-Szene (räumliche Auflösung 2,5 m für multispektral und 0,6m panchromatisch) und



einer EROS-Szene (räumliche Auflösung 1,93m) von Ende Mai. Sie fanden dabei heraus, dass im Gegensatz zu anderen Feldfrüchten die Sommergerste schwer zu klassifizieren ist, weil sie gleichzeitig und in der gleichen Region in einer Vielzahl von unterschiedlichen Remissionsprofilen vorkommt.

SCHNEIDER (1994) studierte die Möglichkeiten und Grenzen der spektralen Trennbarkeit ackerbaulicher Oberflächen anhand feldspektroskopischer Untersuchungen. Das verwendete Spektroradiometer hatte eine Integrationsfläche des Sensorblickfeldes von  $5,7\text{m}^2$ . Die Messungen zeigten, dass die Zeiträume Anfang bis Mitte Mai sowie Ende Juli / Anfang August für die Klassifikation der Sommergerste günstige Zeiträume sind. **Abb. 3** zeigt die Entwicklung des Spektralverhaltens der Sommergerste vom 91. Tag des Jahres bis zum 215. Tag.



**Abbildung 3: Netzdiagramm zur Vegetationsentwicklung der Sommergerste , Garching 1990, Mittelwertskurven (SCHNEIDER 1994).**

GRENZDÖRFER und FOY (2000) untersuchten die Verfügbarkeit wolkenfreier Satellitenszenen für den Raum Rostock in den beiden Vegetationsperioden 1997 und 1998. Von 179 erhältlichen Satellitenbildern der Sensoren LANDSAT TM, IRS 1 C/D und Spot waren nur 3 Szenen pro Jahr wolkenfrei und aus der entscheidenden

Jahreszeit von März bis Juli. Durch neue zusätzliche Satellitensysteme wird sich in Zukunft die Verfügbarkeit von geeigneten Aufnahmen verbessern.

Eine weitere Möglichkeit der Anbauflächenschätzung mittels Fernerkundung stellt die Klassifikation mittels multitemporaler Radaraufnahmen dar (HAMACHER et al. 2001).

Nach ATZBERGER (1998) kann die Fernerkundung zur Ertragsschätzung in t/ha in drei verschiedenen Weisen ihren Beitrag leisten:

- Durch die empirischen Beziehungen zwischen Spektraldaten und dem Ertrag (TUCKER & HOLBEN 1980, AASE & SIDDOWAY 1981, ASHCROFT et al. 1990);
- durch Einbezug der gemessenen Spektralwerte in die MONTEITH-Gleichung (MONTEITH 1977, LEBLON et al. 1991, STEINMETZ et al. 1990);
- durch Anpassung mathematischer Pflanzenwachstums-Simulationsmodelle (ARKIN et al. 1980, MAAS 1988, DELECOLLE et al. 1992).

QUARMBY et al. (1993) verwendeten multitemporale AVHRR-NDVI Daten zur Ertragsschätzung bei Weizen, Baumwolle, Reis und Mais in Nordgriechenland nahe Thessaloniki. Sie addierten die täglichen NDVI-Werte über die ganze Vegetationsperiode einer Kultur und schätzten daraus den Ertrag mit Hilfe der linearen Regression nach folgender Formel:

$$\text{Yield}_{(t)} = A_{(1986)} + B_{(1986)} \Sigma \text{NDVI}_{(t)} \quad \text{Formel 1}$$

$\text{Yield}_{(t)}$	ist der geschätzte Erntertrag einer bestimmten Kultur im Jahr t
$A_{(1986)}$	ist die Regressionskonstante aus dem Jahr 1986
$B_{(1986)}$	ist der Regressionskoeffizient aus dem Jahr 1986
$\Sigma \text{NDVI}_{(t)}$	ist die Summe der täglichen NDVI-Werte der Vegetationsperiode aus dem Schätzzahr t

Die Konstante A und der Koeffizient B sind kulturpflanzen-spezifisch und wurden aus dem Referenzjahr 1986 gewonnen. Die Ertragsschätzungen für Mais, Reis und Baumwolle für die Jahre 1987 bis 1989 waren sehr nahe an der offiziellen Ertragsstatistik, nur für Weizen wurde der Ertrag in den Jahren 1988 und 1989 um ein Drittel unterschätzt. WEISSTEINER und KÜHBAUCH (2005) verfeinerten das

Verfahren von QUARMBY et al. bei ihrer regionalen Sommergerstenertragsschätzung. Sie akkumulierten die NOAA-NDVI-Werte über definierte phänologische Phasen und korrigierten die ermittelten Schätzwerte um den Einfluss von Trockenheit und Hitze auf die Ertragsbildung.

Empirische Beziehungen liefern relativ gute Vorhersagen für Graserträge, wo die Trockenmasse das Erntegut ist. Für alle anderen Früchte scheinen die beobachteten Relationen stark abhängig zu sein von den Bedingungen, unter denen sie gewonnen wurden wie Jahr, Ort, Sorte, Behandlung und Entwicklungsstadium (DELECOLLE et al. 1992).

Die Europäische Kommission lässt in ihrem *MARS (Monitoring of agriculture by Remote Sensing) crop yield forecasting system* die Erträge der wichtigsten Feldfrüchte vorhersagen. Das System besteht aus drei Ebenen, der Wetterbeobachtung, der simulierten Ertragsbildung und der Ertragsvorausschätzung (**Abb. 4**). Herzstück des Verfahrens ist das Programm zur Pflanzenwachstumsmodellierung WOFOST, das von SUPIT et al. (1994) entwickelt wurde und mit van GOOT (2003) in der aktuellen Fassung veröffentlicht wurde. In das Programm fließen aktuelle Wetterdaten auf regionaler Ebene, Informationen über die Bodenqualität, historische Ertragsdaten und Fernerkundungsdaten ein.

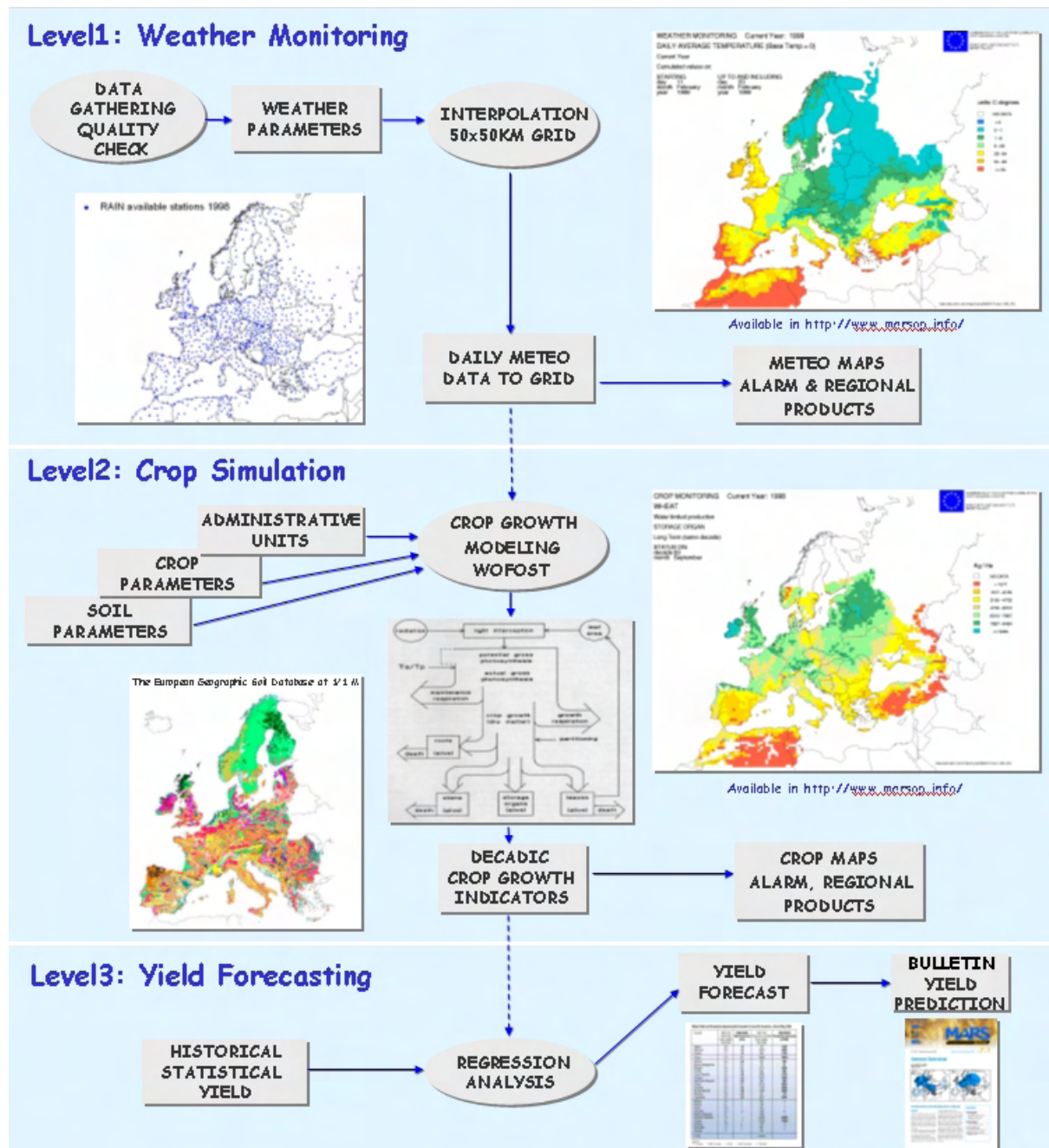


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Mars Crop Yield Forecasting Systems der Europäischen Kommission ( DELINCE 2004).

In der MOCA STUDIE (CROP MONOGRAPHIES ON CENTRAL EUROPEAN COUNTRIES) der Europäischen Kommission, erschienen im September 2004, wird ein Überblick gegeben über Anbau und Ertrag von 10 Hauptfrüchten in Tschechien (ZALUD et TRNKA 2004). Als lokale Berichterstatter fungierten Zdenek ZALUD und Miroslav TRNKA von der Mendel Universtät Brünn. Die Sommergerste ist nach dem Winterweizen die wichtigste Kultur und nimmt 19% der Ackerfläche ein. Getreide insgesamt (Weizen, Gerste, Roggen und Hafer, ohne Körnermais) bedeckt 74% der

Ackerfläche. Die Studie berichtet auch über die Schwierigkeit, phänologische Daten (**Abb. 5**) aus den Anbaubereichen zu bekommen, was die Anwendung von Ertragsprognoseprogrammen erschwert. Auch physiologische Daten sind kaum verfügbar.

region	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
CZ_R01				6.1	6.2		6.5	6.6		6.8	6.9	
CZ_R02			6.1	6.2		6.5	6.6	6.8	6.9			
CZ_R03			6.1	6.2		6.5	6.6	6.8	6.9			
CZ_R04				6.1	6.2		6.5		6.8	6.9		
CZ_R05			6.1	6.2	6.3		6.5		6.8	6.9		

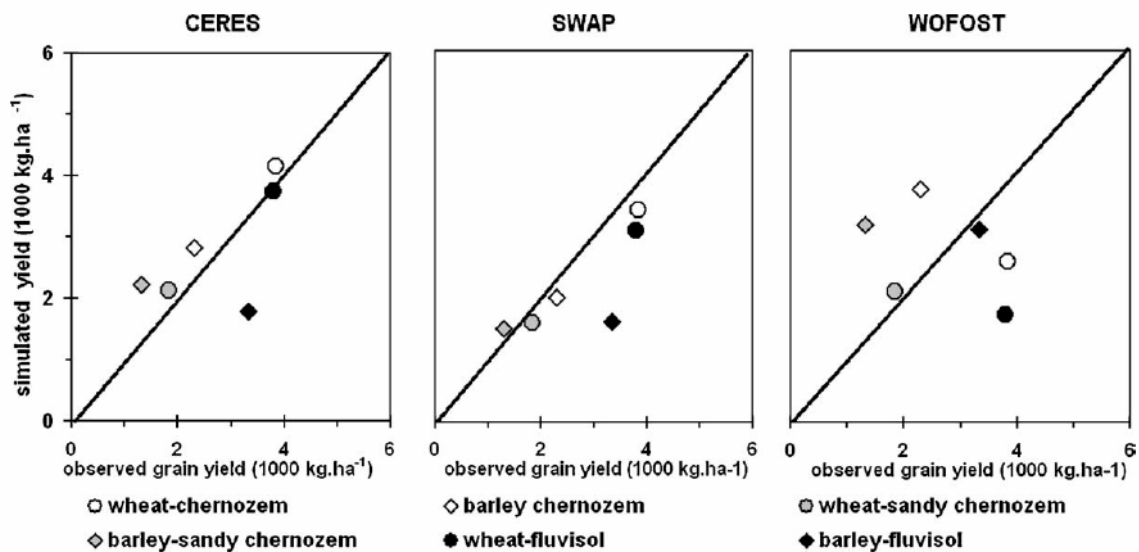
6.1	sowing	6.4	shooting	6.7	ripening
6.2	emergence	6.5	heading (ear emergence)	6.8	physiological maturity
6.3	tillering	6.6	flowering	6.9	harvest

**Abbildung 5: Phänologischer Kalender Sommergerste für 5 Anbauregionen, Zalud, Z., M. Trnka und P. Hlavinka in MOCA- Studie, 2004.**

Die gleiche Studie bietet auch einen Überblick über die tschechischen agrometeorologischen Modellierungsaktivitäten. In den 80er Jahren wurden auf Basis von empirisch-statistischen Beziehungen zwischen Wetter und Ertrag und zwischen Wetter und Erntebeginn sinnvolle Ergebnisse auf lokaler Ebene erzielt. Betrieben wurden diese Studien von Prof. Jiri Petr, (Tschechische landwirtschaftliche Universität in Prag), Dr. Jan Lipavsky, Direktor des Forschungsinstituts für pflanzliche Produktion in Prag-Ruzyne und von Mitarbeitern des landwirtschaftlichen Forschungsinstituts Kromeriz unter Leitung von HUBIK (1993). Diese Modelle waren regional anwendbar, aber ihr Potential wurde nie genutzt.

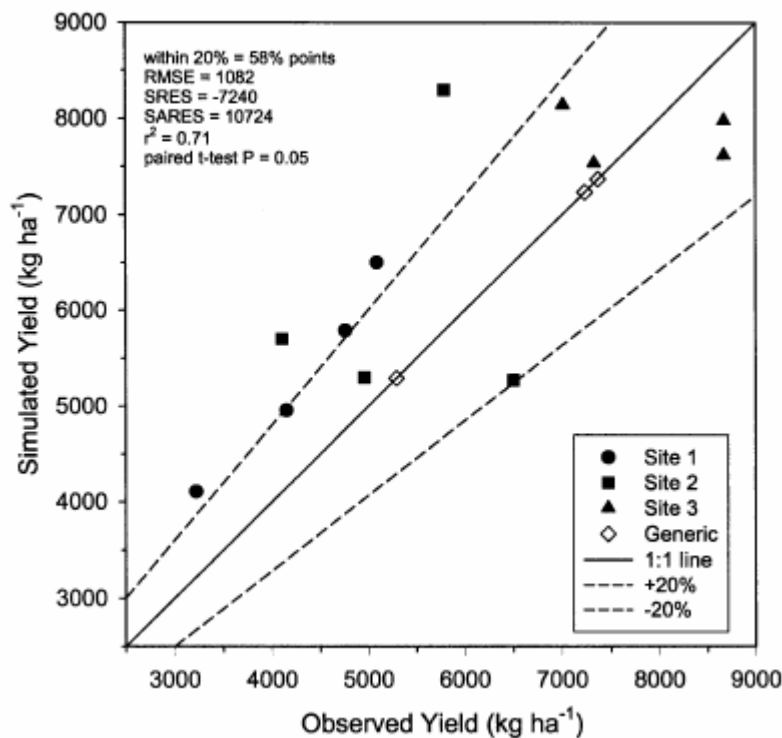
Im Rahmen der Vorbereitung auf einen EU-Beitritt begannen im Jahre 1993 erste Anwendungen von dynamischen Ertragsmodellen in Tschechien. Das DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) (HOOGENBOOM et al. 1994) ist ein Software-Paket, in dem das CERES-Modell (GODWIN et al. 1989, OTTER-NACKE et al. 1991) enthalten ist. Es wird verwendet für Mais, Weizen und Gerste zur Abschätzung der Folgen des Klimawandels und des Dürrerisikos sowie der Ertragsschätzung (STASTNA et al. 2002, ZALUD et al. 2000 und TRNKA et al. 2004). Das SWAP (Soil, Water, Atmosphere and Plant) Modell wird derzeit getestet, weil sich zeigte, dass das sonst in der EU verwendete WOFOST-Modell für die vertikal heterogenen Böden in Tschechien nicht so gut anwendbar ist (EITZINGER et al. 2004). Die **Abb. 6** zeigt die Ergebnisse von 3 dynamischen Modellen im

Vergleich. Die 3 Bodenarten Chernozem, sandiger Chernozem und Fluvisol sind typisch für tschechische Ackerböden.



**Abbildung 6: Vergleich von gemessenen und mit den Modellen CERES, SWAP und WOFOST simulierten Kornerträgen von Gerste und Weizen auf den Böden Chernozem, sandiger Chernozem und Fluvisol (EIZINGER et al., 2004).**

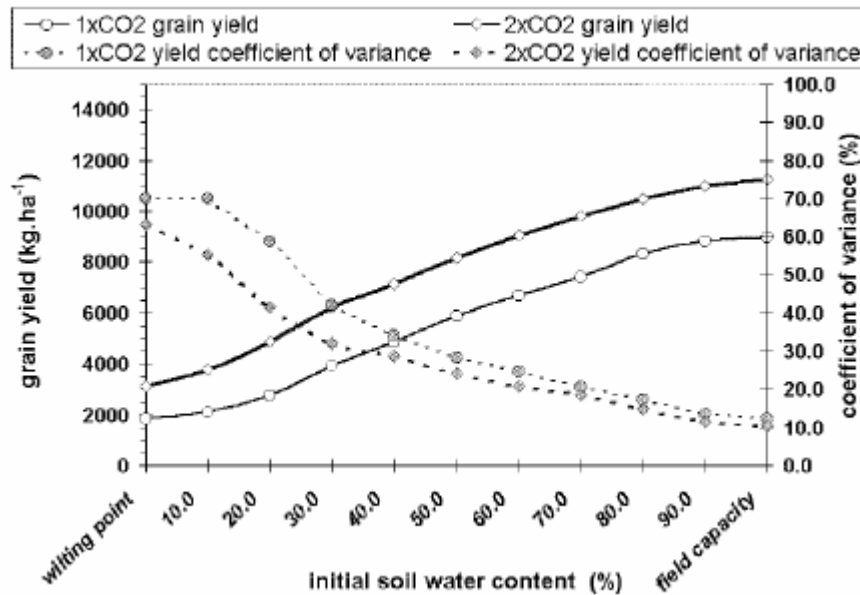
Ein weiteres dynamisches Wachstumsmodell SHOOTGRO (MCMASTER et al. 1991) wurde von der Universität Brünn in drei Anbaugebieten mit unterschiedlichen Klima- und Bodenbedingungen getestet (ZALUD et al. 2003). Dieser Versuch wurde nur mit Winterweizen durchgeführt. Mit diesem Modell wurden Eintrittsbeginn der Blüte, der Reife und die Höhe des Kornertrags geschätzt. Das Bestimmtheitsmaß für die Ertragschätzung lag bei 0,71. **Abb. 7** zeigt den Vergleich von gemessenem und simuliertem Kornertrag. Die Differenz führen die Autoren auf die Unterschiede in den Anbaubedingungen und den verwendeten Weizensorten in den Great Plains, USA, wo das Programm entwickelt wurde, und dem böhmisch-mährischen Anbaugebiet zurück.



**Abbildung 7: Beobachteter versus simulierter Ertrag bei Winterweizen in 3 tschechischer Anbauregionen (ZALUD et al., 2003).**

Wachstumssimulationsmodelle bieten — im Gegensatz zu empirisch-statistischen Modellen — auch die Möglichkeit, Klimabedingungen zu testen, die es in Wirklichkeit (noch) nicht gibt. So haben TRNKA et al. in der 2004 veröffentlichten Studie den Einfluss des Klimawandels und Anpassungsstrategien im Sommergerstenanbau in der tschechischen Republik untersucht. Werkzeug war das Cropmodell CERES-BARLEY. Es eignet sich gut, weil unter den gegebenen Anbaubedingungen das Bestimmtheitsmaß zwischen simuliertem und gemessenem Ertrag bei 0,88 liegt. Alle direkten und indirekten Effekte auf die Pflanze eingerechnet, kann der Ertrag, unter Berücksichtigung von Trocken- und Hitzestress, um 13-52% steigen, was vor allem eine Folge des besseren CO<sub>2</sub>-Angebotes ist. Auch eröffnet der Klimawandel die Möglichkeit, früher zu sähen und stärker bestockende Sorten zu wählen. Den positiven Effekt der früheren Saat bezifferten sie mit 1,5% Ertragsanstieg pro Tag Vegetationszeitverlängerung. Den größten Einfluss hat die Wasserversorgung, hier ausgedrückt in verfügbarem Bodenwasser zum Zeitpunkt der Aussaat. Sie bewirkt einen Ertragsanstieg um 54 -101 kg ha<sup>-1</sup> je 1% Anstieg des Bodenwassergehaltes.

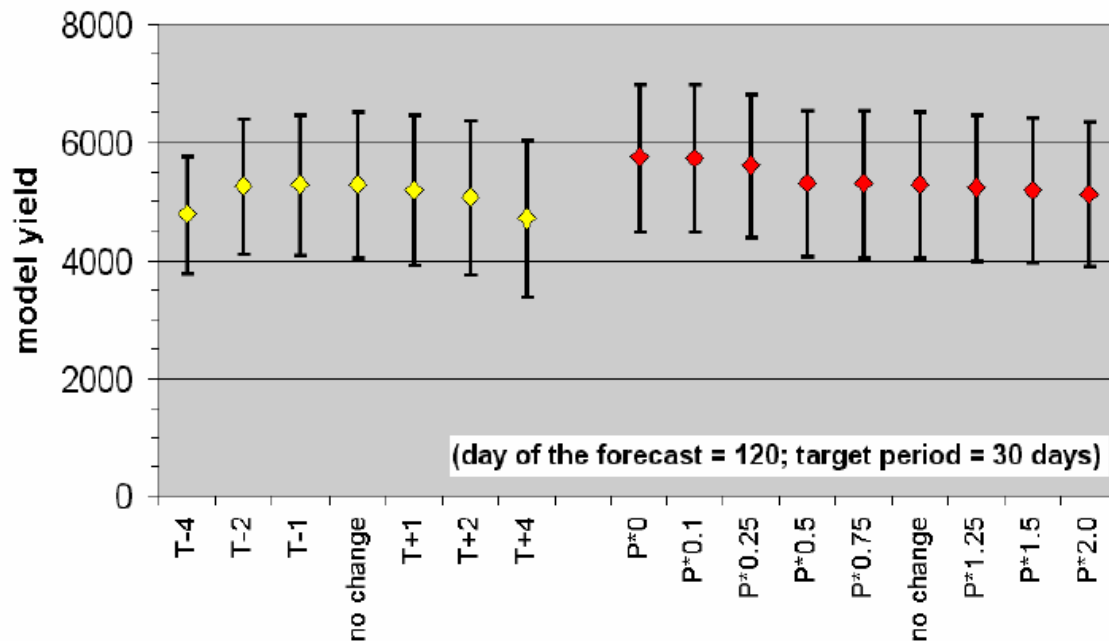
**Abb. 8** zeigt die Veränderung des Kornertrags von Sommergerste bei 2 CO<sub>2</sub> Versorgungsstufen und 11 Abstufungen in der Feldkapazität.



**Abbildung 8: Sensitivitätsanalyse des wasserbegrenzten Sommergerstenkorntrags (Sorte Akcent) bei unterschiedlicher Verfügbarkeit des Bodenwassers unter gegebenem und verdoppeltem CO<sub>2</sub> Angebot (TRNKA et al., 2004).**

Eine andere Sensitivitätsanalyse, durchgeführt mit dem Programm PERUN (DUBROVSKY 2002) zeigte die relativ geringe Beeinflussbarkeit des Korntrags durch Erhöhung oder Absenkung von Temperatur und Niederschlag nach dem 1. Mai. **Abb. 9** zeigt, wie der Ertrag nur gering beeinflusst wird. Trockenheit führt zu leicht höheren Erträgen, Hitze und Kälte führen nur bei starker Ausprägung, (+ 4°C oder -4°C) zu mäßigen Rückgängen des Korntrags. Bei „no change“ gelten die normalen Klimabedingungen des Versuchsgutes Domaninek, das bei 560 m ü. NN, einem Ø Jahresniederschlag von 651 mm und einer Jahresmitteltemperatur von 6,5°C dem Charakter der westböhmisches Anbauregion dieses Projektes entspricht.





**Abbildung 9: Sensitivitätsanalyse mit PERUN für Sommergerste mit veränderten Temperaturen und Niederschlägen nach dem 120. Tag des Jahres, die Variante „no change“ stellt die normalen Klimabedingungen des Versuchsgutes Domaninek in Mähren dar (DUBROVSKY et al. 2002).**

T-4= Temperatur um 4°C gesenkt, T+4= Temperatur um 4°C erhöht  
 P\*0= kein weiterer Niederschlag nach dem 120.Tag des Wachstums,  
 P\*2= verdoppelter Niederschlag nach dem 120.Tag des Wachstums.

Das Prognosesystem PERUN (system for crop model simulations under various meteorological conditions) wird seit dem Jahre 2002 in Tschechien zur Ertragsvorausschätzung eingesetzt. Es enthält als Kernstück das WOFOST-Programm. PERUN setzt umfangreiche Kenntnisse zur Nährstoffversorgung, zum Wassergehalt des Bodens sowie das Datum des Simulationsbeginns (Aussaatdatum oder Auflaufdatum) voraus. Die Evapotranspiration wird mit der PENMAN (PENMAN 1948) oder der MAKKINK Formel (MAKKINK und HEEMST 1956) geschätzt, was zu unterschiedlichen Ertragsprognosen führt. Der Korrelationskoeffizient zwischen gemessenen und geschätzten Erträgen der Sommergerste liegt bei 0,73 unter Einbezug der PENMAN-Formel und bei 0,63 nach MAKKINK. **Abb. 10** zeigt die Eingabemaske von PERUN (DUBROVSKY 2004). Um PERUN für die Ertrags-schätzung verwenden zu können werden auch Daten gebraucht, die für eine regionale Ertrags-schätzung nicht zur Verfügung stehen wie etwa der Aufwand an NPK-Dünger und die Wirkungsgrade der ausgebrachten Nährstoffe, die maximale Wurzeltiefe oder das Gefälle des Geländes, das das ungenutzte Abfließen des Niederschlagswassers begünstigt.

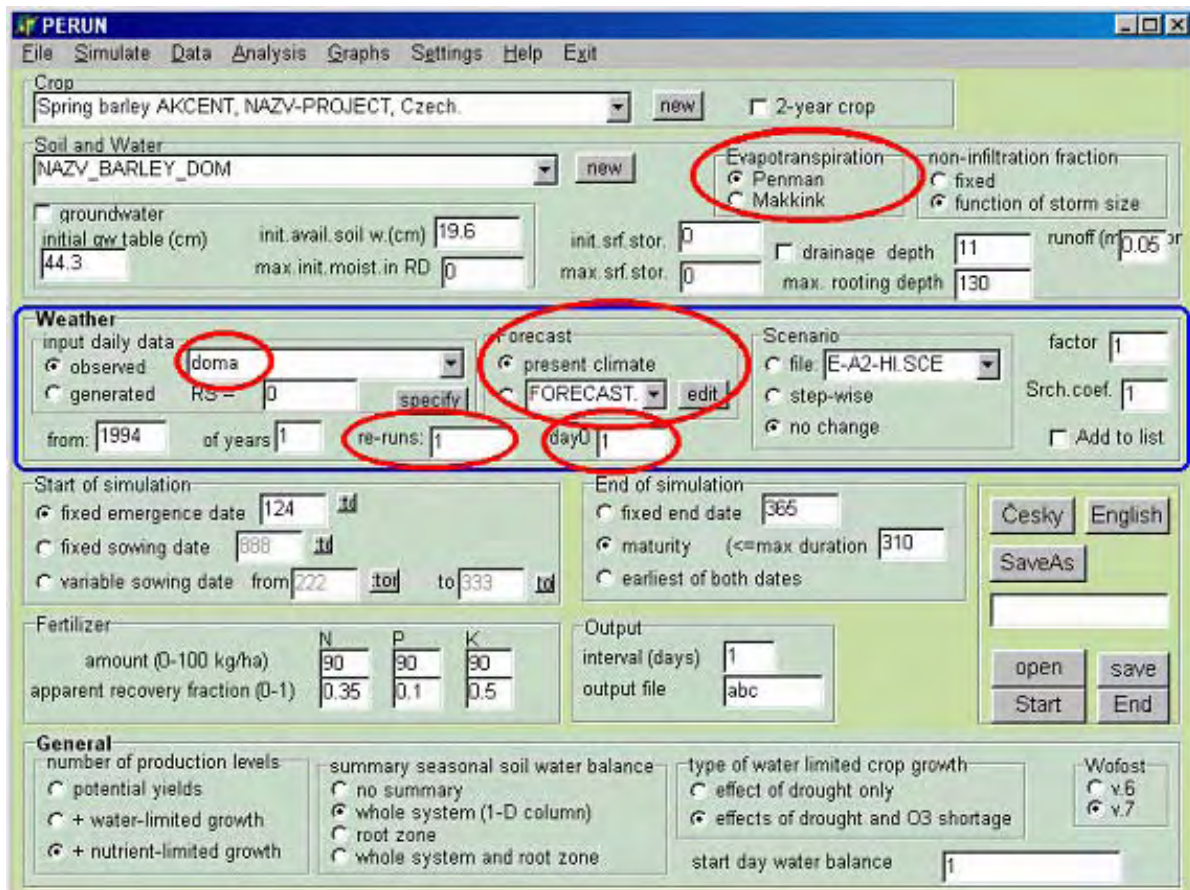


Abbildung 10: Eingabemaske des dynamischen Wachstumssimulationsmodells PERUN (DUBROVSKY et al. 2004).

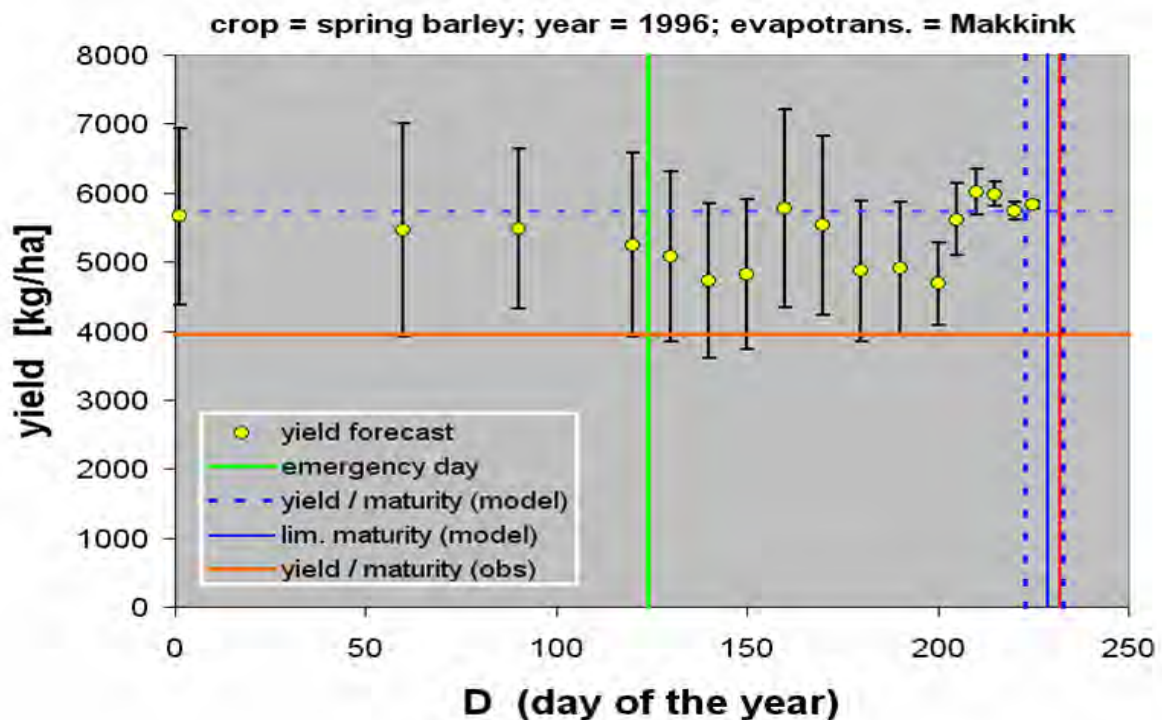


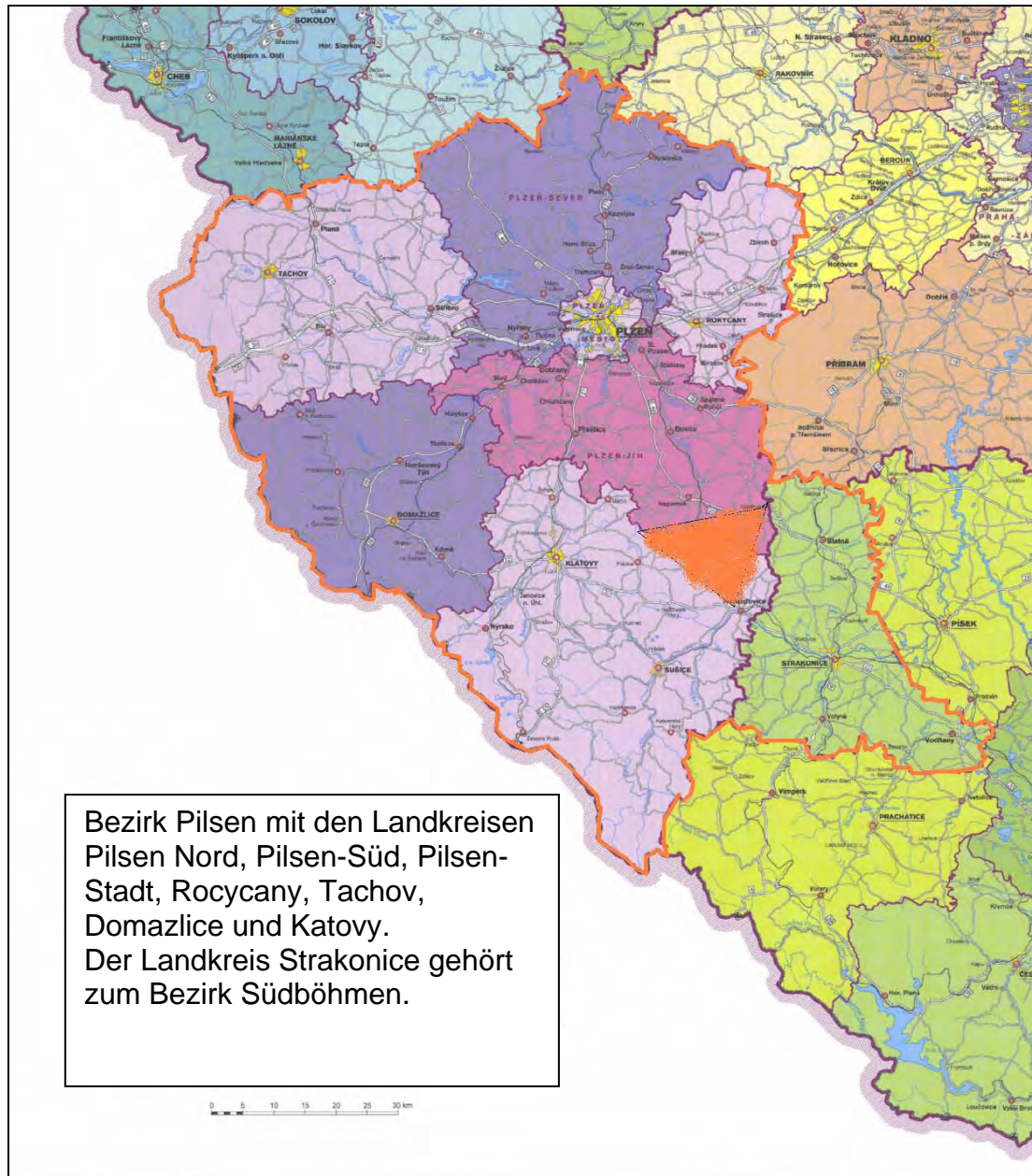
Abbildung 11: Darstellung der tatsächlichen Ertragshöhe und des Erntetermins in roten Linien und der prognostizierten Erträge in gelben Punkten sowie dem modellierten Ertrag und Erntedatum in blauen Linien für das Jahr 1986 mit dem Programm PERUN (DUBROVSKY et al. 2004).

Die Entwickler und Anwender des Programms PERUN stehen vor der Frage, mit welchen während des Pflanzenwachstum gemessenen Indikatoren die Lücke zu überwinden ist und die simulierten Erträge näher an die gemessenen gebracht werden können (DUBROVSKY 2002). **Abb. 11** zeigt eine Diskrepanz von fast 2 t Kornertrag pro ha. Solche Prognoseergebnisse verfehlen die Anforderungen der aufnehmenden Hand wie Mälzer und Agrarhandel bei weitem. Zu prüfen ist, ob eine Integration von Fernerkundungsdaten zu besseren Ernteprognosen führt..



### 3. Material und Methoden

#### 3.1 Das Untersuchungsgebiet



**Abbildung 12: Ausschnittkarte der Tschechischen Republik mit Landkreis- und Bezirksgrenzen. Das Trainingsgebiet ist orange gekennzeichnet, die orange Linie umgrenzt das Untersuchungsgebiet.**

Das NUTS I Gebiet (NUTS = Nomenclature des unites territoriales statistiques = Systematik der Gebietseinheiten in der Statistik) Tschechische Republik ist aufgeteilt in 8 Regionen (NUTS II), 14 Bezirke (NUTS III) und 77 Landkreise (NUTS IV). Das Untersuchungsgebiet (**Abb.12** und **Tab.1** siehe auch Anhang **Abb. A 1**), für das in dieser Studie die Ertragsschätzungen berechnet wurden, liegt in der Region

Südwestböhmen und umfasst den Bezirk Pilsen mit den in seinem Süden gelegenen Landkreisen Klatovy und Pilsen-Süd. Der benachbarte Landkreis Strakonice gehört zum Bezirk Südböhmen und ebenfalls zur Region Südwestböhmen.

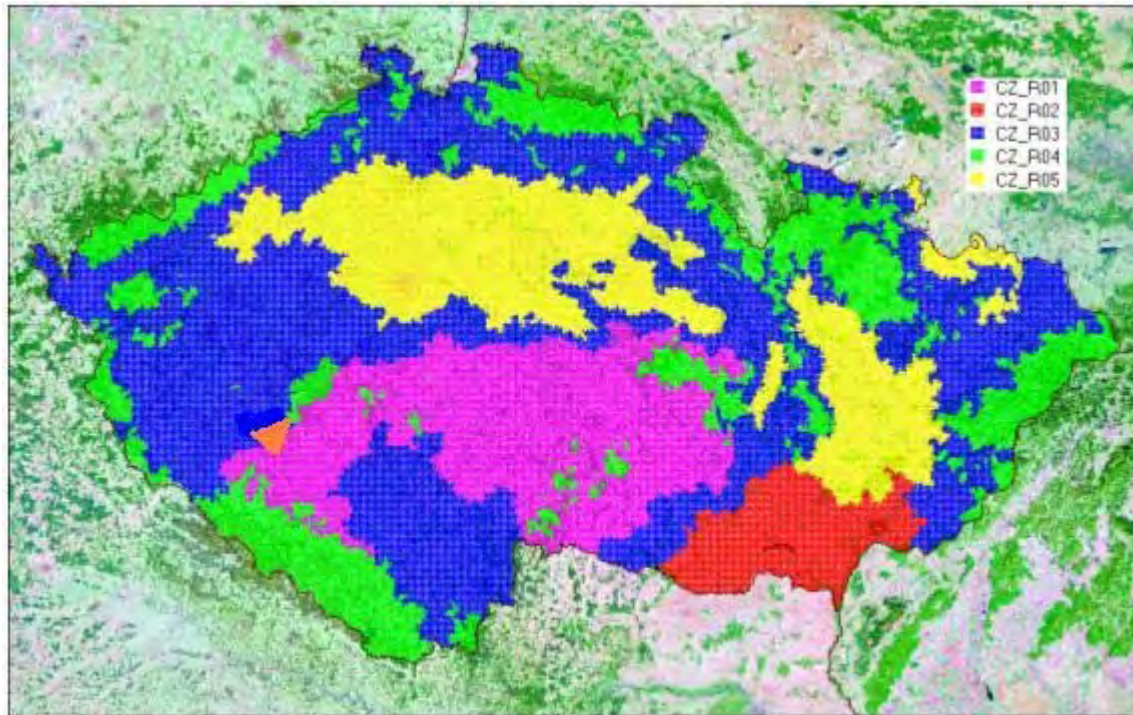
**Tabelle 1: Das administrative System des Untersuchungsgebietes (FISCHER, 2004).**

<b>NUTS I</b>	<b>NUTS II</b>	<b>NUTS III</b>	<b>NUTS IV</b>
Tschechische Republik	Südwestböhmen	<u>Pilsen</u>	<u>Klatovy</u>
		Südböhmen	<u>Pilsen-Süd</u>
			<u>Strakonice</u>

Die Anbauflächenschätzung wurde für die 3 NUTS IV Regionen durchgeführt. Die Trainingsflächen gehören zu vier landwirtschaftlichen Betrieben im Süden des Kreises Pilsen-Süd und im Norden des Kreises Klatovy, (**Anhang Abb. A1 und A2**).

Der Bezirk Pilsen liegt im Südwesten der tschechischen Republik und grenzt im Westen an Bayern, im Norden an den Bezirk Karlsbad, im Osten an den Bezirk Mittelböhmen, der die Hauptstadt Prag umschließt, und im Südosten an den Bezirk Südböhmen. Er hat durch seine Bezirkshauptstadt Budweis und das hier gebrauchte Budweiser Lagerbier — ebenso wie der Bezirk Pilsen und die Stadt Prag mit ihrer Umgebung — eine große Tradition im Anbau von Braugerste und in der Bierherstellung.

Der Bezirk Pilsen ist 7.561 km<sup>2</sup> groß. Er besteht aus dem Pilsener Hochland und hat Anteil an den Mittelgebirgszügen Böhmerwald, Šumava und Brdywald. Der Landkreis Strakonice ist 1031 km<sup>2</sup> groß, hat im Norden Anteil am Brdywald und im Süden an der Šumava. Dazwischen liegen auf leicht hügeligem Hochland die ackerfähigen Böden. Die Lage im Regenschatten des Oberpfälzer und Bayrischen Waldes bringt es mit sich, dass die jährlichen Niederschläge mit etwa 600 mm im Bezirk Pilsen geringer sind als im benachbarten Bayern. Diesem Umstand Rechnung tragend, finden sich in den Wäldern vorwiegend Laubbäume. Nadelwald existiert nur in den Hochlagen. Grünland ist seltener als Ackerland, Zwischenfrüchte werden kaum angebaut. Die Wärmebedingungen mit -2,5°C mittlerer Januartemperatur, 17,5°C mittlerer Julitemperatur und 8°C Jahresdurchschnitt für die Jahre 1961-1990 entsprechen süddeutschen Verhältnissen. Nur etwa 150 Tage im Jahr weisen Tagesmitteltemperaturen von mehr als 10°C auf, was den Anbau Wärme liebender Pflanzen stark einschränkt. Aus dieser Gruppe ist nur frühreifer Mais anbauwürdig.



**Abbildung 13:** Klimatologisch-pedologische Einteilung Tschechiens, (ZALUD und TRNKA 2004). Braugerste wird außer in den hellgrünen Futterbaugebieten überall angebaut. Das Trainingsgebiet ist durch eigene Ergänzung orange gekennzeichnet. Maisland rot, Zuckerrübenland gelb, Getreideland blau, Kartoffelland lila, Futterland grün. Die Namen der Anbaugebiete leiten sich aus der bevorzugten Anbaukultur ab.

Wie **Abb. 13** und **Tab. 2** zeigen, gliedert sich Tschechien in 5 Anbauzonen, die jeweils nach einer Leitkulturpflanze benannt sind. Das dunkelrote Gebiet im Südosten ist das Maisanbaugesbiet. Hier ist auch der Anbau von Wein und Sonnenblumen verbreitet. In den gelb markierten Regionen spielt der Zuckerrübenanbau eine relativ große Rolle. Gute Böden und nicht zu kühles Klima führen hier zu den höchsten Erträgen. Das größte Gebiet mit 40% der landwirtschaftlichen Nutzfläche ist das Getreideanbaugesbiet, hier dunkelblau gekennzeichnet. Der Bezirk Pilsen fällt bis auf einen kleinen Bereich im Kreis Klatovy in diese Zone. Im lilafarben gekennzeichneten Kartoffelanbaugesbiet ist das Klima etwas kühler und sind die Böden steiniger als im Getreidegebiet. Hellgrün sind die Futterbauregionen. Hier sind Grünland und Wald vorherrschend. Da das Trainingsgebiet am Übergang vom Getreideland zum Kartoffelland liegt, repräsentiert es 59% der tschechischen landwirtschaftlichen Nutzfläche.



**Tabelle 2: Die 5 Anbauzonen Tschechiens, Charakterisierung zu Abb. 13, (KLABZUBA et al. 1999, ZALUD und TRNKA 2004). ZR=Zuckerrüben, WW=Winterweizen.**

Bezeichnung	Maisland	Zuckerrübenland	Getreide-land	Kartoffel-land	Futterland
Gelände	flach bis leicht hügelig	flach bis leicht hügelig	leicht bis stark hügelig	leicht bis stark hügelig	hügelig bis steil
Höhe u. NN [m]	< 250	250-350	300-600	400-650	> 600
ØJahrTemp. [°C]	9-10	8-9	5-8,5	5-8	5-6
Jährl. Niederschlag [mm]	500-600	500-650	550-700	550-900	> 700
Jahrestemp.Σ, Basis 10°C [°C]	2800-3100	2400-2800	2000-2800	2000-2600	< 2000
Wahrscheinlichkeit von Trockenheit in der Veg.Per. [%]	30-50	10-60	5-40	5-30	0-5
Bodenart	Lehm bis lehmiger Sand	Lehm	Lehmiger Sand bis Ton	Lehmiger Sand, hoher Steingehalt	Sandiger Lehm mit Kies
Hauptkulturen	Körnermais, ZR, WW, Obst, Gemüse, Braugerste	ZR, WW, Braugerste, Frühkart, Hopfen	Getreide, Raps,	Kartoffeln, Futtergetreide, Raps, Flachs	Grünland, etwas Flachs und Kartoffeln
Anteil an der landwirtschaftl. Nutzfläche [%]	6,7	24,3	40,5	18,5	10

### Sonstige Fakten zum Untersuchungsgebiet

Industrie und urbanes Leben konzentrieren sich auf das Stadtgebiet von Pilsen. Das übrige Gebiet besteht zu 37% aus Wald und zu 52% aus landwirtschaftlicher Nutzfläche, wovon 69% ackerbaulich genutzt werden. Der hohe Waldanteil macht den Bezirk Pilsen zum drittgrößten Holzlieferanten in Tschechien, hinter dem benachbarten Südböhmen und dem mehr auf Nadelholz spezialisierten Mährisch-Schlesien im Nordosten der Republik. Dieses hohe Aufkommen an pflanzlichem Bewuchs und das geringe Maß an Industrie und Verkehr führen zu unterdurchschnittlichen Emissionen. Die betragen, bezogen auf den nationalen Durchschnitt, bei Schwefeldioxid nur 53 %, bei Stickoxiden nur 34 %, bei Kohlenmonoxid 43 % und bei Feinstaub 77 %. Am wenigsten belastet ist die Umwelt im Nationalpark Šumava und in den Naturschutzgebieten Böhmerwald und Brdywald. 171 weitere kleinere

Schutzzonen im Bezirk Pilsen bewahren den Charakter und die Vielfalt der Landschaft. Gewässer sind im Untersuchungsgebiet selten und zumeist künstlich angelegte Löschteiche, Fischteiche und Stauseen. Die Flüsse Berounka und Otava entwässern die Region Richtung Moldau.

Im Bezirk leben 550.000 Menschen; wovon etwa ein Drittel in der Stadt Pilsen und jeder zweite in Dörfern mit weniger als 5000 Einwohnern lebt. Im Durchschnitt kommen 72 Einwohner auf einen km<sup>2</sup>, im Landkreis Tachovy sogar nur 37 Einwohner und im Landkreis Klatovy 45 Einwohner auf einen km<sup>2</sup>. Zum Vergleich, Mecklenburg-Vorpommern, das am dünnsten besiedelte Land der Bundesrepublik Deutschland, hat 75 Einwohner km<sup>-2</sup>. Der Bezirk Pilsen weist das dritthöchste Bruttoinlandsprodukt aller tschechischen Bezirke nach Prag und dem Bezirk Südmähren (Brünn) auf. Die Wertschöpfung findet in der Landwirtschaft sowie in den Industriezweigen Nahrungs- und Genussmittel (Bier, Sekt, Likör), Maschinenbau, Baustoff und Keramik, Elektro und Elektronik statt. Die Industrie-, Handels- und Dienstleistungsunternehmen konzentrieren sich auf die Stadt Pilsen und zunehmend auf einen Streifen entlang der Autobahn Nürnberg-Prag (CESKY STATISTICKY URAD 2004).

#### Agrarstruktur im Untersuchungsgebiet

Die landwirtschaftlichen Betriebe sind Familienbetriebe oder andere Rechtsformen wie Genossenschaften oder GmbH. Obwohl über 95 % der Betriebe in Familienbesitz sind, bewirtschaften sie nur einen kleinen Teil der landwirtschaftlichen Nutzfläche, ihre Durchschnittsbetriebsgröße liegt bei 18 ha LN. Die Agrarunternehmen haben im Durchschnitt 886 ha (**Tab. 3 und 4**). Die Agrarstruktur ist ein Resultat der Landreform 1992-1994.

**Tabelle 3: Zahl der landwirtschaftlichen Betriebe im Untersuchungsgebiet und ihre Rechtsformen (CSU, 2004).**

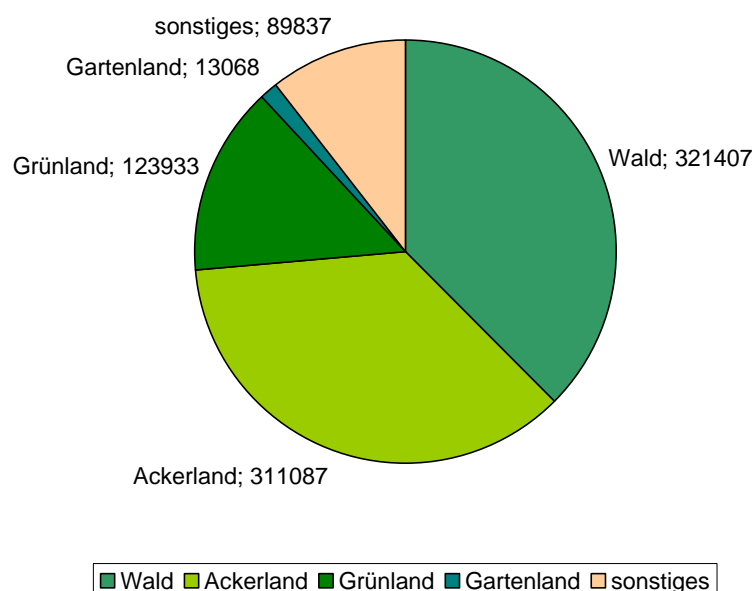
Bezirk	Total	Nach Rechtsformen			
		Natürliche Personen	Juristische Personen		
			Total	GmbH	Genossenschaften
Südböhmen	5527	5184	343	222	113
Pilsen	2524	2333	191	153	35



**Tabelle 4: Zahl der landwirtschaftlichen Betriebe im Untersuchungsgebiet nach Flächenausstattung in ha LN (tschechisches Statistikamt 2004).**

LN [ha]	0	< 4,99	5 – 9,99	10 – 49,99	50 – 99,99	100 – 499,99	> 500
Gebiet							
Bezirk Pilsen	15	856	382	732	145	162	158
Kreis Klatovy	4	388	190	305	48	53	36
Kreis Pilsen-Süd	1	93	40	101	25	9	25
Kreis Strakonice	4	393	92	185	33	28	33

Die Oberflächenbedeckung im Untersuchungsgebiet (Bezirk Pilsen + Kreis Strakonice) besteht zu 90 % aus Vegetation – Ackerbau, Grünland, Wald und Gartenland -, so dass die Pflanzen das bestimmende Element in der Landschaft sind (**Abb. 14**).



**Abbildung 14: Oberflächenbedeckung im Untersuchungsgebiet (ha), Bezirk Pilsen und Landkreis Strakonice (tschechisches Statistikamt, Statistisches Jahrbuch 2004).**

Geologisch gehört die Region zur böhmischen Masse und stammt aus dem Eozoikum. Es bildeten sich mit Steinen durchsetzte Verwitterungsböden aus sandigem Lehm und lehmigem Sand. In den Mulden und Tälern ist der Lehmanteil höher und damit sind dort die Böden besser als auf den Kuppen und an den Hängen. Die Ackerflächen befinden sich in den Höhenstufen zwischen 350 und 550 m über NN. Das Ackerland wird vorwiegend zur Futtergewinnung genutzt. Angebaut werden Silomais, Futtererbse, Klee gras, Luzerne, Gemenge, Sommergerste mit Untersaaten, Hafer, Triticale, Winterweizen und Wintergerste. An Marktfrüchten

gewinnt der Winterraps wachsende Bedeutung. Kartoffeln werden auf den weniger steinigen Parzellen angebaut. Der Anteil der Sommergerstenanbaufläche am Ackerland schwankt zwischen 20% im Jahre 1997 und 9% im Jahre 2000 und liegt im Mittel der Jahre 1993 bis 2002 bei 12%.

Böden und Klima eignen sich für den Sommerbraugerstenanbau, weil sich die leichten Böden nach der Schneeschmelze rasch erwärmen und im Verlauf der Vegetationsphase nicht viel N nachliefern. Bedingt durch die Höhenlage sind die Nächte kühl und die Sonneneinstrahlung über Tag ist intensiv.

### **3.2 Agrarstatistik**

Die tschechische Republik wurde am 1. Januar 1993 gegründet. Die neunziger Jahre waren geprägt durch den grundlegenden Wechsel vom planwirtschaftlichen System zu einer demokratischen Ordnung mit marktwirtschaftlichen Verhältnissen. Die Veränderungen waren verbunden mit Privatisierungen und Restrukturierungen der Wirtschaft und ausgeprägter Transformation der öffentlichen Verwaltung.

Das amtliche Statistikwesen ist geregelt im Gesetz Nr. 89/1995 (ANONYM. 2005). Es wird ausgeführt durch das tschechische Statistikbüro, CESKY STATISTICKY URAD, abgekürzt CSU. Außer der Hauptstelle in Prag gibt es Außenstellen in allen NUTS III Bezirken. Im Rahmen des angestrebten Beitritts zur europäischen Union beschloss das Land im Jahre 1999 den SAPARD-Plan (Special Accession Programme for Agriculture and Rural Development) (ANONYM. 2000) und verpflichtete sich darin unter anderem zur Erfassung agrarstatistischer Daten auf nationaler, regionaler und Landkreisebene. Die Erhebung der Anbauflächen erfolgt zum 31. Mai jeden Jahres. Ertragsprognosen werden monatlich von Juli bis Oktober erstellt und Erträge von bestimmten Früchten werden jährlich nach der Ernte erfasst (MINISTERIUM für LANDWIRTSCHAFT 2000). Dies erfolgt in Anlehnung an die in der EU (EUROSTAT) üblichen Verfahren. Da EUROSTAT nicht zwischen Wintergerste und Sommergerste, und somit auch nicht zwischen Futtersommergerste und Braugerste unterscheidet, sondern nur Gerste allgemein als eine Hauptkulturart statistisch erfasst, sind auch die tschechischen Ämter nicht gehalten, eine gesonderte Sommer- oder Braugerstenstatistik zu führen. Das hat zur Folge, dass die Anbau- und Erntedaten

von Sommergerste nicht mehr separat ausgewiesen werden. Auf Landkreisebene wurde die Erstellung dieser Statistiken 2001 eingestellt, auf Bezirks- und nationaler Ebene werden sie derzeit noch geführt. Auch wird seit 2002 nicht mehr unterschieden zwischen Aussaatfläche und Erntefläche, sondern nur noch die Ende Mai festgestellte Anbaufläche erfasst. Der Ertrag pro ha wird errechnet aus dem Gesamtaufkommen an Erntegut mit einer Standardfeuchte, geteilt durch die Anbaufläche. Die amtliche Agrarstatistik basiert auf den Angaben einzelner Betriebe, deren Daten hochgerechnet werden und diese Hochrechnungen werden anhand von Stichproben verifiziert (CESKY STATISTIKY URAD, 2004).

Die diesen Untersuchungen zugrunde liegende Anbau- und Ertragsstatistik wurde von der landwirtschaftlichen Universität Prag geliefert, mit der ein Kooperationsvertrag für das Projekt YIELD AND QUALITY besteht. Die Anbau- und Ertragsstatistik beinhaltet die Anbaufläche in ha, die Produktionsmenge in Tonnen und die Erträge in Tonnen pro Hektar für die Jahre 1993 bis 2001 auf Landkreisebene (NUTS IV) (**Tabelle A2-A4, Anhang**) und für die Jahre 1993 bis 2002 auf Bezirksebene (NUTS III) (**Tabelle A1, Anhang**). Auf nationaler Ebene (NUTS I) gibt es eine Datenreihe von 1980 bis 2002.

Die Agrarstatistik der vergangenen Jahre als Basis für Ertragsprognosen zu nehmen kann auch Risiken bergen. Zum Beispiel wurde Ende 2002 für das Jahr 2002 der Kornertrag pro ha Sommergerste im Bezirk Südmähren mit  $2,71 \text{ t ha}^{-1}$  angegeben. Wenige Wochen später wurde dieser Wert jedoch auf  $3,89 \text{ t ha}^{-1}$  erhöht. Was war geschehen? Die Anbaufläche in Südmähren war zunächst mit 65.750 ha angegeben, wurde aber später auf 45.750 ha verringert, die Produktionsmenge blieb dagegen in beiden Veröffentlichungen mit 177.934 t gleich. Da der Hektarertrag aus beiden Werten abgeleitet wird, hat die Verringerung der Anbaufläche eine direkte Auswirkung auf den Ertrag. Selbst der nationale Kornertrag erhöhte sich nachträglich von  $3,52 \text{ t ha}^{-1}$  auf  $3,72 \text{ t ha}^{-1}$ .

### **3.3 Agrarmeteorologische Daten**

Das tschechische hydrometeorologische Institut in Prag gibt agrarmeteorologische Berichte heraus. Sie erscheinen monatlich für die Monate Januar bis März, sowie wöchentlich ab Ende März / Anfang April mit Beginn der Vegetationsperiode. 40

Stationen, über das ganze Land verteilt, liefern die Daten. Aber nur 10 Stationen liefern alle Daten. Die sind Niederschlagsmenge, Zahl der Tage mit 0 bis 2,9 mm Niederschlag, Zahl der Tage mit 3 bis 9,9 mm Niederschlag, Zahl der Tage mit 10-19,9 mm Niederschlag und Zahl der Tage mit 20 mm Niederschlag und mehr, Durchschnittstemperatur in 2 m Höhe, Maximumtemperatur in 2 m Höhe, Datum dieser Messung, Minimumtemperatur in 2 m Höhe, Datum dieser Messung, Minimumtemperatur in 5 cm Höhe, Datum dieser Messung, Sonnenscheindauer in Stunden, Bodentemperatur Maximum und Minimum in 5, 10 und 20 cm Tiefe und das jeweilige Datum ihrer Messung, Temperatursumme über 3°C seit dem 1. Januar des Jahres und Temperatursumme der Berichtsperiode über 3°C, ebenso wie die Temperatursumme über 10°C, dazu noch das kritische Wasserdefizit (ausgebliebene Niederschläge in mm) für Luzerne, Winterweizen, Sommergetreide, Kartoffeln, Zuckerrüben, Grünland, Obstbäume und Hopfen/Wein, differenziert nach leichten und schweren Böden.

Glücklicherweise liegt eine Station, die das volle agrarmeteorologische Messprogramm bietet, in der Nähe der 4 landwirtschaftlichen Betriebe in Westböhmen, deren Braugerstenanbau über 2 Vegetationsperioden begleitet wurde und deren Anbauflächen für diese Studie kartiert wurden. Es ist die Station Kocelovice (**Abb. 15** und **Tab. 5**) im Nordwesten des Landkreises Strakonice.

#### Station Kocelovice, 510 m ü. NN

Lat.: 49°28'N

Long.: 13°50'O

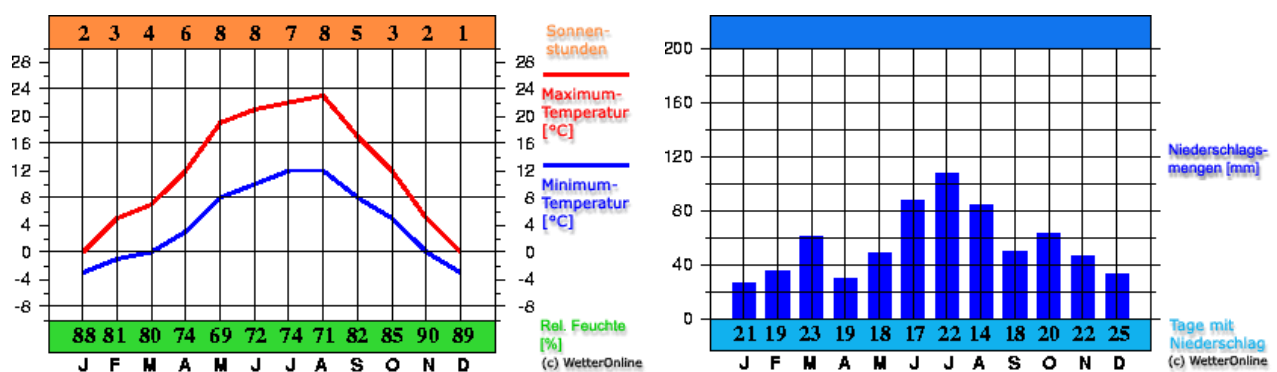


Abbildung 15: Klimadiagramme der Station Kocelovice (Ø 1961 – 1990)

**Tabelle 5: Temperatur- und Niederschlagswerte ( $\bar{\varnothing}$  1961 – 1990) der Wetterstation Kocelovice in den Monaten März bis August (Vegetationsperiode der Sommergerste)**

Monat	$\bar{\varnothing}$ Temperatur [°C]	Niederschlag [mm]
März	2,1	31
April	7,0	44
Mai	12,0	63
Juni	15,3	72
Juli	16,9	87
August	16,4	70

Im Projekt wurden die Messdaten der Jahre 1993 bis 2003 in eine agrarmeteorologische Datenbank auf der Basis von Microsoft Access© eingegeben. Es wurden 37 Datenfelder angelegt, für jede gemessene Größe eines. Zur Vereinfachung der Dateneingabe wurde eine Maske erstellt (**Abb. 16**), welche die Daten in derselben Reihenfolge abfragt, in der sie auch im tschechischen Bericht erschienen. Jeder der 275 Monats- oder Wochenberichte wurde in einem Datensatz erfasst. 23 bis 27 Datensätze eines Jahres bildeten eine Jahrestabelle.

Bericht Nummer	Berichtszeitraum Beginn	Berichtszeitraum Ende	Niederschläge in mm
1	01.01.1998		0
Tage mit 0,0 bis 2,9 m	Tage mit 3,0 bis 9,9 m	Tage mit 10,0 bis 19,9 m	Tage mit über 20 mm Nieders
0	0	0	0
Durchschnittstemperatur in 2 m Höhe	Maximum Temperatur in 2 m Höh	Datum 1	Minimum Temp
0	0	0	0
Datum 2	Minimum Temperatur in 5 cm Höh	Datum 3	Sonnenscheindauer in Stunden
0	0	0	0
Maximum Bodentemperatur in 5 cm Tief	Datum 4	Minimum Bodentemperatur in 5 cm Tiefe	
0	0	0	0
Datum 5	Maximum Bodentemperatur in 10 cm Tief	Datum 6	Minimum Bodentemperatur in
0	0	0	0
Datum 7	Maximum Bodentemperatur in 20 cm Tief	Datum 8	Minimum Bodentemperatur in
0	0	0	0
Datum 9	Temperatursumme über 3 Grad C seit Neujah	Abweichung von der Norm 1	
0	0	0	0
Temperatursumme über 3 Grad in dieser Woche	Abweichung von der Norm 2	Temperatursumme über 1	
0	0	0	0
Abweichung von der Norm 3	Temperatursumme über 10 Grad in dieser Woche	Abweichung von der Nor	
0	0	0	0
Niederschlagsbilanz für Sommergetreide in mm			
0			

**Abbildung 16: Eingabemaske für die agrarmeteorologische Datenbank**

Eine zweite Wetterdatenbank wurde angelegt, um für den Zeitraum von Oktober 1960 bis September 1999 in 468 Datensätzen und 26 Datenfeldern die langfristigen Witterungsverläufe und ihre Bewertung durch die tschechischen Agrarmeteorologen zu erfassen. Diese Daten wurden einer Publikation mit dem Titel Hodnoceni pocasi v zemedelstvi (Wetterbewertung in der Landwirtschaft) (KLAPZUBA et al. 1999) entnommen.

### **3.4 Feldbeobachtungen**

In Kooperation mit der Landwirtschaftlichen Universität Prag, Prof. Dr. J. Soukup und seinen Mitarbeitern Ing. Pavel Hamouz und Ing. Josef Holec wurden die Feldbeobachtungen durchgeführt. Die landwirtschaftlichen Betriebe Agrochov Kasejovice, Agropol Malý Bor (nur 2001), Zemedelske Druzstvo Měčín und Zemedelske Obchodni Druzstvo Vrčeň lieferten hierzu die Anbaudaten aus der Ackerschlagkartei und gestatteten Probenentnahmen aus den Pflanzenbeständen zu den Zeitpunkten des Schossens, Blühens, der Milchreife und der Gelbreife. Auch Proben des Erntegutes überließen sie freundlicherweise zur Untersuchung im Labor.

In den beiden Anbaujahren 2001 und 2002 wurden jeweils 12 Praxisanbauflächen mit Sommerbraugerste von der Aussaat bis zur Ernte beobachtet, Proben genommen und im Labor getrocknet, gewogen und auf ihren N-Gehalt analysiert und die Menge und Qualität des Erntegutes bestimmt. Die gesammelten Daten wurden zur Auswertung in eine Datenbank gegeben, die 24 Datensätze, also für jeden Gerstenacker einen Datensatz, und 81 Datenfelder umfasst.

#### **Die 81 Datenfelder beinhalten folgende Kriterien:**

Anbaujahr, Name des Ackers, Identifikationsnummer im GIS, Größe in ha, angebaute Sorte, durchschnittliche Höhe über NN, Bodenart, Saattermin, Saatstärke in  $\text{kg ha}^{-1}$ , Reihenabstand in cm, Düngung je ha (Düngemittelname, Menge in l oder kg), N-Düngung gesamt in  $\text{kg ha}^{-1}$ , davon zur Aussaat, zur Bestockung,  $\text{P}_2\text{O}_5$  in  $\text{kg ha}^{-1}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  in  $\text{kg ha}^{-1}$ , Pflanzen  $\text{m}^{-2}$ , Ähren  $\text{m}^{-2}$ , Trockenmasse TM zum Zeitpunkt des Schossens (EC 31 bis 33) in  $\text{g m}^{-2}$ , TM zur Blüte (EC 65) in  $\text{g m}^{-2}$ , N-Gehalt der Blätter zur Blüte in % der Blatt-Trockenmasse, Trockenmasse zum Zeitpunkt der Milchreife (EC 74) in  $\text{g m}^{-2}$ , N-Gehalt der Blätter (EC 74) in % der Blatt-TM, N-Gehalt der Ähren (EC 74) in % der Ähren-TM, TM zum Zeitpunkt der Gelbreife (EC 87) in  $\text{g m}^{-2}$ , Ähren-TM zur Gelbreife in  $\text{g m}^{-2}$ , N-Gehalt der Blätter in %

der Blatt-TM (EC 87), N-Gehalt der Ähren in % der Ähren-TM (EC 87), Kornertrag in t ha<sup>-1</sup>, Vollgerstenanteil (Anteil der Körner, die größer als 2,5 mm sind) in %, Rohproteingehalt der Körner in %, Datenfeld für besondere Beobachtungen, Hektolitergewicht in g l<sup>-1</sup>, Keimfähigkeit in %, Tausendkorngewicht in g, Länge der phänologischen Phase 1. Januar bis Aussaat (abgekürzt VS für Vorsaar) in Tagen (d), Aussaat bis Aufgang AU (d), Aufgang bis Schossbeginn JE (d), Schossbeginn bis Ährenschieben MW (d), Ährenschieben bis Gelbreife KF (d), Gelbreife bis Ernte SE (d). (**Tabellen A5-A8, Anhang**).

Die übrigen Datenfelder wurden eingerichtet für die Spektralwerte und Vegetationsindizes, die aus den hochauflösenden Satellitenbildern nach geometrischer Korrektur und Atmosphärenkorrektur gewonnen werden konnten. Diese Datenbank bildet die Heterogenität des Braugerstenanbaues in der Untersuchungsregion annähernd ab.

### **3.5 Satellitendaten**

Die spektralen Eigenschaften der Vegetation lassen sich mit Sensoren erfassen. Optische satellitengebundene Sensoren mit lückenloser Abdeckung der Landoberflächen haben den Vorteil, dass sie relativ preiswert die reflektierten Strahlungen größerer Regionen messen. Nachteilig sind die Wetterabhängigkeit und die im Vergleich zu Systemen wie Quickbird mit sehr hoher räumlicher Auflösung (< 5 m<sup>2</sup> Pixelgröße) recht grobe räumliche Auflösung.

#### **3.5.1 Hochauflösende Satellitendaten für die Anbauflächenschätzung**

Kriterien für die Auswahl der Satellitenszenen waren eine möglichst vollständige Erfassung aller Trainingsflächen eines Jahres und die möglichst komplette Abbildung der drei Landkreise Pilsen-Süd, Strakonice und Klatovy. Außerdem sollten die Aufnahmedaten in die Vegetationszeit der Braugerste fallen, also von April bis August. Die Szenen sollten möglichst wolkenfrei sein. Ausgewählt wurden multispektrale Sensorsysteme mit einer räumlichen Auflösung von 15 bis 250 m. Wünschenswert war es auch, jeweils eine Szene aus der frühen Jahreszeit zu bekommen, gegebenenfalls auch vor der Aussaat, um Sommergerste von Wintergerste und Winterweizen zu unterscheiden. Um die für die Pflanzenvitalität relevanten spektralen Eigenschaften der Braugerstentrainingsflächen zu erfassen

und Vegetationsindizes berechnen zu können, sollten die Sensoren mindestens über einen Rot- und einen Nahinfrarotkanal verfügen (**Tab. 6**).

**Tabelle 6: Erworbene Satellitenszenen der Region Westböhmen. B=blau, G=grün, R=rot, NIR=Nahinfrarot, MIR=mittleres Infrarot.**

Jahr	Datum	Sensor	path/row	Auflösung (m)	Wiederholrate (d)	Verwendete Spektralbänder
2001	15.02.01	IRS LISS 1D	26/33	25	24	G, R, NIR, MIR
	14.05.01	LANDSAT 5 TM	192/26	30	16	B, G, R, NIR, MIR
	23.05.01	IRS WiFS	27/33	180	5	R, NIR
	06.07.01	IRS WiFS	29/34	180	5	R, NIR
	02.08.01	LANDSAT 5 TM	192/26	30	16	B, G, R, NIR, MIR
2002	02.04.02	MODIS		250	2	R, NIR
	09.05.02	LANDSAT 7 ETM+	192/26	30	16	B, G, R, NIR, MIR
	18.05.02	ASTER	191/1/12845	15	16	G, R, NIR
	18.06.02	IRS WiFS	30/34	180	5	R, NIR
	09.07.02	IRS WiFS	23/31	180	5	R, NIR
	21.07.02	ASTER	191/1/13777	15	16	G, R, NIR
	28.07.02	LANDSAT 7 ETM+	192/26	30	16	B, G, R, NIR, MIR

Die Szenen decken das zu untersuchende Gebiet, die 12 Trainingsflächen und die drei Landkreise Strakonice, Pilsen-Süd und Klatovy unterschiedlich gut ab. Während die WiFS-Szenen (810 km Streifenbreite) und das MODIS Bild (2.330 km Streifenbreite) viel zu groß sind und nur ein *subset* der Bilddaten verwendet werden konnte, decken die beiden Aster-Bilder mit einer Breite von 60 km das Gebiet nicht vollständig ab, bieten aber dafür eine bessere Auflösung mit 15 Metern.

Die FE-Daten wurden mit der Software ERDAS IMAGINE® bearbeitet. Die relevanten Bänder wurden vom Datenträger importiert und georeferenziert.

Im MODIS-Bild haben nur der Rotkanal (620-670nm) und der NIR-Kanal (841-876nm) eine räumliche Auflösung von 250 Metern und wurden in der Studie verwendet. Die Bänder 3-7 haben Pixelgrößen von 500 m<sup>2</sup> und die Bänder 8-36 eine räumliche Auflösung von 1.000 Metern, was für die schlagbezogene Auswertung zu grob ist. <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>.



Sämtliche Satellitendaten wurden geometrisch transformiert und in dasselbe geodätische Koordinatensystem eingepasst. Die Transformation erfolgte in dem bei ALBERTZ (2001) beschriebenen Verfahren.

Die IRS-LISS Aufnahme vom 15.2.2001 wurde als Masterszene verwendet, das heißt, alle weiteren räumlichen Informationen wie Satellitenszenen, das digitale Höhenmodell oder die Kartierungen der Anbauflächen in einem GIS wurden an dieser Szene ausgerichtet. Alle Szenen wurden mit einem Polynom 2. Grades zur UTM Projektion auf dem Sphäroid<sup>1</sup> Zone<sup>2</sup> 33 und mit der Resamplingmethode „*Nearest neighbor*“ geometrisch transformiert. Dieses Vorgehen ist nötig, weil die Erde ein 3dimensionaler Körper ist, alle Kartendarstellungen und Satellitenbilder jedoch nur 2 Dimensionen haben. Da es mehrere Methoden der Transformation gibt, ist es wichtig, die verwendete Methode anzugeben und alle Geodaten nach der gleichen Methode zu transformieren. **Tabelle 7** listet die verwendeten Passpunkte und die mittleren quadratischen Abweichungen, engl. RMS-Error, auf. RMS-Error = distance between the input location of a Ground Control Point and the retransformed location for the same Ground Control Point (ANONYMUS, 1999).

**Tabelle 7: Geometrische Transformation der Satellitenszenen.**

Datum	Sensor	Passpunkte	Mittlere quadratische		Abweichung Total
			X	Y	
15.02.01	IRS LISS 1D	26	0,531	0,543	0,760 (Masterszene)
14.05.01	LANDSAT 5 TM	16			0,739
23.05.01	IRS WiFS	74	0,366	0,414	0,552
06.07.01	IRS WiFS	45	0,291	0,320	0,433
02.08.01	LANDSAT 5 TM	12			0,861
02.04.02	MODIS	32	0,226	0,187	0,293
09.05.02	LANDSAT 7 ETM+	86	0,296	0,313	0,431
18.05.02	ASTER	37	0,268	0,225	0,350
18.06.02	IRS WiFS	44	0,278	0,210	0,348
09.07.02	IRS WiFS	35	0,155	0,156	0,220
21.07.02	ASTER	24	0,200	0,156	0,254
28.07.02	LANDSAT 7 ETM+	86	0,296	0,313	0,431

<sup>1</sup> Sphäroid = kugelähnlicher Körper als Ersatzfigur für die Form der Erde.

<sup>2</sup> Zone = die Erdoberfläche ist eingeteilt in 60 Zonen, jede Zone ist 6 Längengrade breit.

Die Atmosphärenkorrektur der Satellitenszenen erfolgte mit ATCOR 3® (RICHTER 1998) unter Verwendung eines digitalen Höhenmodells (DHM), das von der Landwirtschaftlichen Universität Prag-Suchdol zur Verfügung gestellt wurde. Das DHM hat eine räumliche Auflösung von 30m. **Tabelle 8** zeigt die für die Korrektur verwendeten Parameter. Die Terra-Modisszene vom 2. April 2002 wurde nicht atmosphärenkorrigiert, weil dazu die Instrumente fehlten. Für alle übrigen Szenen wurde zusätzlich eine Dunstkorrektur, engl. „haze correction“, durchgeführt.

**Tabelle 8: Atmosphärenkorrektur mit ATCOR 3.**

Datum	Sensor	Sonnenzenit	Sonnenazimut	Standardatmosphäre	Visibility	Dunstkorrektur
15.02.01	IRS LISS 1D	63°	166,8°	midlatitude winter rural	80 km	+
14.05.01	LANDSAT 5 TM	36°	143°	US standard rural	40 km	+
23.05.01	IRS WiFS	29,9°	164,6°	US standard rural	100 km	+
06.07.01	IRS WiFS	27,4°	158°	midlatitude summer rural	50 km	+
02.08.01	LANDSAT 5 TM	38°	140°	midlatitude summer rural	50 km	+
09.05.02	LANDSAT 7 ETM+	35,2°	146,6°	midlatitude summer rural	50 km	+
18.05.02	ASTER	31°	157,2°	Humid rural	50 km	+
18.06.02	IRS WiFS	27°	155°	midlatitude summer rural	120 km	+
09.07.02	IRS WiFS	31,2°	158,2°	midlatitude summer rural	100 km	+
21.07.02	ASTER	31,5°	151,8°	midlatitude summer rural	120 km	+
28.07.02	LANDSAT 7 ETM+	34,8°	141,5°	midlatitude summer rural	40 km	+

### 3.5.2 Grobauflösende Satellitendaten für die Ertragsschätzung

#### 3.5.2.1 Vorprozessierung

Das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum in Oberpfaffenhofen empfängt täglich bis zu drei Satellitenszenen (siehe **Abbildung 17**), die die NOAA-Satelliten mit ihren AVHRR-Sensoren über Zentraleuropa aufgenommen haben. Die Sensoren NOAA 15 bis NOAA 17 haben sechs Kanäle (bis NOAA 14 fünf Kanäle), von denen zur Vegetationsbeobachtung nur zwei herangezogen werden, das sind der Rotkanal mit einer Bandbreite von 500 bis 680 nm und der Nahinfrarotkanal mit 725 bis 1000 nm Bandbreite.

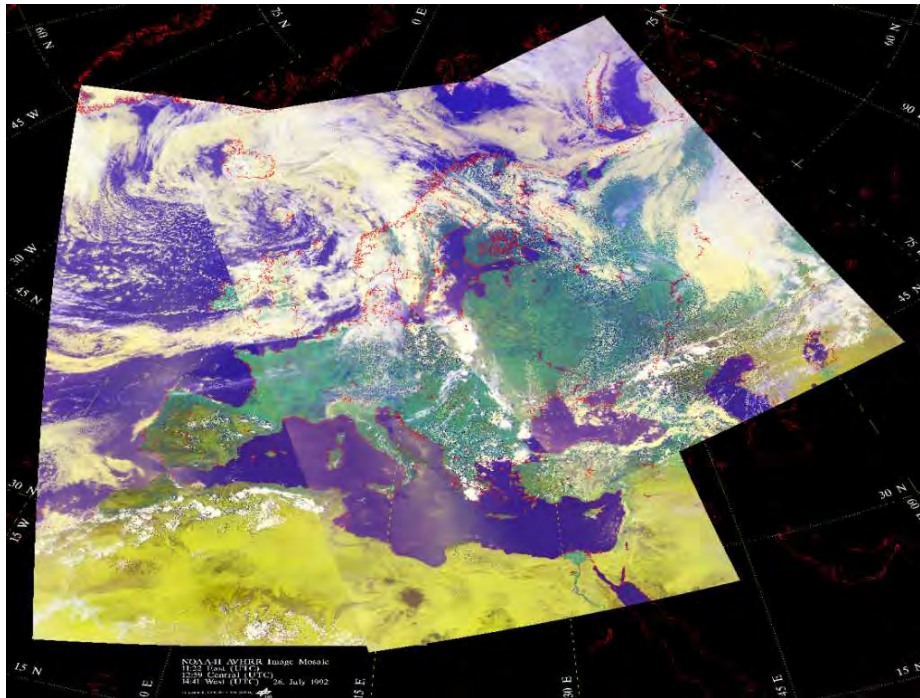


Abbildung 17: geographische Abdeckung des AVHRR-Datenempfangs in Oberpfaffenhofen, <http://wdc.dlr.de/sensors/avhrr/main.html>

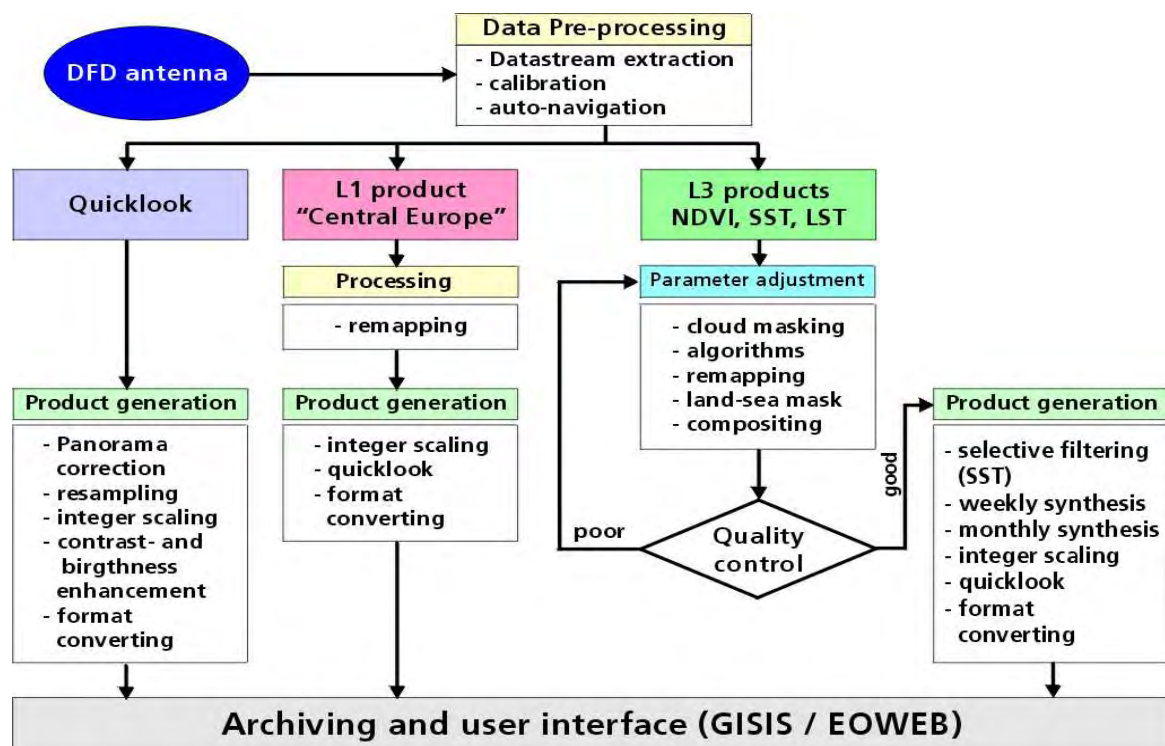
Die empfangenen Daten werden im Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) einer Vorbehandlungsroutine unterzogen und dabei kalibriert und, an Küstenlinien und Flussläufen orientiert, georeferenziert. Um sicherzustellen, dass nur die Pixel, die die Landoberfläche abbilden, in die NDVI-Berechnung eingehen, wird eine aufwendige Wolken-Wasser-Erkennung betrieben. Dieses Verfahren wurde von DECH (1998) entwickelt und für die NOAA16 Daten von TUNGALAGSAIKHAN (2001) weiterentwickelt. Die Wasser-Pixel werden auf den Wert 0 gesetzt, die Wolken-Pixel auf den Wert 255 und von der NDVI-Berechnung ausgenommen. Von allen übrigen Pixeln wird aus dem Kanal 1 Rot und dem Kanal 2 NIR der Normalized Difference Vegetation Index errechnet nach der Formel (ROUSE et al.1974):

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

**Formel 3**

Eine Atmosphärenkorrektur findet nicht statt. Die Daten werden rückkartiert in eine stereographische Projektion mit einer gegebenen geometrischen Auflösung von 1.132 m im Mittelpunkt des Bildes bei 51°N und 15°O. Es wird das Verfahren der *Nächsten Nachbarschaft* angewendet. Das Ausgabebild hat eine Größe von 4.100 x 4.300 Pixel. Der höchste NDVI-Wert aus bis zu 3 Werten eines Tages von einer jeden Pixelposition wird in das Tages-NDVI-Maximalwertkompositbild übernommen.

Wochen-NDVI-Maximalwertkompositbilder sind zusammengestellt aus den Maximalwerten einer Woche. Hierdurch wird der Anteil der wolkenbedingten Datenlücken reduziert. Den Wochen-NDVI-Maximalwertkompositbildern liegen somit bis zu 21 Satellitenszenen zugrunde. Maximalwerte von mehr als 0,7 werden auch mit 0,7 wiedergegeben. **Abbildung 18** gibt die Verarbeitungskette für AVHRR-Daten des DFD wieder.



**Abbildung 18: Prozessierungskette des DFD zur Bereitstellung höherwertiger Fernerkundungsdatenprodukte, <http://wdc.dlr.de/sensors/avhrr/main.html>**  
 GISIS= Graphical Intelligent Satellite Data and Information System,  
 EOWEB= Earth Observation Data Service,  
 SST= Sea Surface Temperature, LST= Land Surface Temperature, L= Level.

Die Wochen-NDVI-Maximalwertkompostbilder werden im 8-Bitformat gespeichert. Jedes Pixel kann somit einen Grauwert zwischen 0 und 255 annehmen. Der Wert 0 bedeutet Wasser, 255 bedeutet Wolken oder keine Daten. Grauwert 1 steht für einen NDVI-Wert von -0,09968454. Die radiometrische Auflösung mit dem Wert 0,0031546 bedeutet, dass ein Anstieg des Grauwertes um einen Punkt einen Anstieg des NDVI um 0,0031546 mit sich bringt. Der Grauwert 254 steht für einen NDVI von 0,7. Höhere NDVI-Werte werden ebenfalls mit dem Grauwert 254 gespeichert, niedrigere

als -0,09968454 mit dem Grauwert 1. Um aus den Grauwerten NDVI-Werte zu errechnen, kann **Formel 4** angewandt werden:

$$NDVI = \left(\frac{\text{Grauwert}}{317}\right) - 0,1 \quad \text{Formel 4}$$

*1/317 ist die Steigung der Geraden,*

*-0,1 ist der Schnittpunkt der Geraden mit der Y-Achse.*

*Die NDVI-Werte sind auf der Y-Achse und die Grauwerte auf der X-Achse.*

Die AVHRR-Produkte stehen im Internet zum kostenlosen Datenbezug unter der Adresse <http://wdc.dlr.de/sensors/avhrr/main.html> bereit. Inzwischen bietet die DFD auch NDVI-Datenprodukte des MERIS-Sensors (ENVISAT) an, die eine bessere räumliche Auflösung von 300 m bieten und in ihrer Skalierung den AVHRR-Produkten angeglichen wurden.

Es wurden für die Ertragsschätzung die NDVI-Wochen-Maximalwertkompositen (engl. NDVI-MVC-weekly) aus dem relevanten Zeitraum Mai bis August der Jahre 1995 bis 2002 bezogen. Sie wurden in diejenige Projektion transformiert, in der alle weiteren räumlichen Daten des Untersuchungsgebietes vorlagen, Universal Transverse Mercator (UTM), Sphäroid World Geodetic System 1984 (WGS 84), Zone 33.

Aus allen NDVI-MVC-weekly einer Vegetationsperiode wurde mittels multitemporaler Bildkombination für jedes Jahr ein NDVI-Gesamtbild erstellt, das aus 16 bis 22 Wochen-Layern bestand, wobei jeder Layer die Grauwerte einer Wochenszene enthielt. Um Speicherplatz und Rechnerkapazität zu sparen, wurde von jedem Jahres-NDVI-Gesamtbild nur ein Ausschnitt gespeichert, der den Bezirk Pilsen und den Landkreis Strakonice umfasst.

### 3.5.2.2 Extraktion der regionalen Ackerpixel-NDVI-MVC-Werte

Zur Extraktion der regionalen Ackerpixel-NDVI-MVC-Werte wurde die Software ECognition© eingesetzt. Sie bietet die Möglichkeit, Vektordaten und Rasterdaten gemeinsam zu verarbeiten, wenn sie in der gleichen Projektion vorliegen. Für jedes Jahr der Jahre 1995 bis 2002 wurde ein Klassifikationsprojekt kreiert, in das der jeweilige Jahres-Layerstapel und CORINE-Landcover als Rasterdaten und die digitale Landkreiskarte als Vektordaten eingegeben wurde. Die Segmentierung der Bilddaten führt die Pixel zu Objekten zusammen.

In einem ersten Klassifikationsschritt wurde zwischen Ackerobjekten und Nichtackerobjekten mittels scharfer Klassifikation unterschieden. Ackerobjekte sind alle Objekte, die in CORINE-Landcover der Klasse 12, *non-irrigated arable land*, angehören. Alle anderen Objekte sind „Nichtacker“ und hier nicht mehr von Bedeutung. Die Ackerobjekte wurden in 2 Tochterklassen unterschieden, Acker im Bezirk Pilsen oder Acker außerhalb des Bezirkes Pilsen. Kriterium für die Zugehörigkeit zur Klasse „Acker im Bezirk Pilsen“ ist die Zugehörigkeit zu Landnutzungs Klasse 12 in CORINE und die Zugehörigkeit zum Landkreis Klatovy oder Pilsen-Nord oder Pilsen-Süd oder Rokycany oder Domazlice oder Tachovy. Die kreisfreie Stadt Pilsen gehört auch zum Bezirk Pilsen, wurde aber hier nicht einbezogen, weil die wenigen Äcker im Stadtgebiet nicht repräsentativ sind und die städtischen Reflektanzwerte stärker durch Staub, Rauch und Dampf beeinträchtigt sind als die ländlichen. Die Klasse „Acker außerhalb des Bezirkes Pilsen“ enthält alle Ackerobjekte, die nicht zur Klasse „Acker im Bezirk Pilsen“ gehören.

Eine dritte Klassifikationsstufe wurde eingerichtet, um auf Landkreisebene die NDVI-MVC-weekly zu extrahieren. Die Ackerobjekte des Landkreises Klatovy und die Ackerobjekte des Landkreises Pilsen-Süd wurden als Tochterklassen der Klasse „Acker im Bezirk Pilsen“ angelegt. Die Ackerobjekte des Landkreises Strakonice kamen in die Tochterklasse „Acker Strakonice“ der Klasse „Acker außerhalb des Bezirkes Pilsen“.

Die Funktion „Statistics“ in ECOGNITION© gibt dem Anwender die Möglichkeit, die Eigenschaften der Klassen auflisten zu lassen. Hier von Interesse waren die gewogenen Mittelwerte der NDVI-Werte der Ackerobjekte im Bezirk Pilsen, im Landkreis Pilsen-Süd, im Landkreis Strakonice und im Landkreis Klatovy. Sie wurden in eine Excel-Tabelle übertragen und dienten als wichtige Datenbasis für die regionale Ertragsschätzung.



### 3.6 Anbauflächenschätzung

#### 3.6.1 Gesamtbilder

Die Anbauflächenschätzung wurde auf Basis der georeferenzierten, atmosphären-korrigierten Satellitenszenen, die in Tabelle 8 aufgelistet sind, durchgeführt. Die Aufnahmen des Jahres 2001 wurden zu einem multitemporalen, multispektralen Gesamtbild 2001 zusammengefasst. Dieses Gesamtbild besteht aus 13 Bändern von 5 Aufnahmetermen und 3 Sensoren (**Tabelle 9**).

**Tabelle 9: Gesamtbild 2001**

<i>Band</i>	Sensor	Spektral bereich	Bandbreite	Auflösung	Streifenbreite	Datum
1	IRS-LISS	grün	520-590 nm	23 m	142 km	15.2.2001
2	IRS-LISS	rot	620-680 nm	23 m	142 km	15.2.2001
3	IRS-LISS	NIR	770-860 nm	23 m	142 km	15.2.2001
4	LS 5 TM	grün	520-600 nm	30 m	185 km	14.5.2001
5	LS 5 TM	rot	630-690 nm	30 m	185 km	14.5.2001
6	LS 5 TM	NIR	760-900 nm	30 m	185 km	14.5.2001
7	IRS-WiFS	rot	620-680 nm	188 m	810 km	23.5.2001
8	IRS-WiFS	NIR	770-860 nm	188 m	810 km	23.5.2001
9	IRS-WiFS	rot	620-680 nm	188 m	810 km	6.7.2001
10	IRS-WiFS	NIR	770-860 nm	188 m	810 km	6.7.2001
11	LS 5 TM	grün	520-600 nm	30 m	185 km	2.8.2001
12	LS 5 TM	rot	630-690 nm	30 m	185 km	2.8.2001
13	LS 5 TM	NIR	760-900 nm	30 m	185 km	2.8.2001

Durch die Zusammenfügung der 13 Bänder im so genannten *Layer stacking* ändern sich auch die Bildeigenschaften. Die räumliche Auflösung des Gesamtbildes beträgt nun 25 m, die Bildgröße 4.951 x 4.577 Pixel, was in der Landschaft einer Größe von 123,775 km Breite und 114,425 km Länge entspricht.

Auch ein bitemporales multispektrales Gesamtbild 2001 aus den beiden Landsataufnahmen von Mai und August wurde erstellt. Die hierzu verwandten Szenen und Bänder sind in **Tabelle 10** aufgeführt.

Tabelle 10: LANDSAT-Gesamtbild 2001

<i>Band</i>	Sensor	Spektral bereich	Bandbreite	Auflösung	Streifenbreite	Datum
1	LS 5 TM	blau	450-520 nm	30 m	185 km	14.5.2001
2	LS 5 TM	grün	520-600 nm	30 m	185 km	14.5.2001
3	LS 5 TM	rot	630-690 nm	30 m	185 km	14.5.2001
4	LS 5 TM	NIR	760-900 nm	30 m	185 km	14.5.2001
5	LS 5 TM	MIR	1.550-1.750 nm	30 m	185 km	14.5.2001
6	LS 5 TM	blau	450-520 nm	30 m	185 km	2.8.2001
7	LS 5 TM	grün	520-600 nm	30 m	185 km	2.8.2001
8	LS 5 TM	rot	630-690 nm	30 m	185 km	2.8.2001
9	LS 5 TM	NIR	760-900 nm	30 m	185 km	2.8.2001
10	LS 5 TM	MIR	1.550-1.750 nm	30 m	185 km	2.8.2001

Die räumliche Auflösung des Landsat-Gesamtbildes 2001 liegt bei 30m, die Bildgröße beträgt 3.331 x 2.998 Pixel, was einer Größe von 99,93 km x 89,94 km entspricht.

Ebenso wurden auch die Satellitenszenen des Jahre 2002 zu Gesamtbildern zusammengefasst, zu einem Gesamtbild 2002 mit 16 Bändern, **Tabelle 11** und einem Landsat-Gesamtbild 2002 mit 12 Bändern aus 2 Aufnahmetermine im Mai und Juli, **Tabelle 12**.

Tabelle 11: Gesamtbild 2002

<i>Band</i>	Sensor	Spektral bereich	Bandbreite	Auflösung	Streifenbreite	Datum
1	LS 7 ETM+	grün	520-600 nm	30 m	185 km	9.5.2002
2	LS 7 ETM+	rot	630-690 nm	30 m	185 km	9.5.2002
3	LS 7 ETM+	NIR	760-900 nm	30 m	185 km	9.5.2002
4	ASTER	grün	520-600 nm	15 m	60 km	18.5.2002
5	ASTER	rot	630-690 nm	15 m	60 km	18.5.2002
6	ASTER	NIR	760-860 nm	15 m	60 km	18.5.2002
7	IRS-WiFS	rot	620-680 nm	188 m	810 km	18.6.2002
8	IRS-WiFS	NIR	770-860 nm	188 m	810 km	18.6.2002
9	IRS-WiFS	rot	620-680 nm	188 m	810 km	9.7.2002
10	IRS-WiFS	NIR	770-860 nm	188 m	810 km	9.7.2002
11	ASTER	grün	520-600 nm	15 m	60 km	21.7.2002
12	ASTER	rot	630-690 nm	15 m	60 km	21.7.2002
13	ASTER	NIR	760-860 nm	15 m	60 km	21.7.2002
14	LS 7 ETM+	grün	520-600 nm	30 m	185 km	28.7.2002
15	LS 7 ETM+	rot	630-690 nm	30 m	185 km	28.7.2002
16	LS 7 ETM+	NIR	760-900 nm	30 m	185 km	28.7.2002



Die räumliche Auflösung des Gesamtbildes 2002 beträgt 17 m, die Größe ist 5.878 x 5.290 Pixel, das entspricht 99,926 km x 89,930 km.

**Tabelle 12: LANDSAT-Gesamtbild 2002**

<i>Band</i>	Sensor	Spektralbereich	Bandbreite	Auflösung	Streifenbreite	Datum
1	LS 7 ETM+	blau	450-520 nm	30 m	185 km	9.5.2002
2	LS 7 ETM+	grün	520-600 nm	30 m	185 km	9.5.2002
3	LS 7 ETM+	rot	630-690 nm	30 m	185 km	9.5.2002
4	LS 7 ETM+	NIR	760-900 nm	30 m	185 km	9.5.2002
5	LS 7 ETM+	MIR	1.550-1.750 nm	30 m	185 km	9.5.2002
6	LS 7 ETM+	MIR	2.080-2.350 nm	30 m	185 km	9.5.2002
7	LS 7 ETM+	blau	450-520 nm	30 m	185 km	28.7.2002
8	LS 7 ETM+	grün	520-600 nm	30 m	185 km	28.7.2002
9	LS 7 ETM+	rot	630-690 nm	30 m	185 km	28.7.2002
10	LS 7 ETM+	NIR	760-900 nm	30 m	185 km	28.7.2002
11	LS 7 ETM+	MIR	1.550-1.750 nm	30 m	185 km	28.7.2002
12	LS 7 ETM+	MIR	2.080-2.350 nm	30 m	185 km	28.7.2002

Die räumliche Auflösung des Landsat-Gesamtbildes 2002 beträgt 30m, die Größe der Szene ist 3.047 Pixel x 2.417 Pixel, was einer Größe von 91,41 km x 72,51 km entspricht.

Jedes dieser 4 Gesamtbilder wurde Grundlage für ein gesondert bearbeitetes Klassifikations- und Anbauflächenschätzungsprojekt.

### **3.6.2 Klassifikationsprojekte**

#### **3.6.2.1 Rasterdaten und Vektordaten**

Zur Klassifikation der Sommergerstenanbauflächen und ähnlicher Landnutzungen wurde die Software ECognition<sup>®</sup> verwendet. Zu den Eigenschaften dieser Software gehört, dass sowohl pixelbasierte Daten als auch vektorbasierte Daten in ein Klassifikationsprojekt eingebracht werden können. Voraussetzung ist, dass alle Daten auf eine gleiche Grundkarte georeferenziert sind.

Deshalb wurden die in einem GIS kartierten Anbauflächen der 4 landwirtschaftlichen Betriebe (Vektordaten), die Landkreisgrenzen der Region (Vektordaten) und ein Ausschnitt der europäischen Landnutzungskarte CORINE-Landcover (Rasterdaten) in die gleiche Projektion gebracht wie die Satellitenszenen, UTM WGS 84, Zone 33.

### 3.6.2.2 Multiresolutionale Segmentierung

Eigentümlich für die Klassifikation mit ECognition© ist, dass die Klassifikation nicht auf der Basis von Pixeln, sondern auf der Basis von Objekten durchgeführt wird. Ein Objekt ist eine mehr oder weniger große Gruppe von nebeneinander liegenden Pixeln, deren spektralen Eigenschaften ähnlich sind und/oder die gemeinsam eine bestimmte Form bilden. Nach der Segmentierung rechnet das Programm nicht mehr mit den Spektralwerten der Einzelpixel, sondern mit den Werten der Objekte, die aus dem gewogenen Mittel der Werte der im Objekt aufgegangenen Einzelpixel besteht. Dies führt im Vergleich zur pixel-basierten Klassifikation zu zwei Unterschieden: Der Salz- und Pfeffereffekt, bei dem einzelne, verstreute Pixel anderen Klassen zugewiesen werden, wird vermieden und die Datenmenge wird reduziert um den Faktor der durchschnittlichen Objektgröße.

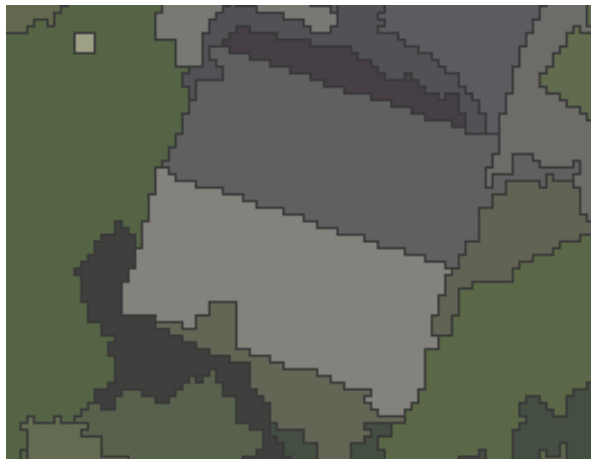
Für die multiresolutionale Segmentierung der Gesamtbilder wurden aufgrund der in der Übungsphase gewonnenen Erfahrungen folgende Vorgaben gemacht:

Die Rot- und NIR-Bänder werden wegen ihrer Bedeutung als Indikatoren für die Vitalität der Pflanze mit dem Faktor 2 gewichtet, für die anderen Bänder bleibt der Faktor 1. Eine Heterogenität der Spektralwerte von 10% wird zugelassen, das bedeutet, dass die Werte der reflektieren Strahlung nicht wirklich homogen sein müssen, um zum gleichen Objekt zu gehören, sondern um bis zu 5% höher oder bis zu 5% niedriger als der mittlere Wert sein dürfen. Heterogenitätskriterien zwischen 5% und 30% wurden erprobt, 10% erschienen als sinnvollster Kompromiss. Das Ziel war, dass ein Objekt einem Ackerschlag entspricht und nicht 2 Schläge mit unterschiedlichen Kulturpflanzen zu einem Objekt zusammengezogen werden. Auch Segmentierungen, die den Acker in 2 oder 3 Objekte zerlegen, wurden akzeptiert, weil die Flächen in dieser extensiven Ackerbauregion recht inhomogen sind. Eine stärkere Segmentierung als 3 Objekte je Ackerfläche wäre möglicherweise für eine Anwendung im Präzisionspflanzenbau sinnvoll, für die Flächeninventarisierung ist sie jedoch nicht hilfreich.

Da sich die verschiedenen Kulturen im Ackerbau nicht durch Formparameter wie Länge und Breite des Feldes oder einem bestimmten Verhältnis von Länge zu Breite unterscheiden, sondern weitgehend durch die spektralen Eigenschaften, wird der Schwerpunkt der Segmentierungskriterien auf die Spektralwerte gelegt. Die

Segmentierungskriterien sind dementsprechend unterschiedlich gewichtet: Color 0,8, Shape 0,2, Smoothness 0,9 und Compactness 0,1.

Zum Abschluss der Segmentierung wurden jedes Objekt umgrenzende Polygone geschaffen. Die Szene wurde vektorisiert. Der Anwender kann wählen, ob diese Polygone sich genau an die Raster halten, was im Bild den „Treppeneffekt“ hervorruft, oder ob die Objekte geglättet werden sollen. In der Annahme, dass die geglätteten Polygone den tatsächlichen Grenzen der Ackerschläge ähnlicher sind als die gerasterten, wurde die Option *smoothed outline mode* gewählt. **Abbildung 19** macht den Effekt deutlich. Soweit wurde für alle vier Klassifikationsprojekte in gleicher Weise vorgegangen.



Raster outline mode



Smoothed outline mode

**Abbildung 19:** Die linke Grafik zeigt Objekte, die mit Rasterpolygonen umfasst sind, in der rechten Grafik sind die Polygone geglättet (BAATZ, 2001). Beispiel entnommen dem Handbuch für ECOGNITION©.

### 3.6.2.3 Klassifikation der Sommergerste

Da es in dieser Studie nur um die Flächeninventarisierung von Sommergerste geht, sind die Flächenanteile der anderen Kulturpflanzen nicht das Ziel der Untersuchungen. Deshalb wurde zunächst versucht, nur 2 Klassen zu bilden, Sommergerste und Nichtsommergerste. Die Klasse Sommergerste wurde definiert durch die spektralen Eigenschaften der 12 Braugerstentrainingsflächen (Abschnitt 3.4 Feldbeobachtungen und Anhang Tabelle A5-A8 und Anhang Abbildung A2).

Diese Objekte wurden dem System als Samples editiert und in einer TA-Maske (Trainings Areas) gespeichert. Zur spektralen Charakterisierung der Braugerste dienten von allen Kanälen des Gesamtbildes die Mittelwerte der Braugerstenobjekte. Als künstliche Kanäle wurden hinzugefügt: die NDVI-Werte der Braugerstenobjekte der 2 bis 5 im Gesamtbild vorkommenden Aufnahmetermine, die Standardabweichungen von den Mittelwerten der Spektralwerte der Braugerstenobjekte, die Ratios (Verhältniszahlen) der Mittelwerte der Braugerstenobjektspektralwerte und die Brightness (Summe der Mittelwerte geteilt durch die Anzahl der Spektralkanäle).

Durch die Hinzunahmen dieser rechnerisch ermittelten, virtuellen Kanäle werden aus den 10 bis 16 Kanälen der Gesamtbilder bis zu 54 Kanäle, deren Werte die Klasse Braugerste definieren. Die Klasse Braugerste ist damit sozusagen eine Wolke in einem 54-dimensionalen Merkmalsraum.

Der erste Durchgang der Klassifikation, Diskriminierung zwischen Sommergerste und Nichtsommergerste, brachte die Schwäche dieses simplen Ansatzes hervor, denn auch einige Objekte mit Laubwald, Dauergrünland, Erbsen, Winterweizen, Hafer, Triticale und Sommergerste-mit-Untersaaten wurden als Sommergerste klassifiziert, in geringem Maße wurden auch Flächen mit Sommergerste nicht als solche erkannt.

Die Fehlklassifikationen des ersten Durchgangs waren wichtige Hinweise zur Verbesserung der Methode. Drei Schritte wurden angewandt:

- Vermeidung der Verwechslungen mit Laubwald und Dauergrünland durch Vorschalten der Separierung zwischen Acker und Nichtacker durch Einbezug der Ackermaske aus CORINE-Landcover. Nun muss ein Objekt, um der Klasse Sommergerste zugerechnet zu werden, nicht nur spektral der Klasse Sommergerste ähneln, sondern zudem auch die Eigenschaft haben, genau den Wert 12 in der Rasterkarte von CORINE-Landcover zu tragen. Die 12 steht für die Klasse „nicht-bewässertes Ackerland“.
- Erstellung separater Klassen Winterweizen, Triticale, Hafer, Erbse und Sommergerste-mit-Untersaaten. Durch Eingabe von Musterflächen zu jeder dieser Klassen werden die Klassen anhand der spektralen Eigenschaften der Musterobjekte in den verwendeten ursprünglichen und künstlichen Kanälen sowie der Eigenschaft „12“ aus CORINE charakterisiert. Nun bilden auch diese Klassen Merkmalswolken im bis zu 55-dimensionalen Raum. 55, weil zu

den bisher maximal 54 Dimensionen nun noch die Dimension CORINE hinzugenommen wurde.

- Hinzunahme von 5 weiteren Objekten mit Sommergerste aus verschiedenen Höhenstufen des Geländes zur besseren Charakterisierung der Klasse Sommergerste. Hierzu wurden 5 Sommergerstenobjekte ausgewählt, die im ersten Klassifikationsdurchgang nicht als Sommergerste erkannt wurden.

Mit diesen Prämissen wurde nun der 2. Klassifikationsdurchgang durchgeführt.

Auch nach dem 2. Durchgang gab es noch einige Falschzuweisungen. Sie waren die Grundlage einer weiteren Verbesserung der Klassifikationsmethode. Einige der falsch zugewiesenen Objekte wurden deshalb ihren richtigen Klassen als neue Musterflächen zugefügt, weil die im vorigen Schritt verwendeten Musterflächen offensichtlich nicht die ganze Vielfalt der spektralen Erscheinungsformen innerhalb ihrer Klasse darstellten.

Die nunmehr angesammelte Gesamtheit aller Musterflächen der 6 Kulturen wurden als Trainings-Area-Maske abgelegt, die sich für alle Klassifikationsprojekte des gleichen Jahres einsetzen ließ.

Die 3. Klassifikation wurde mit einem *minimum-membership-value* von 0,7 durchgeführt. *Minimum-membership-value* ist ein Begriff aus der Fuzzy-Logik und gibt in einer Skala von 0 bis 1 den Grad der Bestimmtheit einer Zuweisung an.

Da auch der dritte Klassifikationsdurchgang noch Fehlzuweisungen enthielt, wurden zur Optimierung des Merkmalsraums eine Hauptkomponententransformation durchgeführt. Durch die Entfernung der Redundanzen zwischen den verwendeten Kanälen werden die Informationen auf das Wesentliche reduziert und die Abstände zwischen den Klassen vergrößert (BÄHR, 1991; SCHOWENGERDT, 1997; LILLESAND, 2000). Auskunft über die Größe der Abstände gibt die *class separation distance matrix*. Wichtig ist die richtige Wahl der Anzahl der Hauptkomponenten. Ist sie zu klein, gehen viele Informationen, die in den Kanälen enthalten waren, verloren und die Klassifikation wird schlechter. Ist sie zu groß, ist keine Einsparung von zu verarbeitender Datenmenge im Vergleich zu den untransformierten Kanälen mehr zu verzeichnen. Die Software ECognition© bietet mit dem Werkzeug *feature space optimization - advanced information result chart* dem Benutzer die Möglichkeit, die

optimale Kombination von verbesserten Trennungsabständen zwischen den Klassen und steigender Anzahl der Hauptkomponenten zu finden.

Zur Prüfung der Klassifikationsgenauigkeit wurde wieder eine Test-Area-Maske aus Sample-Objekten erstellt. Um eine objektive Prüfung zu ermöglichen, enthält sie nur Sample-Objekte, die nicht bereits als Sample-Objekte für die Charakterisierung der Klassen Sommergerste, Sommergerste mit Untersaaten, Winterweizen, Triticale, Hafer oder Erbsen herangezogen wurden. Die Sample-Objekte der Prüfmaske vertreten die 6 Anbaukulturen.

### **3.6.2.4 Anbauflächenschätzung**

Auch die Anbauflächenschätzung wurde mit dem Klassifikationsprogramm ECognition© durchgeführt. Grundlage war die oben angeführte Klassifikation. Zusätzlich zu den bereits in der Klassifikation verwandten Rasterdaten wurde nun der Vektordatensatz der Landkreisgrenzen in die Entscheidungsbasis einbezogen. Der Landkreis Klatovy hat die Identitätsnummer(ID) 9, der Landkreis Pilsen-Süd die ID 2 und der Landkreis Strakonice die ID 7.

Der Klassifikation wurde eine zweite Ebene, die Ebene der Tochterklassen hinzugefügt. Objekte, die der Klasse Sommergerste (SG) angehören, können nun in die Klassen Sommergerste-Klatovy oder Sommergerste-Pilsen-Süd oder Sommergerste-Strakonice kommen. Entscheidungskriterium für diese Eingruppierungen ist die Landkreis-ID. Sie wurde als zusätzliches Kriterium in die Klassifikation eingefügt. So musste ein Objekt, welches zur Klasse Sommergerste-Strakonice zugerechnet werden konnte, in die Landnutzungsklasse 12 (non irrigated arable land) fallen, nach spektralen Gesichtspunkten der Sommergerste stärker ähneln als den anderen Kulturpflanzen, und die Landkreis-ID 7 haben. Alle Objekte, die diese Bedingungen erfüllen, wurden nun zusammengerechnet zu Unterklasse SG-Strakonice. Ihr aggregierter Flächeninhalt war der Schätzwert für die Anbaufläche Sommergerste im Landkreis Strakonice. Entsprechend wurde mit den Sommergerstenobjekten der anderen Landkreise verfahren.

Da die beiden Landsat7 ETM+ Szenen des Jahres 2002 den Landkreis Pilsen-Süd nicht vollständig abbilden, sondern nur seinen südlichen Teil, kann für das Jahr 2002

keine Flächenschätzung für den Landkreis Pilsen-Süd erstellt werden, hier ist nur eine Flächenschätzung für die vollständig abgebildeten Landkreise Strakonice und Klatovy möglich.

Zur Klassifikationsmethode ist noch anzumerken, dass es sich hier um eine Mischung von Elementen der Nearest-Neighbor-, der Fuzzy- und der scharfen Klassifikation handelt. In der Segmentierung sind auch Methoden der unüberwachten Klassifikation enthalten.

### ***3.7 Schätzung der phänologischen Phasen***

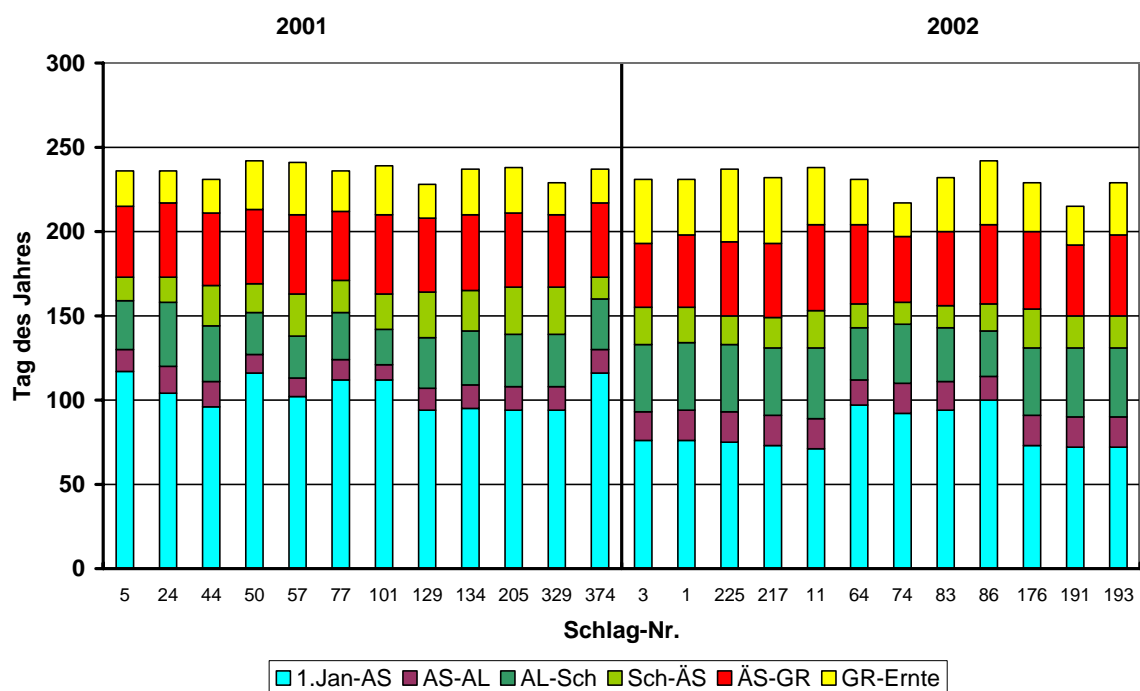
Um die Ertragsrelevanz der NDVI-Wochenwerte und der Wetterdaten für eine erfolgreiche Implementierung in die Ertragsvorausschätzung bewerten zu können, muss bekannt sein, in welchem Entwicklungsstadium sich die Pflanze befand, als sie einer bestimmten Umwelt ausgesetzt war, respektive ein bestimmtes Reflektionsverhalten zeigte. Ziel war es, die Wetterdaten 1993-2002 und die NDVI-Daten der Jahre 1995 bis 2002 jedes Wochendatensatzes einer bestimmten Woche in der Entwicklung der Pflanze zuordnen zu können.

Die Phänologie der Vegetation beziehungsweise ausgewählter Pflanzenarten wurde in der Tschechoslowakei von 1931-1960 beobachtet (KURPELOVA, 1972). Diese Daten waren die Basis für die Kartierung von Klima- und Anbauzonen (**Abb. 13** und **Tabelle 2**). Aktuellere phänologische Daten, speziell von der Sommergerste, waren nicht erhältlich. Der MOCA-Studie (ZALUD et al., 2004) ist die **Tabelle 5** entnommen mit einigen phänologischen Daten der Sommergerste für die Anbauregionen, hier handelt es sich aber nur um Durchschnittswerte. In einzelnen Jahren kann der Aussaatzeitpunkt durchaus um 3 Wochen später sein, wodurch sich auch andere Phänophasen, wenn auch nicht in gleichem Ausmaß, verschieben.

Deshalb wurde eine Methode gesucht, die eine Schätzung der Eintrittsdaten der phänologischen Entwicklung der Sommergerste für die Jahre der Modellentwicklung erlaubt. Ausgangspunkt waren die Feldbeobachtungen aus 2 Jahren an 24 Braugerstensschlägen im Untersuchungsgebiet. **Abb. 20** zeigt die Entwicklung der 24 Schläge vom 1. Januar bis zur Ernte. Links stehen die 12 Trainingsflächen des Jahres 2001, rechts die des Jahres 2002. Auffällig ist die große Heterogenität von

Feld zu Feld auch innerhalb eines Jahres, sowohl beim Aussaatzeitpunkt wie auch bei den Längen der einzelnen Phasen und den Ernteterminen. Unerwartet ist die nicht vorhandene positive Korrelation zwischen Höhenlage und Aussaatzeitpunkt. Im Jahre 2001 korreliert die Höhenlage mit dem Aussaatzeitpunkt mit  $\rho = -0,1$  und 2002 mit  $\rho = -0,8$ .

**Abb. 21** zeigt, mit wie vielen Tagen Unterschied zwischen dem frühesten und dem spätesten Schlag innerhalb eines Jahres die 12 Schläge in die Phänophasen eintreten.

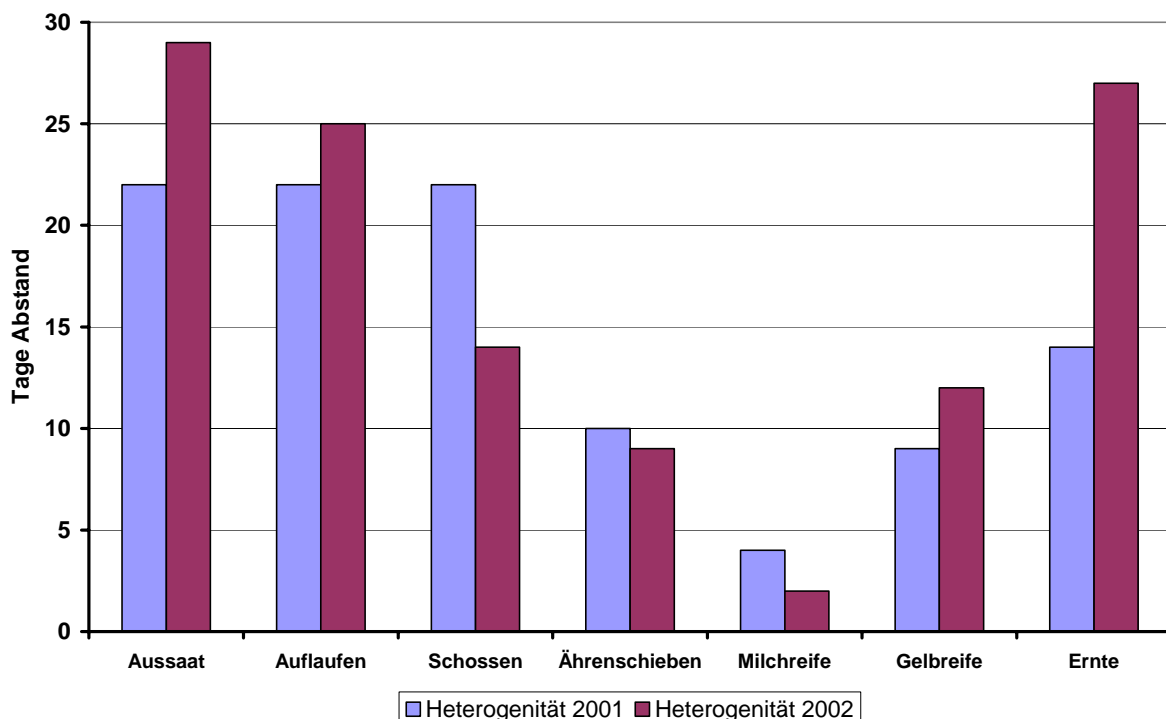


**Abbildung 20: Phänophasen der 24 Parzellen Sommergerste links 2001 und rechts 2002. Ausaat (AS), Auflaufen (AL), Schossen (Sch), Ährenschieben (ÄS), Gelbreife (GR).**

Im Durchschnitt beider Jahre dauerte die Phase von der Aussaat bis zum Auflaufen 2 Wochen, vom Auflaufen bis zum Schossen 4 Wochen, vom Schossen bis zum Ährenschieben 3 Wochen, vom Ährenschieben bis zur Gelbreife 7 Wochen und von der Gelbreife bis zur Ernte 4 Wochen. Die Länge der Phänophasen wurde als typisch für diese Anbauregion für alle Jahre angenommen, ausgenommen der letzten Phase von der Gelbreife bis zur Ernte. Hier handelt es sich um regenbedingte Ernteverzögerungen, die die Qualität und den Ertrag herabsetzen. Eine optimale Ernte wäre bei trockenem Wetter 10 bis 20 Tage nach der Gelbreife.



Innerhalb der Kornfüllungsphase zwischen Ährenschieben und Gelbreife durchläuft die Pflanze das EC Stadium der Milchreife EC 73 bis 77. Wegen der Pflanzenprobenahme zu diesem Stadium ist der Eintritt der Milchreife für alle 24 Parzellen protokolliert. Alle Felder des Jahres 2001 sind am 11. Juli 2001 in den EC Stadien 73 bis 78, alle Felder des Jahres 2002 sind zwischen dem 26. und dem 28. Juni 2002 im Stadium 75. Also eine außerordentlich hohe Gleichmäßigkeit des Eintritts der Milchreife (**Abb. 21**) innerhalb eines Jahres hinweg über alle Unterschiede in Boden, Sorte, Höhenlage, Anbauverfahren und Kleinklima.



**Abbildung 21: Abstand in Tagen zwischen der ersten und der letzten Trainingsfläche, die in die phänologischen Phasen Aussaat, Auflaufen, Schossen, Ährenschieben, Milchreife, Gelbreife und Ernte eintritt. 2001 in blau und 2002 in braun dargestellt.**

Die stärkste Synchronisation der Entwicklung der Sommergerste wurde nicht wie erwartet zu Beginn der generativen Phase beim Ährenschieben (Abstand vom 1. zum letzten Feld 10 Tage 2001 und 9 Tage 2002) oder zur Blüte (Probenahmeterminen Blüte 2001 von 22. Juni bis 2. Juli und 2002 vom 7. Juni bis 16. Juni) festgestellt, sondern erst zur Milchreife.

Diese Synchronisation der pflanzlichen Entwicklung zum EC Stadium 75 hat ihre Ursache wie bei allen Getreidearten in Signalen der Tageslänge und der Wärmesumme. Deshalb wurde in den zur Verfügung stehenden Daten nach einem

Faktor gesucht, der in der Woche vom 9. bis 15. Juli 2001, der 28. Kalenderwoche, und in der Woche vom 24. bis 30.6. 2002, der 26. Kalenderwoche, auf die Pflanzenbestände eingewirkt hat und in der ganzen Anbauregion herrschte. Die erste Annahme war, dass die Tageslänge der Auslöser sein könnte. An der Wetterstation Kocelovice, Koordinaten 13°50' östliche Länge und 49°28' nördliche Breite, ging die Sonne am 11. Juli 2001 um 5:10 auf und um 21:10 (MESZ) unter. Am 26. Juni 2002 ging die Sonne um 4:59 auf und um 21:16 unter. 17 Minuten Unterschied in der Tageslänge zwischen den Milchreifeterminen 2001 und 2002; da ähnliche Lichtverhältnisse während des gesamten Juni + ersten Hälfte Juli herrschen, war hierin wohl nicht der „Gleichrichter“ zu finden.

Das Datenfeld „Temperatursumme über 3°C seit dem 1. Januar des Jahres“ zeigte eine interessante Übereinstimmung in den beiden Jahren. Genau in der Woche, wo alle 12 Felder ins EC-Stadium 75 traten, übersteigt die Temperatursumme die 1000 Grad, im Jahre 2001 kam sie auf 1059°C. Das sind -84°C Abweichung vom langjährigen Durchschnitt für die 28. Kalenderwoche. Im Jahre 2002 wurden 1062°C erreicht, das sind +107°C Abweichung vom langjährigen Durchschnitt für die 26. Kalenderwoche. Die Abweichungen vom langjährigen Durchschnitt zeigen, dass das Jahr 2001 als ein Beispiel für ein kühles Anbaujahr, das Jahr 2002 für ein warmes Anbaujahr gelten kann. Das hat sich auch schon auf den Aussaatzeitpunkt ausgewirkt.

Im nächsten Schritt wurde durch eine Datenbankabfrage geprüft, in welcher Woche in den Jahren 1993 bis 2003 die Summe von 1000° überschritten wurde (**Tab. 13**).

**Tabelle 13: Termine 1993 bis 2003, an denen die 1000° GDD-Grenze überschritten wurde.**

Jahr	Woche vom	bis	GDD seit 1. Januar
1993	28. Juni	4. Juli	1093
1994	4. Juli	10. Juli	1097
1995	10. Juli	16. Juli	1115
1996	8. Juli	14. Juli	1001
1997	7. Juli	13. Juli	1004
1998	29. Juni	5. Juli	1084
1999	5. Juli	11. Juli	1096
2000	19. Juni	25. Juni	1039
2001	9. Juli	15. Juli	1059
2002	24. Juni	30. Juni	1062
2003	23. Juni	29. Juni	1099

Es wurde die Annahme gemacht, dass in den oben angeführten Wochenabschnitten die Sommergerste das EC Stadium 75, Milchreife, erreicht. Daraus folgend wurde ein Modell erstellt, das die Entwicklung der Gerstenbestände von der Aussaat bis zur Erntereife modelliert und strukturiert, (**Abb. 22**).

Phase	AU	AU	JE	JE	JE	JE	MW	MW	MW	KF	KF	KF	KF	KF	KF	KF	SE	SE	SE
EC-Stadium	0		10				30			50			75				87		
Woche	1.	2.	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	1.	2.	3.

**Abbildung 22: Schema der phänologischen Entwicklung der Sommergerste. Auflaufen (AU), Jugendentwicklung (JE), Massenwachstum (MW), Kornfüllung (KF), Milchreife (MR), Seneszenz (SE).**

Nach diesem Schema wurden nur die wöchentlichen Wetterdaten und NDVI-Werte umgruppiert. Ausgehend von der Hypothese, dass die Woche, in der 1000°GDD erstmalig überschritten wird, die 4. Woche in der Kornfüllungsphase sei, wo die geringste Variationsbreite zwischen den Feldern zu beobachten ist, war dann folglich 12 Wochen vorher die Aussaat und alle anderen Entwicklungsphasen entsprechend dem Modell (**Tabelle 15**).

### 3.8 Ertragsschätzung

Die Schätzung des Ertrags pro ha und Jahr wurde mit zwei verschiedenen Methoden durchgeführt. Die erste Methode im Abschnitt 3.8.1 basiert auf den Korrelationen zwischen Wochenwetterdaten und wöchentlichen Satellitendaten mit den Erträgen der letzten Jahre und wurde für diese Studie entwickelt.

Die zweite Methode, im Abschnitt 3.8.2 beschrieben, wurde von SCHELLING (SCHELLING et al. 2003) im Rahmen einer mehrjährigen Studie anhand des Braugerstenanbaues in der Eifel entwickelt und für diese Arbeit von mir auf regionale Ertragsabschätzung in Tschechien übertragen. Sie verwendet Wetterdaten, die über die Entwicklungsabschnitte aggregiert wurden und bringt sie in Relation zu statistisch erfassten Kornerträgen. Eines der Ziele der eigenen Studie war es, zu prüfen, ob die Methode Schelling, die multiple lineare Regression zwischen Ertrag und aggregierten Wetterdaten, auch für Anbauregionen außerhalb seines Untersuchungsgebietes, der südlichen Eifel, angewandt werden kann. Bei dieser Methode werden keine Satellitendaten einbezogen.

### 3.8.1 Ertragsschätzung mittels Wochenwetterdaten und Satellitendaten

#### 3.8.1.1 Multiple Korrelationsanalyse

Die Korrelation ist das mittellateinische Wort für Wechselbeziehung. In der Stochastik ist sie die wichtigste Art der Abhängigkeit zweier Variablen  $X$  und  $Y$  voneinander. Das Maß der Korrelation ist der Korrelationskoeffizient  $\rho$ , der definiert ist als der Quotient aus der Kovarianz  $\text{cov}(X,Y)$  und der Wurzel aus dem Produkt der Varianzen  $\text{var}(X)$  und  $\text{var}(Y)$ :

$$\rho = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sqrt{\text{var}(X) \text{var}(Y)}}$$

**Formel 2**

$\rho$  ist eine Zahl mit einem Wert zwischen -1 und +1. Je näher ihr Absolutwert bei 1 liegt, desto stärker ist die Korrelation; für  $\rho = 0$  sind die beiden Größen unkorreliert. Korrelierte Größen sind abhängig voneinander, während aus der Unkorreliertheit nicht unbedingt Unabhängigkeit folgt. Positive Korrelation ( $\rho > 0$ ) besagt, dass mit wachsendem  $X$  auch  $Y$  wächst, während sich bei negativer Korrelation ( $\rho < 0$ ) die beiden Größen gegenläufig verhalten. Die Korrelationsanalyse ist die Gewinnung statistischer Schlüsse über den Korrelationskoeffizienten zweier im Allgemeinen als normal verteilt angenommener Merkmale (BROCKHAUS, 2001). Verschiedene Korrelationstypen sind die wechselseitige Abhängigkeit, die Gemeinsamkeitskorrelation, die Inhomogenitätskorrelation, die formale Korrelation und die einseitige Abhängigkeit, die auch als funktionaler Zusammenhang bezeichnet wird (KÖHLER et al., 2002).

Um in der vorliegenden Studie aus der Fülle von 289 Klimafaktoren (17 Faktoren aus 17 phänologischen Wochen) diejenigen herauszufinden, die den größten Erklärungsbeitrag zum Hektarertrag liefern, wurde zunächst eine Korrelationsmatrix aufgestellt. In diese Korrelationsmatrix flossen folgende Werte ein:

#### 17 Klimafaktoren:

- N: Niederschläge in mm,
- TLI5: Lufttemperatur 5 cm über dem Boden, Minimumwerte
- SS: Sonnenscheindauer in Stunden
- TS3: Temperatursumme über 3° Celsius GDD

- TBA20: Maximum Bodentemperatur in 20 cm Tiefe
- TBI20: Minimum Bodentemperatur in 20 cm Tiefe
- TLD2: Durchschnittslufttemperatur in 2 m Höhe
- TLI2: Minimumlufttemperatur in 2 m Höhe
- TBA5: Maximumbodentemperatur in 5 cm Tiefe
- TBI5: Minimumbodentemperatur in 5 cm Tiefe
- TBA10: Maximumbodentemperatur in 10 cm Tiefe
- TBI10: Minimumbodentemperatur in 10 cm Tiefe
- TLA2: Maximumlufttemperatur in 2 m Höhe
- RT0: Anzahl der Regentage mit 0-2,9 mm Niederschlägen
- RT3: Anzahl der Regentage mit 3-9,9 mm Niederschlägen
- RT10: Anzahl der Regentage mit 10 -19,9 mm Niederschlägen
- RT20: Anzahl der Regentage mit > 20 mm Niederschlägen

Aus 17 phänologische Wochen:

AU1, AU2, JE1, JE2, JE3, JE4, MW1, MW2, MW3, KF1, KF2, KF3, KF4, KF5, KF6, KF7, SE1

Kornerträge aus 4 Regionen (Bezirk Pilsen, LK Pilsen-Süd, LK Klatovy, LK Strakonice)

Daten aus 10 Jahre (1993 bis 2002).

In der Summe ergibt sich eine Datenmenge von 2.937 Werten ( $=17 \cdot 17 \cdot 10 + 37 + 10$ ), die zur Berechnung der Korrelationsmatrix die Basis bildeten. Die Korrelationsmatrix gewährt einen Überblick über die statistisch erfassbaren Beziehungen zwischen allen Variablen und ist somit ein starkes Instrument zur Variablenselektion.

Für diese Studie waren drei Qualitäten der Korrelationsanalyse von Bedeutung:

1. die Quantifizierung der Beziehung einer Wettervariablen zum Kornertrag,
2. die Richtung dieser Beziehung + oder –,
3. die Aufdeckung von Interkorrelationen zwischen den Wettervariablen.

Die 33 Wettervariablen, die in allen 4 Regionen eine statistische Beziehung von  $> r = 0,4$  oder  $< r = -0,4$  zum Ertrag aufweisen, kommen in die engere Wahl für die Verwendung zur Ertragsschätzung. Sie werden fortan als Wirkvariablen bezeichnet,

weil die Vermutung nahe liegt, dass sie einen Einfluss auf die Ertragsbildung haben, degressiv bei negativem Vorzeichen des Korrelationskoeffizienten oder progressiv bei positivem Vorzeichen.

### 3.8.1.2 Multiple lineare Regression des Ertrages

Der Begriff der Regression kommt von lateinischen *regressio*, zu *regredi* – zurückgehen. In der Logik ist der Regress das Zurückgehen von der Wirkung zur Ursache, vom Bedingten zur Bedingung in einem Begründungsverfahren. Wenn die Bedingung ihrerseits jeweils als ein Bedingtes auf eine Bedingung zurückgeführt wird, spricht man von einer unendlichen Regression, lat. *Regressus ad infinitum*. In der Statistik und Ökonometrie ist die Regression die Aufspaltung einer Zufallsvariablen  $Y$  in einen deterministischen Teil  $f(X)$  und einen zufälligen Teil  $\varepsilon$ , wobei gilt:

$$Y = f(X) + \varepsilon \quad (\text{Regressionsfunktion}) \quad \text{Formel 3}$$

Dabei heißt  $Y$  abhängige oder endogene Variable oder Regressand,  $X$  unabhängige oder exogene Variable oder Regressor; seine möglichen Ausprägungen werden meist als vorgegeben betrachtet. Hat die Regression nur einen Regressor, spricht man von einfacher Regression, hat die Regression mehrere Regressoren, von multipler Regression:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_m) + \varepsilon \quad \text{Formel 4}$$

Regressand und Regressoren sind beobachtbar, die Zufallskomponente  $\varepsilon$  ist es nicht. Der Erwartungswert von  $\varepsilon$  wird in der praktischen Anwendung von Regressionsfunktionen meist als 0 angenommen. (BROCKHAUS, 2001).

Zur Entwicklung eines Modells zur Ertragsschätzung der Sommergerste wurde auf die Methoden der Regressionsanalyse zurückgegriffen, wie sie bei SOKAL et ROHLF (1969) und weitergehend als angewandte Regressionsanalyse bei RAWLINGS et al. (1998) beschrieben wurde. Hilfreiche Hinweise für die praktische Anwendung der Regressionsanalyse und Prüfung der Regressionsgleichung auf Tauglichkeit liefern auch KÖHLER et al. (2002) und BAHRENBERG et al. (2003).

In der Regressionsanalyse kann  $Y$  beschrieben werden als:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_m X_m + \varepsilon$$

**Formel 5**

mit  $Y =$  abhängige Variable oder Zielvariable

$X_i =$  unabhängige Variablen ( $i = 1, \dots, m$ )

$\beta_i =$  Regressionskoeffizienten ( $i = 1, \dots, m$ )

$\alpha =$  Regressionskonstante

$\varepsilon =$  Zufallsfehler.

Mittels der von GAUSS 1801 entwickelte Methode der kleinsten Quadrate, veröffentlicht durch BÖRSCH (1887), werden aus  $j$  Beobachtungsjahren mit  $j$  Kornträgen der Schätzwert der Regressionskonstanten  $a$  und die Schätzwerte der Regressionskoeffizienten  $b_i$  ermittelt. So lässt sich mit der Formel

$$\hat{Y} = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_m X_m$$

**Formel 6**

der geschätzte Ertrag  $\hat{Y}$  eines bestimmten Jahres beziffern, sofern nur die Werte für  $X_1$  bis  $X_m$  des gleichen Jahres bekannt sind. Offen bleibt hier die Frage, ob man auch Erträge schätzen darf, die aus der Menge der Beobachtungserträge herausragen, also ob man aus dem vorhandenen Datenraum heraus extrapolieren darf. RAWLINGS et al. (1998) vertraten die Ansicht, dass zur Ertragsschätzung vorausgesetzt werden sollte, dass die Daten im Datenraum verbleiben und die Bedingungen so bleiben, wie sie waren, als die Daten für die Entwicklung der Regressionsgleichung gesammelt wurden. Validierung und fortgesetzte Aktualisierung der Werte sowie eine nachvollziehbare Darstellung der Ertragsbildungsbedingungen im Modell sind essentiell für Regressionsgleichungen, die sich auch für Extrapolationen eignen.

In dieser Studie ist der Sommergerstenkorntrag des Untersuchungszeitraums die abhängige Variable  $Y$  und die Wetter- und NDVI-Werte sind die unabhängigen Variablen  $X$ . Da die Unabhängigkeit der Variablen  $X$  nicht unbedingt vorausgesetzt werden kann, können bei der Regression verschiedene, in gleiche Richtung wirkende Variable, man spricht hier von Kollinearitätsproblemen, einer sinnvollen Ertragsschätzung zuwider laufen. So korreliert z. B. die Anzahl der Regentage mit 10-19,9 mm Niederschlägen in der 2. Woche der Kornfüllungsphase mit der

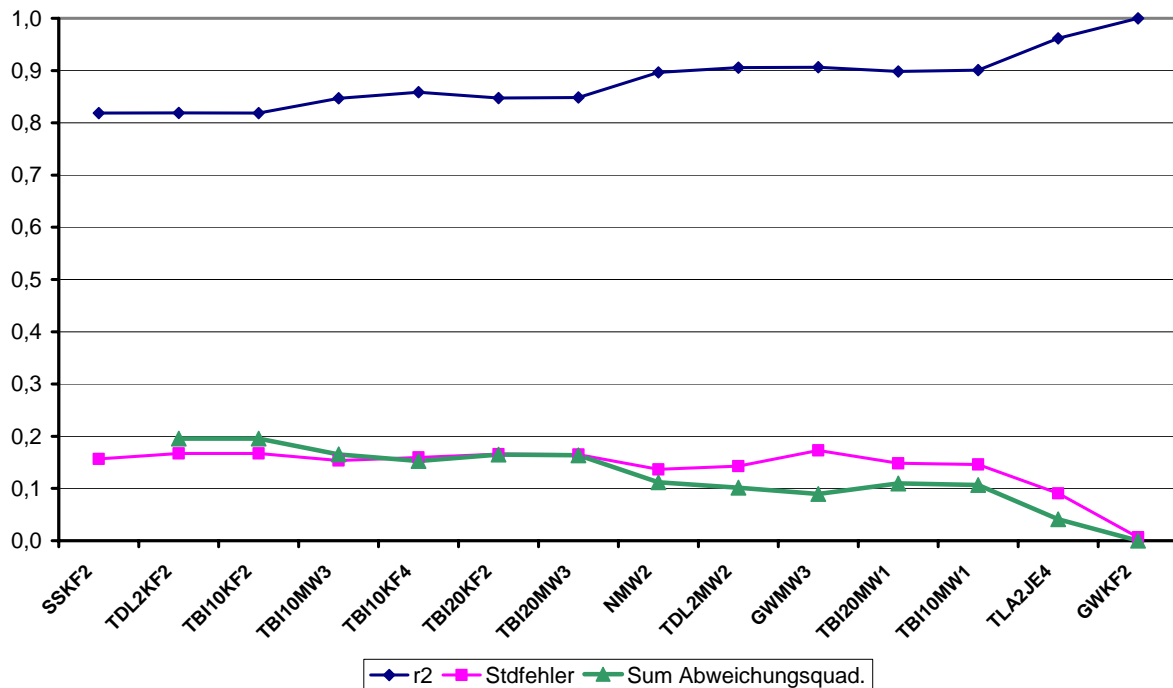
Niederschlagsmenge in mm in der 1. Woche nach der Aussaat mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,86. Würden nun beide Variablen in einer Regressionsformel Eingang finden, würde das im Anwendungsfall zu groben Über- oder Unterschätzungen des Ertrages führen, weil die Effekte der beiden Variablen sich gegenseitig verstärken. Diese Kollinearität oder Interkorrelation sollte bei der Wahl der unabhängigen Variablen ausgeschlossen werden.

Für jede Region getrennt wurden nun die 33 Wirkvariablen und 17 regionalen Variablen mit NDVI-Wochenwerten in einer Tabelle zusammengeführt und ihre Korrelation, ihr Bestimmtheitsmaß und ihr Standardfehler zum regionalen Ertrag berechnet.

Nun wurde die Variable, die das höchste Bestimmtheitsmaß zum Ertrag aufweist, in der Annahme ausgewählt, dass sie den höchsten Erklärungsbeitrag zum Ertrag liefert. In einem 2. Schritt wurde die unabhängige Variable mit dem zweitgrößten Bestimmtheitsmaß zum Ertrag in die Berechnung mit hinein genommen. Das Ergebnis entschied über den Verbleib der Variablen in der Regressionsformel. Wenn der Standardfehler anstieg oder die Summe der Abweichungsquadrate größer wurde oder das multiple Bestimmtheitsmaß kleiner wurde, dann fiel diese Variable wieder aus der Formel heraus und die Variable mit dem dritthöchsten Bestimmtheitsmaß zum Ertrag wurde in die Formel einbezogen.

In dieser Weise wurde fortgefahren, bis keine weitere Senkung des Standardfehlers oder der Summe der Abweichungsquadrate mehr mit den zur Verfügung stehenden Variablen möglich war oder bis die maximale Anzahl von Variablen, das ist die Anzahl der Jahre minus 1, ausgeschöpft war. Die **Abb. 23** zeigt beispielhaft, wie sich die Werte des Standardfehlers, der Summe der Abweichungsquadrate und des multiplen Bestimmtheitsmaßes im Laufe des Variablen-Selektions-Prozesses verändern.





**Abbildung 23: Entwicklung von Bestimmtheitsmaß, Standardfehler und Summe der Abweichungsquadrate im Laufe der Variablenselektion.**

**SSKF2**=Sonnenscheinstunden in der 2. Woche der Kornfüllung, **TDL2KF2**=ØTemperatur der Luft in 2m Höhe in der 2. Wo Kornfüllungsphase, **TBI10KF2**=Minimumtemperatur des Bodens in 10cm Tiefe in der 2. Wo Kornfüllungsphase, **TBI10MW3**=Minimumtemperatur des Bodens in 10cm Tiefe in der 3. Woche Massenwachstum, **TBI10KF4**= Minimumtemperatur des Bodens in 10cm Tiefe in der 4. Wo Kornfüllung, **TBI20KF2**= Minimumtemperatur des Bodens in 20cm Tiefe in der 2. Wo Kornfüllung, **TBI20MW3**= Minimumtemperatur des Bodens in 20cm Tiefe in der 3. Wo Massenwachstum, **NMW2**= Niederschläge in mm in der 2. Wo Massenwachstum, **TDL2MW2**= ØTemperatur der Luft in 2m Höhe in der 2. Wo Massenwachstum, **GWMW3**= ØWert der NDVI-Grauwerte der nach Corine-Landcover Ackerpixel im Bezirk Pilsen in der 3. Wo Massenwachstum, **TBI20MW1**= Minimumtemperatur des Bodens in 20cm Tiefe in der 1. Wo Massenwachstum, **TBI10MW1**=Minimumtemperatur des Bodens in 10 cm Tiefe in der 1. Wo Massenwachstum, **TLA2JE4**=Maximumtemperatur der Luft in 2m Höhe 4.Wo Jugendentwicklung, **GWKF2**= ØWert der NDVI-Grauwerte der nach Corine-Landcover Ackerpixel im Bezirk Pilsen in der 2. Wo Kornfüllung.

### 3.8.1.3 Testmethoden zur Prüfung der Regressionsgleichungen

Zur Prüfung der nach dem oben genannten Schema entwickelten Regressionsgleichungen auf ihre Zulässigkeit wurden 4 Verfahren eingesetzt.

- Schätzung der Kornerträge 1995 bis 2001 (bis 2002 im Bezirk Pilsen) mit der Regressionsgleichung (modellierte Erträge) und Vergleich mit den Angaben der Agrarstatistik.

- Schätzung der Kornerträge 1995 bis 2001 (bis 2002 im Bezirk Pilsen) auf der Basis der Regressionsgleichungen dieser Jahre, wobei das Jahr, dessen Kornertrag geschätzt werden soll, aus der Matrix der X- und Y-Werte ausgeschlossen wird. Unter diesen Bedingungen wurde für jedes Testjahr jeweils eine neue Regressionsformel erstellt, die zwar die gleichen Variablen, aber verschiedene Konstanten und Regressionskoeffizienten enthielten. Diese Methode wird auch als Taschenmesser-methode (Jackknife method) bezeichnet, weil sie aus dem Stamm an Daten eine Scheibe herauschneidet um ein Testjahr zu gewinnen (YANG und ROBINSON, 1986). Diese Berechnungen wurden als Retroprognosen bezeichnet, weil sie die Regressionen zurückliegender Jahre verwenden.
- F-Test zur Prüfung, ob das gefundene multiple Bestimmtheitsmaß zufällig ist oder nicht. Ist der berechnete F-Wert größer als der kritische F-Wert, so gilt die Regressionsgleichung als geeignet, einen Schätzwert  $\hat{Y}$  für den Kornertrag zu ermitteln (BAHRENBURG et al., 2003).
- T-Test zur Prüfung, ob die einzelnen Regressionskoeffizienten geeignet sind. Hierzu bestimmt man den Absolutwert von t für jede Variable, indem der Regressionskoeffizient durch seinen Standardfehler geteilt wird. Ist dieser Absolutwert größer als der kritische t-Wert (einseitig), so ist die Variable geeignet, den Schätzwert  $\hat{Y}$  des Kornertrags zu berechnen (BAHRENBURG et al. 2003).

### **3.8.2 Ertragsschätzung nach über Phänophasen aggregierten Daten (Methode Schelling)**

Wie SCHELLING et al. (2003) ausführten, können Sommergerstenkornerträge auch über nach phänologischen Phasen aggregierten Wetterdaten geschätzt werden. Nach seinem Beispiel wurden nun die in der Wetterdatenbank erfassten und nach phänologischen Daten neu gruppierten Wetterwerte über Phänophasen aggregiert. Folgende unabhängige Variablen standen nun für eine Ertragsschätzung als Datenbasis zur Verfügung:

- VSL = Länge der Vorsaatchase in Tagen vom 1. Januar des Jahres bis zur Aussaat,
- DTAU= aggregierte Durchschnittstemperatur während des Auflaufens
- DTVS= aggregierte Durchschnittstemperatur während der Vorsaatchase
- DTJE= aggregierte Durchschnittstemperatur während der Jugendentwicklung
- DTMW= aggregierte Durchschnittstemperatur während des Massenwachstums
- DTKF= aggregierte Durchschnittstemperatur während der Kornfüllungsphase
- NDSVS= Niederschlagssumme während der Vorsaatchase
- NDSAU= Niederschlagssumme während des Auflaufens
- NDSJE= Niederschlagssumme während der Jugendentwicklung
- NDSMW= Niederschlagssumme während des Massenwachstums
- NDSKF= Niederschlagssumme während der Kornfüllungsphase
- NDSGES=Niederschlagssumme Gesamt vom 1. Januar bis zur Gelbreife.

Die bei SCHELLING verwendeten Variablen *Crop water stress index (CWSI)* und die *durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit (DLF)* sind nicht Bestandteil der agrarmeteorologischen Wochenberichte in Tschechien und wurden deshalb nicht einbezogen. Die Variablen *Länge der phänologischen Phasen* waren durch die Standardisierung der Phänophasen auf alljährlich gleiche Länge konstante Größen geworden und somit nicht mehr als Variablen sinnvoll verwendbar. Auf eine Trendbereinigung der Erträge und Berechnung der Relativerträge wurde für das tschechische Untersuchungsgebiet verzichtet, weil in den Jahren der Stichprobe von 1993 bis 2002 kein positiver Trend in den Erträgen festzustellen war.

Zur Konstruktion der Regressionsgleichung wurde wie im Abschnitt 3.8.1.2 vorgegangen. Zur Validierung wurden die modellierten Erträge und die (retro)prognostizierten Erträge berechnet und auch der F-Test und der T-Test durchgeführt.

### 3.8.3 Regressionsanalyse des Kornertrags aus Wetter- und Satellitendaten mittels des Statistikprogrammes SPSS®

Die Software „Statistical Package for the Social Sciences“ kurz SPSS erlaubt eine fundierte Variablenselektion nach vom Anwender gewählten Kriterien. Mit Hilfe dieses Programms wurden noch 8 weitere Regressionsgleichungen zur Schätzung des Kornertrages im Bezirk Pilsen entwickelt. Hier wurde von einer landkreisweisen Ertragsschätzung abgesehen.

- Modell 1 = Regression des geschätzten Kornertrages  $\hat{Y}$  aus den Wirkvariablen und NDVI-Wochenwerten, Irrtumswahrscheinlichkeit bei 0,5, Variablenselektion vorwärts, nur 1 Variable wird ausgewählt.
- Modell 2 = Regression von  $\hat{Y}$  aus den Wirkvariablen und NDVI-Wochenwerten, Irrtumswahrscheinlichkeit bei 0,5, Variablenselektion vorwärts, 2 Variablen werden ausgewählt.
- Modell 3 = Regression von  $\hat{Y}$  aus den Wirkvariablen und NDVI-Wochenwerten, Irrtumswahrscheinlichkeit bei 0,5, Variablenselektion vorwärts, 3 Variablen werden ausgewählt.
- Modell 4 = Regression von  $\hat{Y}$  aus den Wirkvariablen und NDVI-Wochenwerten, Irrtumswahrscheinlichkeit bei 0,5, Variablenselektion vorwärts, 4 Variablen werden ausgewählt.
- Modell 5 = Regression von  $\hat{Y}$  aus allen Wettervariablen und NDVI-Wochenwerten, Irrtumswahrscheinlichkeit bei 0,5, Variablenselektion vorwärts, schrittweise, 1 Variable wird ausgewählt.
- Modell 6 = Regression von  $\hat{Y}$  aus den Wirkvariablen und NDVI-Wochenwerten, Irrtumswahrscheinlichkeit bei 0,5, Variablenselektion rückwärts, 5 Variablen werden ausgewählt.
- Modell 7 = Regression von  $\hat{Y}$  aus allen Wettervariablen und NDVI-Wochenwerten, Irrtumswahrscheinlichkeit bei 0,5, Variablenselektion rückwärts, 5 Variablen werden ausgewählt.

- Modell 10 = Regression von  $\hat{Y}$  aus allen Wettervariablen ohne NDVI-Wochenwerten, Irrtumswahrscheinlichkeit bei 0,5, Variablenselektion rückwärts, 9 Variablen werden ausgewählt.

Die Namen Modell 8 (Schilling-Methode) und Modell 9 (Schelling-Methode) wurden in dieser Liste nicht vergeben. Sie sind reserviert für die in den Kapiteln 3.8.1 und 3.8.2 beschriebenen Methoden.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Regionale Anbauflächenschätzung durch Satellitenbildauswertung

#### 4.1.1 Genauigkeit der Klassifikation

Die Genauigkeit der Klassifikation wird üblicherweise in einer Konfusionsmatrix dargestellt. Das Programm ECOGNITION© bietet zwei Darstellungsformen an, die *Errormatrix based on Samples* und die *Errormatrix based on TTA-Mask*. Die Methode *Errormatrix based on TTA-Mask* prüft Pixel für Pixel, in welche Landnutzungsclassen die Prüfparzellen eingruppiert wurden und gibt eine Konfusionsmatrix als Ergebnis dieser Prüfung aus. Wenn man aber die Pixel der Prüfparzellen zunächst dem Segment zuordnet, das sich an der gleichen geografischen Position befindet wie das Pixel aus der Prüfmatrix, so gewinnt man Sample-Objekte, deren Eingruppierung nun auf Richtigkeit geprüft werden kann. Diese Methode wurde hier gewählt. Die **Abbildungen 24 bis 27** geben die Konfusionsmatrizen der 4 Klassifikationen wieder.

Error Matrix based on Samples							
User Class \ Sample	SG	SG m.U.	Triticale	Erbse	WW	Hafer	Sum
<b>Confusion Matrix</b>							
SG	55	0	0	0	0	0	55
SG m.U.	0	15	0	0	0	0	15
Triticale	0	0	8	0	0	0	8
Erbse	0	0	0	13	0	0	13
WW	0	0	0	0	43	0	43
Hafer	0	0	0	0	0	10	10
unclassified	0	0	0	0	0	0	0
Sum	55	15	8	13	43	10	
<b>Accuracy</b>							
Producer	1	1	1	1	1	1	
User	1	1	1	1	1	1	
Hellden	1	1	1	1	1	1	
Short	1	1	1	1	1	1	
KIA Per Class	1	1	1	1	1	1	
<b>Totals</b>							
<b>Overall Accuracy</b>	<b>1</b>						
<b>KIA</b>	<b>1</b>						

Abbildung 24: Konfusionsmatrix der Klassifikation auf Basis des Landsat-Gesamtbildes 2001. (vergl. Tab. 10 und Kap. 3.6.2.3). Sommergerste (SG) mit Untersaaten (m.U.), Winterweizen (WW), Kappa Index of Agreement (KIA).

Error Matrix based on Samples							
User Class \ Sample	SG	SG m.U.	Triticale	Erbse	WW	Hafer	Sum
<b>Confusion Matrix</b>							
SG	31	0	0	0	0	0	31
SG m.U.	0	14	0	0	0	0	14
Triticale	0	0	6	0	0	0	6
Erbse	0	0	0	20	0	0	20
WW	0	0	0	0	55	0	55
Hafer	0	0	0	0	0	8	8
unclassified	0	0	0	0	0	0	0
Sum	31	14	6	20	55	8	
<b>Accuracy</b>							
Producer	1	1	1	1	1	1	
User	1	1	1	1	1	1	
Hellden	1	1	1	1	1	1	
Short	1	1	1	1	1	1	
KIA Per Class	1	1	1	1	1	1	
<b>Totals</b>							
<b>Overall Accuracy</b>	<b>1</b>						
<b>KIA</b>	<b>1</b>						

Abbildung 25: Konfusionsmatrix der Klassifikation auf Basis des Gesamtbildes 2001 (vergl. Tab. 9). Sommergerste (SG) mit Untersaaten (m.U.), Winterweizen (WW), Kappa Index of Agreement (KIA).

Error Matrix based on Samples							
User Class \ Sample	SG	SGU	Triticale	Erbse	WW	Hafer	Sum
<b>Confusion Matrix</b>							
SG	29	0	0	0	0	0	29
SGU	0	5	0	0	0	0	5
Triticale	0	0	6	0	0	0	6
Erbse	0	0	0	1	0	0	1
WW	0	0	0	0	29	0	29
Hafer	0	0	0	0	0	8	8
unclassified	0	0	0	0	0	0	0
Sum	29	5	6	1	29	8	
<b>Accuracy</b>							
Producer	1	1	1	1	1	1	
User	1	1	1	1	1	1	
Hellden	1	1	1	1	1	1	
Short	1	1	1	1	1	1	
KIA Per Class	1	1	1	1	1	1	
<b>Totals</b>							
<b>Overall Accuracy</b>	<b>1</b>						
<b>KIA</b>	<b>1</b>						

Abbildung 26: Konfusionsmatrix der Klassifikation auf Basis des Landsat-Gesamtbildes 2002 (vergl. Tab. 12). Sommergerste (SG) mit Untersaaten (m.U.), Winterweizen (WW), Kappa Index of Agreement (KIA).

Error Matrix based on Samples							
User Class \ S...	SG	SGU	Triticale	Erbse	WW	Hafer	Sum
<b>Confusion M...</b>							
SG	69	0	0	0	0	0	69
SGU	0	11	0	0	0	0	11
Triticale	0	0	9	0	0	0	9
Erbse	0	0	0	5	0	0	5
WW	0	0	1	0	67	0	68
Hafer	0	0	0	0	0	14	14
unclassified	2	2	3	0	9	2	18
Sum	71	13	13	5	76	16	
<b>Accuracy</b>							
Producer	0.9718	0.8462	0.6923	1	0.8816	0.875	
User	1	1	1	1	0.9853	1	
Hellden	0.9857	0.9167	0.8182	1	0.9306	0.9333	
Short	0.9718	0.8462	0.6923	1	0.8701	0.875	
KIA Per Class	0.9563	0.8369	0.6773	1	0.8177	0.8653	
<b>Totals</b>							
<b>Overall Accu...</b>	<b>0.902</b>						
<b>KIA</b>	<b>0.8638</b>						

Abbildung 27: Konfusionsmatrix der Klassifikation auf Basis des Gesamtbildes 2002, 6 Termine, 16 Kanäle (vergl. Tab. 11). Sommergerste (SG) mit Untersaaten (m.U.), Winterweizen (WW), Kappa Index of Agreement (KIA).

Dazu ist anzumerken, dass diese hohe Genauigkeit auch erst nach der Hauptkomponententransformation zu verzeichnen war, die alle redundanten Informationen aus den beteiligten Kanälen herausrechnet. Mit den verbliebenen Vektoren ist eine schärfere Charakterisierung der Klassen durch *best separation distance* möglich. Ein Nachteil des Verfahrens ist, dass in allen Bändern Werte vorhanden sein müssen, um die optimierten Werte zu berechnen. Hat ein Objekt in einigen Bändern keine Werte, weil wie hier 2 Aster-Szenen eine schmalere Streifenbreite haben als die anderen Satellitenbilder im Gesamtbild\_2002, kann es keiner Klasse zugeordnet werden und bleibt unklassifiziert. Das ist der Grund, warum in der Konfusionsmatrix **Abbildung 27** achtzehn Prüfobjekte unklassifiziert blieben.

Bei der Analyse der Klassifikationen wurde nach den Gründen gesucht, warum die beiden Landsat-Gesamtbilder 2001 und 2002 mit 10 bzw. 12 Spektralkanälen aus 2 Aufnahmeterminen ebenso gute oder bessere Klassifikationen liefern als die beiden multitemporalen Gesamtbilder, die aus 4 respektive 6 Aufnahmeterminen stammen. Die Statistik der Überlappungen in den Werten zwischen den Klassen in den beteiligten Bändern und virtuellen Bändern zeigt, dass gerade in den sonst in der Zustandsbeschreibung von Pflanzen weniger wichtig erachteten Bandbreiten blau 450 bis 520nm und MIR 1.550 bis 1.750nm die geringsten Überlappungen zwischen den sonst sehr ähnlichen Kulturpflanzen bestehen. Diese Bänder sind aber nur bei den Landsat-Gesamtbildern verwendet worden. Bei den multitemporalen Gesamtbildern haben die Spektralwerte in der Bandbreite grün 520-600 nm sowie die NDVI-Werte der Aufnahmetermine bei der Differenzierung der Klassen und der Zuordnung der Objekte zu einer bestimmten Klasse den größten Beitrag geleistet. Die Bedeutung der möglichst geringen Überlappung zeigt sich auch bei der Hauptkomponententransformation, denn dabei werden genau die Kanäle zur Vektorberechnung herangezogen, die das geringste *Overlapping* zu den Nachbarklassen zeigen.

So kann als Ergebnis dieser Untersuchung festgehalten werden, dass eine größere Anzahl von Kanälen aus wenigen Aufnahmeterminen genauso gute oder bessere Klassifikationsergebnisse hervorbringen können als wenige Kanäle aus mehreren Aufnahmeterminen. Oder kurz gesagt: **multispektral substituiert multitemporal**.



#### 4.1.2 Anbaufläche pro Landkreis

Da alle Trainingsflächen und alle Testflächen aus nur drei (im Jahre 2001 vier) landwirtschaftlichen Betrieben stammen, ist das bisher bearbeitete Spektrum an Mustern relativ eng. Dies ist auch ein Grund für die hohe Genauigkeit in der Konfusionsmatrix. Die Frage, ob man aus diesem engen Raum heraus in alle Ackerflächen der betrachteten Landkreise extrapolieren darf, ist hier nicht ohne Belang. Jedenfalls ist nicht davon auszugehen, dass die Trainingsflächen vollständig repräsentativ für die ganze Region sind. Die Flächenschätzungen auf Basis der multitemporalen Gesamtbilder 2001 und 2002 erbrachten vor der Hauptkomponententransformation erhebliche Überschätzungen der Sommergersteanbaufläche um mehr als 100%, nach der Hauptkomponententransformation erhebliche Unterschätzungen der Anbaufläche auf 0 - 10%. Aus diesem Grunde wurde die Anbauflächenschätzung auf Basis der multitemporalen Gesamtbilder verworfen. Die Anbauflächenschätzung auf Basis der bitemporalen Landsat-Gesamtbilder brachte folgende Ergebnisse (**Tabelle 14**):

**Tabelle 14: statistisch erfasste und fernerkundlich detektierte Anbaufläche Sommergerste in 3 Landkreisen 2001 und 2 Landkreisen 2002.**

Landkreise	Agrarstatistik 2001 (ha)	geschätzte Anbaufläche 2001 (ha)	geschätzte Anbaufläche 2002 (ha)
Pilsen-Süd	5.184	5.190	-
Klatovy	5.361	5.390	6.210
Strakonice	3.799	3.840	3.260

Wegen der Neustrukturierung der Agrarstatistik im Zuge der Anpassung an die Europäische Gemeinschaft gibt es seit dem Jahre 2002 keine Anbauflächen-erfassung auf Landkreisebene mehr, sondern nur noch auf Bezirks- und nationaler Ebene. Für das Jahr 2002 war somit keine Verifikation der Schätzwerte mit der Agrarstatistik vorgenommen worden. Für den Landkreis Pilsen-Süd konnte auch kein Schätzwert ermittelt werden, weil die beiden Landsat 7 Szenen nur den südlichen Teil des Landkreises abbildeten.

## 4.2 Schätzung der phänologischen Phasen

Der nach der in Abschnitt 3.7 aufgezeigten Methode geschätzte Ablauf der pflanzlichen Entwicklung der Sommergerste in den Jahren 1993 bis 2003 führte zu den in **Tabelle 15** aufgeführten Ergebnissen.

**Tabelle 15: Modellierte Daten von Aussaat, Auflaufen, Schossen, Ährenschieben, Gelbreife und Ernte 1993 bis 2003.**

Jahr	AUSSAAT	AUFL.	SCHOSSEN	ÄHRENSCH.	GELBR.	ERNTE
1993	5.4.	19.4.	17.5.	7.6.	26.7.	16.8.
1994	11.4.	24.4.	23.5.	13.6.	1.8.	21.8.
1995	17.4.	1.5.	29.5.	19.6.	7.8.	27.8.
1996	15.4.	29.4.	27.5.	17.6.	5.8.	25.8.
1997	14.4.	28.4.	26.5.	16.6.	4.8.	24.8.
1998	6.4.	20.4.	18.5.	8.6.	27.7.	16.8.
1999	12.4.	26.4.	24.5.	14.6.	2.8.	22.8.
2000	27.3.	10.4.	8.5.	29.5.	17.7.	6.8.
2001	16.4.	30.4.	28.5.	18.6.	6.8.	26.8.
2002	1.4.	15.4.	13.5.	3.6.	22.7.	11.8.
2003	31.3.	14.4.	12.5.	2.6.	21.7.	10.8.

## 4.3 Ertragsschätzung

### 4.3.1 Ertragsschätzung mittels Wochenwetterdaten und Satellitendaten

Wie in Kapitel 3.8.1.2 dargelegt, wurden die Regressionsgleichungen zur Ertragsschätzung entwickelt und getestet. Anhang Tabelle A9 und A10 listen die Werte auf, die in den Variablen enthalten sind.

Die Regressionsgleichungen sind:

1. Für den Sommergerstenkornenertrag im Bezirk Pilsen:

$$\hat{Y} = 4,69147654 + (-0,010557639*SSKF2) + (-0,056924618*TBI10MW3) \\ + (-0,010402184*NMW2) + (-0,049586119*TLA2JE4) \\ + (0,006960019*GWKF2)$$

$\hat{Y}$  = Schätzwert für den Kornenertrag in t ha<sup>-1</sup>

4,69147654 = Regressionskonstante für die Ertragsschätzung im Bezirk Pilsen

SSKF2 = Anzahl der Sonnenscheinstunden in der 2. Woche der Kornfüllung

TBI10MW3 = Minimumtemperatur des Bodens in 10 cm Tiefe in der 3. Woche des Massenwachstums

NMW2 = Niederschlagsmenge in mm in der 2. Woche des Massenwachstums

TLA2JE4 = Maximumtemperatur der Luft in 2 m Höhe in der 4. Woche der Jugendentwicklung

GWKF2 = mittlerer Grauwert für Ackerpixel nach Corine-Landcover Klasse 12 - nicht bewässertes Ackerland - im Bezirk Pilsen der NDVI-MVC Karte in der 2. Woche der Kornfüllungsphase

### 2. Für den Sommergerstenkornenertrag in Landkreis Pilsen-Süd:

$$\hat{Y} = 2,75114085 + (-0,124400806 * TLA2JE4) + (0,003778167 * SSKF2) \\ + (-0,011205251 * NMW2) + (0,015764615 * GWJE3) \\ + (0,0514777 * TBI10MW3)$$

GWJE3 = mittlerer Grauwert für Ackerpixel nach Corine-Landcover Klasse 12 - nicht bewässertes Ackerland - im Landkreis Pilsen-Süd der NDVI-MVC-Karte in der 3. Woche der Jugendentwicklung

### 3. Für den Sommergerstenkornenertrag in Landkreis Klatovy:

$$\hat{Y} = -2,17765153 + (-0,03341235 * TDL2MW2) + (0,00797799 * TBI10MW2) \\ + (0,23747319 * TBI20MW2) + (0,015733363 * GWKF1)$$

TDL2MW2 = Durchschnittstemperatur der Luft in der 2. Woche des Massenwachstums

TBI10MW2 = Minimumtemperatur des Bodens in 10 cm Tiefe in der 2. Woche des Massenwachstums

TBI20MW2 = Minimumtemperatur des Bodens in 20 cm Tiefe in der 2. Woche des Massenwachstums

GWKF1 = mittlerer Grauwert für Ackerpixel nach CORINE-LANDCOVER® Klasse 12 – nicht bewässertes Ackerland – im Landkreis Klatovy der NDVI-MVC-Karte in der 1. Woche Kornfüllungsphase

### 4. Für den Sommergerstenkornenertrag im Landkreis Strakonice:

$$\hat{Y} = 5,421759098 + (-0,083303092 * TBI10KF4) + (-0,016303262 * RT3MW2) \\ + (-0,004223882 * GWKF7)$$

TBI10KF4 = Minimumtemperatur des Bodens in 10 cm Tiefe in der 4. Woche Kornfüllungsphase

RT3MW2 = Anzahl der Regentage mit 3 - 9,9 mm Niederschlägen in der 2. Woche Massenwachstum

GWKF7 = mittlerer Grauwert für Ackerpixel nach Corine-Landcover Klasse 12- nicht bewässertes Ackerland- im Landkreis Strakonice der NDVI-MVC-Karte in der 7. Woche der Kornfüllung

### Modellierte Erträge für die Jahre 1995 bis 2002

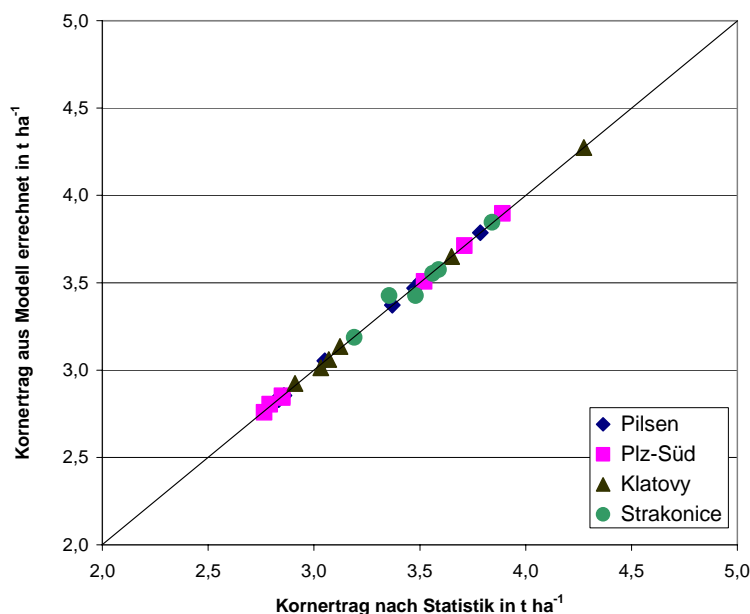
Werden die oben angeführten Regressionsgleichungen angewandt, um die regionalen Kornerträge zu schätzen, so erhält man die in **Tabelle 16** genannten Schätzwerte. Die **Abbildung 28** stellt Schätzwerte und statistische Daten gegenüber.

**Tabelle 16: modellierte Sommergerstenkornerträge  $\hat{Y}$  und statistisch erfasste SG-Kornerträge  $Y$  [ $t\ ha^{-1}$ ] in den tschechischen Regionen Bezirk Pilsen, Landkreis Pilsen-Süd, Landkreis Klatovy und Landkreis Strakonice.**

JAHR	$\hat{Y}$		$Y$		$\hat{Y}$		$Y$	
	Pilsen	Pilsen	Plz-Süd	Plz-Süd	Klatovy	Klatovy	Strakonice	Strakonice
1995	2,86	2,85	2,76	2,76	2,95	*	3,33	*
1996	3,79	3,79	3,71	3,71	4,27	4,27	3,84	3,85
1997	3,51	3,51	3,89	3,90	3,03	3,01	3,59	3,58
1998	3,05	3,05	2,85	2,85	3,12	3,14	3,36	3,43
1999	3,48	3,47	3,52	3,51	3,65	3,65	3,48	3,43
2000	2,83	2,83	2,85	2,84	3,07	3,06	3,19	3,19
2001	2,82	2,82	2,79	2,80	2,91	2,92	3,56	3,55
2002	3,37	3,37	**	3,11	**	3,79	**	3,47

\* es standen keine Grauwerte für die KF1 und KF7 im Jahre 1995 zur Verfügung, deshalb konnten keine  $\hat{Y}$  für diese Jahre errechnet werden.

\*\* seit Ende 2001 gibt es keine agrarstatistischen Erhebungen auf NUTS IV- Ebene.



**Abbildung 28: Vergleich der statisch erfassten mit den modellierten Kornerträgen in vier Regionen.**

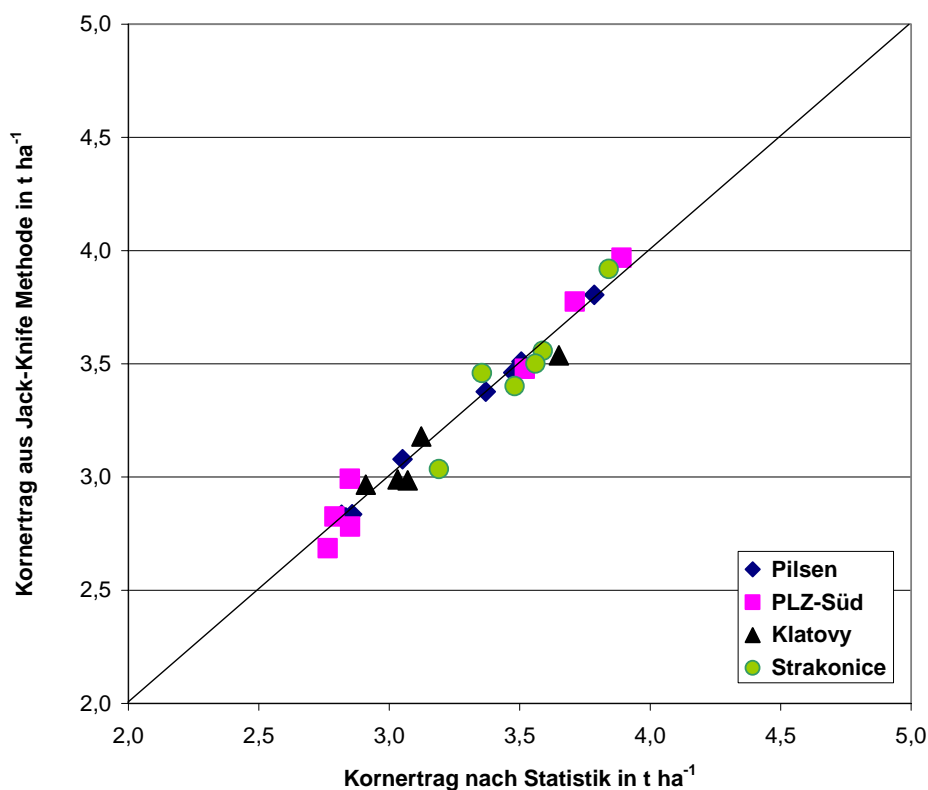
### Geschätzte Erträge nach Jackknife-Methode

Vergleiche dazu Kapitel 3.8.1.3 Testmethoden

**Tabelle 17: Schätzung der Sommergerstenerträge im Bezirk Pilsen und den Landkeisen Pilsen-Süd, Klatovy und Strakonice mit den selektierten Variablen ohne das Schätzjahr im Datenvorrat (XY-Space).**

$Y$ =Kornertrag nach Statistik,  $RP\hat{Y}$ = Retroprognostizierter Ertrag.

JAHR	Y Pilsen	$RP\hat{Y}$ Pilsen	Y Plz-Süd	$RP\hat{Y}$ Plz-Süd	Y Klatovy	$RP\hat{Y}$ Klatovy	Y Strakonice	$RP\hat{Y}$ Strakonice
1995	2,86	2,84	2,76	2,69	2,95	-	3,33	-
1996	3,79	3,80	3,71	3,78	4,27	151,83	3,84	3,92
1997	3,51	3,51	3,89	3,97	3,03	2,99	3,59	3,56
1998	3,05	3,08	2,85	2,99	3,12	3,18	3,36	3,46
1999	3,48	3,46	3,52	3,48	3,65	3,54	3,48	3,40
2000	2,83	2,82	2,85	2,78	3,07	2,99	3,19	3,03
2001	2,82	2,83	2,79	2,83	2,91	2,97	3,56	3,50
2002	3,37	3,38	-	-	-	-	-	-



**Abbildung 29: Vergleich der statistisch erfassten mit den retro-prognostizierten Kornerträgen in vier Regionen.**

Die **Abbildung 29** stellt die Wertepaare aus der **Tabelle 17** graphisch dar. Nur das Wertepaar Klatovy 1996 ist hier nicht abgebildet, weil der prognostizierte Ertrag mit  $151 \text{ t ha}^{-1}$  außerhalb jeder Erwartung liegt und somit die Prognosemethode für den

Landkreis Klatovy nicht geeignet ist. Alle übrigen Werte weichen nur wenig von der 45° Achse (1:1 Beziehung) ab.

### **F-Tests zur Bewertung der Zulässigkeit der Regressionsformeln:**

Zur Ergebnisprüfung wird die Hypothese aufgestellt, dass der Zusammenhang zwischen den Erträgen und den Wetter- bez. NDVI-Variablen nur zufällig sei und eigentlich kein Zusammenhang bestehe zwischen X und Y-Werten. Um die Wahrscheinlichkeit zu beschreiben, mit der irrtümlich ein Zusammenhang ermittelt wird, wird die Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  verwendet. Die nachfolgende **Tabelle 18** führt die F-Werte der Regressionsgleichungen und die kritischen F-Werte (einseitig) für  $\alpha = 0,05$  und  $\alpha = 0,025$  an.  $v_1$  ist die Zahl der X-Variablen in der Regressionsgleichung und  $v_2$  ist die Zahl der Stichprobenjahre minus der (Zahl der X-Variablen +1).

**Tabelle 18: F-Werte der Regressionsgleichungen zur Schätzung der Sommergerstenkornträge im Bezirk Pilsen und den Landkreisen Pilsen-Süd, Klatovy und Strakonice und kritische F-Werte lt. F-Tabelle (vergl. Kapitel 3.8.1.3 Testmethoden).  $v_1$  ist die Zahl der X-Variablen in der Regressionsgleichung und  $v_2$  ist die Zahl der Stichprobenjahre minus der (Zahl der X-Variablen +1).**

Region	F-Wert der Regression			Kritischer F-Wert	
		$v_1$	$v_2$	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,025$
Pilsen	4496	5	2	19,3	39,3
PLZ-Süd	567	5	1	230,2	921,8
Klatovy	453	4	1	224,6	899,6
Strakonice	19,30	3	2	19,16	39,17

Die F-Werte der Regressionsgleichungen in der 2. Spalte sind größer als die kritischen F-Werte in der 5. Spalte. Die Irrtumswahrscheinlichkeit liegt also unter 5%, in der Region Pilsen sogar unter 2,5%. Daher sind die gefundenen Regressionsgleichungen mit mindestens 95%iger Wahrscheinlichkeit geeignet, den Schätzwert des regionalen Korntrages zu ermitteln. Die Tabelle 18 zeigt auch, dass die Schätzungen für die größere Region Pilsen vertrauenswürdiger sind als für die Landkreise, was wohl in erste Linie an der größeren Stichprobe liegt, Zufälligkeiten werden so verringert.

### **T-Test zur Bewertung der Zulässigkeit der Variablen**

Die Zulässigkeit der Variablen in einer Regressionsgleichung wird anhand der bei der Regressionsanalyse errechneten Regressionskoeffizienten und ihrer Standardfehler ermittelt. Teilt man den Regressionskoeffizienten durch seinen Standardfehler so erhält man den T-Wert, durch Negation des Vorzeichens den Absolutwert von T. Aus der T-Tabelle werden die kritischen T-Werte (einseitig) für die Signifikanzniveaus 60%, 80% und 95% entnommen und mit den absoluten T-Werten verglichen.

Die **Tabelle 19** zeigt, dass nur bei der Regressionsanalyse für den Bezirk Pilsen alle Variablen mit einem Signifikanzniveau von über 95% geeignet sind. In den Landkreisen sind die Vertrauenswahrscheinlichkeiten bedeutend geringer. Im Landkreis Klatovy erreicht keine der selektierten Variablen das Signifikanzniveau von 95 %, deshalb ist es auch folgerichtig, dass die Jackknife-Methode für das Jahr 1996 eine grobe Fehleinschätzung des Sommergerstenkornenertrages von 151 t ha<sup>-1</sup> erbracht hat.

Geringer Schätzgenauigkeiten in den Landkreisen sind auch deshalb zu erwarten, weil die Anbaufläche für Sommergerste nur bei etwa 5.000 ha liegt, dass sind bei der Größe der tschechischen Felder nur rund 100 Parzellen in ca. 7 Betrieben. So können auch die Entscheidungen nur weniger Betriebsleiter für ökonomisch bedingte Änderungen im Anbauverfahren, Sortenwahl, Anbauumfang und Fruchtfolge eine große Auswirkung auf die Produktion des ganzen Landkreises haben, was sich einer Schätzung mittels Wetter- und NDVI-Daten entzieht. Diese Einflüsse sind auf Bezirksebene geringer, weil sie sich gegenseitig ausgleichen können.

Auch die Zahl der Stichprobenjahre ist in den Landkreisen um 1 geringer, was eine geringere Schätzgenauigkeit erwarten lässt.

Tabelle 19: Die verwendeten Variablen und ihre Signifikanzniveaus, &gt;95% fett gedruckt.

Region Variable	absoluter T-Wert	Frei heits- grade	Kritischer T-Wert 60%	Kritischer T-Wert 80%	Kritischer T-Wert 95%	Signifikanz- niveau der Variablen
<b>Pilsen</b>						
SSKF2	52,7	2	0,289	1,061	2,920	<b>0,9998</b>
TBI10MW3	12,6	2	0,289	1,061	2,920	<b>0,9969</b>
NMW2	29,6	2	0,289	1,061	2,920	<b>0,9994</b>
TLA2JE4	36,2	2	0,289	1,061	2,920	<b>0,9996</b>
GWKF2	27,5	2	0,289	1,061	2,920	<b>0,9993</b>
<b>Pilsen-Süd</b>						
TLA2JE4	22,3	1	0,325	1,376	6,314	<b>0,9857</b>
SSKF2	3,5	1	0,325	1,376	6,314	0,9108
NMW2	7,0	1	0,325	1,376	6,314	<b>0,9546</b>
GWJE3	12,1	1	0,325	1,376	6,314	<b>0,9737</b>
TBI10MW3	3,036	1	0,325	1,376	6,314	0,8987
<b>Klatovy</b>						
TDL2MW2	0,48	1	0,325	1,376	6,314	0,6417
TBI10MW2	0,03042	1	0,325	1,376	6,314	0,5097
TBI20MW2	1,26	1	0,325	1,376	6,314	0,7859
GWKF1	1,25	1	0,325	1,376	6,314	0,7849
<b>Strakonice</b>						
TBI10KF4	3,99	2	0,289	1,061	2,920	<b>0,9713</b>
RT3MW2	0,415	2	0,289	1,061	2,920	0,6406
GWKF7	2,088	2	0,289	1,061	2,920	0,9140



### 4.3.2 Ertragsschätzung nach über Phänophasen aggregierten Daten (Methode Schelling)

Die Regressionsformeln zur Schätzung der regionalen Sommergerstenerträge sind im Folgenden aufgeführt. Die Zahlenwerte zu den selektierten Variablen finden sich in der Anhangtabelle A 11.

#### Bezirk Pilsen

$\hat{Y} =$	3,94697061		
+	-0,00149184	DTVS	Durchschnittstemperatur Vorsaatphase
+	-0,00804046	NDSMW	Niederschlagssumme Massenwachstumsphase
+	-0,00066973	NDSGES	Niederschlagssumme gesamt

#### Landkreis Pilsen-Süd

$\hat{Y} =$	2,18535467		
+	-0,02023448	NDSMW	Niederschlagssumme Massenwachstumsphase
+	-0,00230504	DTVS	Durchschnittstemperatur Vorsaatphase
+	-0,00309167	DTMW	Durchschnittstemperatur Massenwachstumsph
+	0,0024772	DTKF	Durchschnittstemperatur Kornfüllungsphase
+	0,00959436	VSL	Länge der Vorsaatphase

#### Landkreis Klatovy

$\hat{Y} =$	1,50784417		
+	0,00579152	DTMW	Durchschnittstemperatur Massenwachstumsph.
+	0,00039799	DTVS	Durchschnittstemperatur Vorsaatphase
+	-0,00296934	NDSVS	Niederschlagssumme Vorsaatphase
+	0,00709425	NDSJE	Niederschlagssumme Jugendentwicklung

#### Landkreis Strakonice

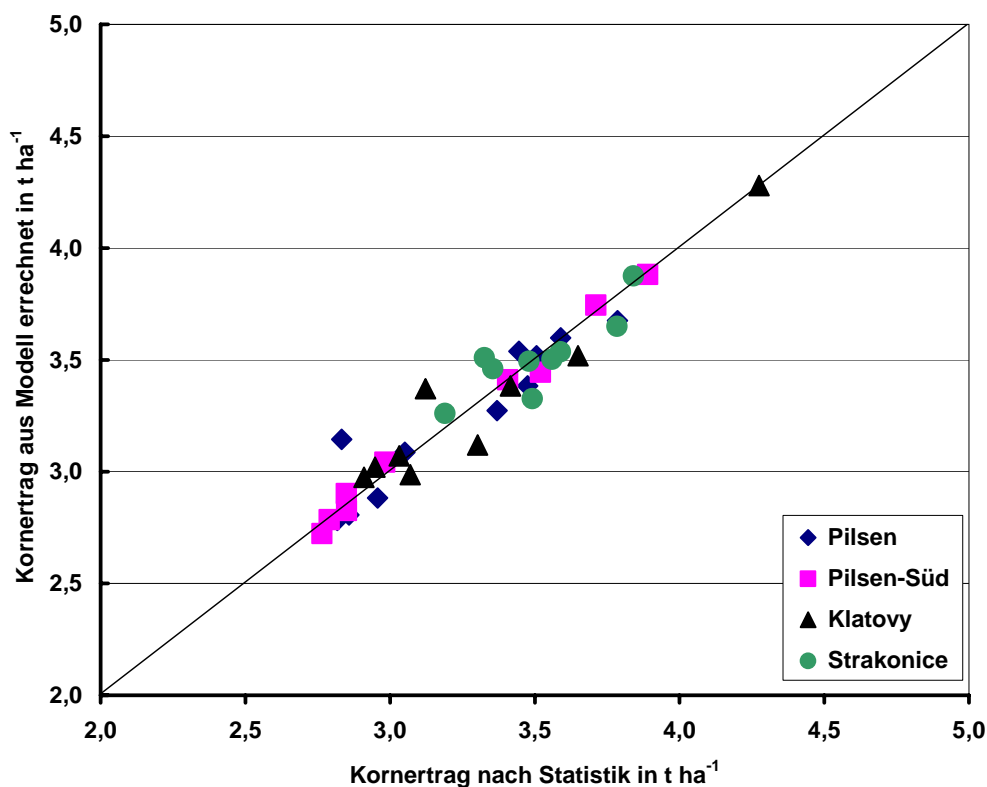
$\hat{Y} =$	3,69475127		
+	-0,00090766	DTVS	Durchschnittstemperatur Vorsaatphase
+	-0,00327402	NNSAU	Niederschlagssumme Auflaufphase

Stellt man nun die statistisch erfassten den aus den oben genannten Formeln errechneten Erträgen gegenüber, so ergibt sich folgendes Bild, **Tabelle 20** und **Abb.30**:

**Tabelle 20: Vergleich der statistisch erfassten (Y) mit den nach der Methode Schelling geschätzten ( $\hat{Y}$ ) Sommergerstenkornträgen [t ha<sup>-1</sup>] im Bezirk Pilsen und in den Landkreisen Pilsen-Süd, Klatovy und Strakonice.**

Jahr	Pilsen Y	Pilsen $\hat{Y}$	Pilsen-Süd Y	Pilsen-Süd $\hat{Y}$	Klatovy Y	Klatovy $\hat{Y}$	Strakonice Y	Strakonice $\hat{Y}$
1993	3,45	3,54	3,41	3,41	3,42	3,38	3,78	3,65
1994	2,96	2,88	2,98	3,04	3,30	3,12	3,49	3,33
1995	2,86	2,81	2,76	2,72	2,95	3,02	3,33	3,51
1996	3,79	3,68	3,71	3,75	4,27	4,28	3,84	3,88
1997	3,51	3,52	3,89	3,88	3,03	3,07	3,59	3,54
1998	3,05	3,09	2,85	2,90	3,12	3,37	3,36	3,46
1999	3,48	3,38	3,52	3,45	3,65	3,52	3,48	3,49
2000	2,83	3,14	2,85	2,83	3,07	2,99	3,19	3,26
2001	2,82	2,78	2,79	2,79	2,91	2,98	3,56	3,50
2002	3,37	3,27	*	3,59	*	3,20	*	3,16
2003	3,59	3,60	*	3,81	*	3,11	*	3,74

\* 2001 endete die Erfassung von Ertragsdaten auf NUTS IV-Ebene.



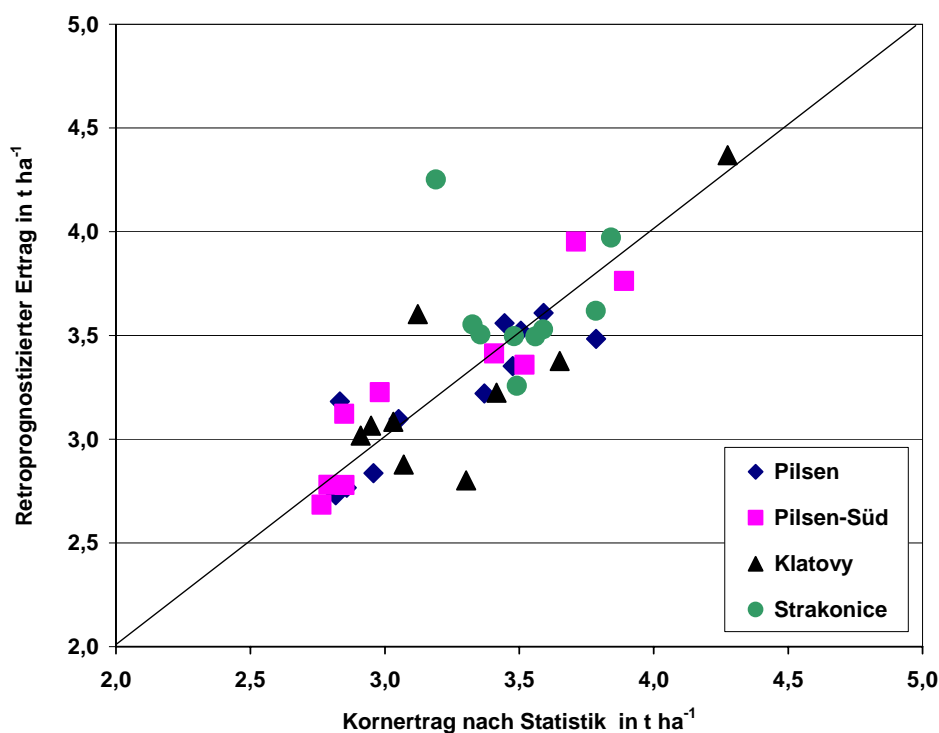
**Abbildung 30: Vergleich der statistisch erfassten mit den nach der Schelling-Methode modellierten Sommergerstenkornträgen im Bezirk Pilsen und in den Landkreisen Pilsen-Süd, Klatovy und Strakonice, 1:1 Darstellung der Tabelle 20.**

Zur Validierung der Regressionsgleichungen wurde die Jackknife-Methode verwendet. Die **Tabelle 21** listet die retroprognostizierten Erträge im Vergleich zur offiziellen Statistik auf, die **Abb. 31** stellt die Relation grafisch dar.

**Tabelle 21: Vergleich der in der Agrarstatistik berichteten Sommergerstenerträge (Y) 1993 bis 2003 mit den retroprognostizierten (RPŶ) Erträgen (ohne das Schätzjahr im XY-Space) im Bezirk Pilsen und den Landkreisen Pilsen-Süd, Klatovy und Strakonice.**

Jahr	Pilsen Y	Pilsen RPŶ	Pilsen- Süd Y	Pilsen- Süd RPŶ	Klatovy Y	Klatovy RPŶ	Strakonice Y	Strakonice RPŶ
1993	3,45	3,56	3,41	3,41	3,42	3,22	3,78	3,62
1994	2,96	2,84	2,98	3,23	3,30	2,80	3,49	3,26
1995	2,86	2,77	2,76	2,68	2,95	3,07	3,33	3,55
1996	3,79	3,48	3,71	3,95	4,27	4,37	3,84	3,97
1997	3,51	3,52	3,89	3,76	3,03	3,08	3,59	3,53
1998	3,05	3,10	2,85	3,12	3,12	3,60	3,36	3,50
1999	3,48	3,35	3,52	3,36	3,65	3,38	3,48	3,50
2000	2,83	3,18	2,85	2,78	3,07	2,88	3,19	4,25
2001	2,82	2,73	2,79	2,78	2,91	3,02	3,56	3,50
2002	3,37	3,22	*	*	*	*	*	*
2003	3,59	3,61	*	*	*	*	*	*

\* 2001 endete die Erfassung von Ertragsdaten auf NUTS IV-Ebene.



**Abbildung 31: Vergleich der in der Agrarstatistik berichteten Sommergerstenerträge 1993 bis 2003 mit den retroprognostizierten Erträgen (ohne das Schätzjahr im XY-Space) im Bezirk Pilsen und den Landkreisen Pilsen-Süd, Klatovy und Strakonice, 1:1 Darstellung der Tabellenwerte in der Tabelle 21.**

Zur Prüfung, ob die aus der Regressionsanalyse entwickelten Schätzformeln geeignet sind die Kornerträge zu prognostizieren oder ob die gefundenen Beziehungen nur zufällig sind, wurde der F-Test durchgeführt. Zu prüfen war, ob der

F-Wert der Regression größer ist als der kritische F-Wert (einseitig) für die Irrtumswahrscheinlichkeiten  $\alpha = 0,05$  oder  $\alpha = 0,025$ . Die **Tabelle 22** stellt die Ergebnisse dar.

**Tabelle 22: Ergebnisse des F-Testes zur Bewertung der Regressionsformeln zur Schätzung der Sommergerstenkornenerträge im Bezirk Pilsen und den Landkreisen Pilsen-Süd, Klatovy und Strakonice.**  
 $v_1$  ist die Zahl der X-Variablen in der Regressionsgleichung und  $v_2$  ist die Zahl der Stichprobenjahre minus der (Zahl der X-Variablen +1).

Region	F-Wert der			Kritischer F-Wert	Kritischer F-Wert
	Regression	$v_1$	$v_2$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,025$
Pilsen	16,92	7	3	8,89	14,62
PLZ-Süd	58,36	5	3	9,01	14,88
Klatovy	10,56	4	4	6,39	9,6
Strakonice	7,42	2	6	5,14	7,26

In allen 4 Regionen sind die F-Werte größer als die kritischen F-Werte für  $\alpha = 2,5\%$ . So lässt sich behaupten, dass das Regressionsmodell zu mehr als 97,5 % zutrifft.

Mit dem T-Test wurde die Zulässigkeit der verwendeten Variablen geprüft. Die Tabelle 23 listet die Signifikanzniveaus der in den Regressionsmodellen verwendeten Variablen auf.

**Tabelle 23: In den nach der Methode Schelling zur Regression der regionalen Sommergerstenkornenerträge verwendete Variable und ihre Signifikanzniveaus**

Region	Variable	Freiheitsgrade	Signifikanzniveau
Pilsen	DTVS	7	<b>0,9990</b>
	NDSMW	7	<b>0,9957</b>
	NDSGES	7	0,9102
Pilsen-Süd	NDSMW	3	<b>0,9990</b>
	DTVS	3	<b>0,9950</b>
	DTMW	3	0,9440
	DTKF	3	<b>0,9864</b>
	VSL	3	0,9428
Klatovy	DTMW	4	0,8837
	DTVS	4	0,6453
	NDSVS	4	0,8595
	NDSJE	4	<b>0,9666</b>
Strakonice	DTVS	6	<b>0,9854</b>
	NDSAU	6	<b>0,9581</b>

Aus der **Tabelle 23** lässt sich schließen, dass die Eignung der Variablen unterschiedlich gut ist, am geringsten ist sie im Landkreis Klatovy, aber insgesamt sind alle Variablen hinreichend geeignet für eine Ertragsschätzung.

### 4.3.3 Ergebnisse der SPSS® Berechnungen und Vergleich der 10 Modelle

Wie im Kapitel 3.8.3 dargelegt, wurde die Regressionsanalyse auch mittels des Statistikprogramms SPSS® durchgeführt. Mehrere Varianten wurden durchgerechnet. Auch die hiermit erarbeiteten geschätzten Kornerträge lagen in der Nähe der statistisch erfassten (**Tabelle 24**) und (**Abb. 32**). Größere Fehlschätzungen ergaben sich nur in den Jahren 1994 und 1999.

**Tabelle 24: Aus 10 mit unterschiedlichen Vorgaben erstellten Regressionsgleichungen (siehe Seite 64) modellierte Erträge für den Bezirk Pilsen in den Jahren 1993 bis 2002, die Lücken entstanden wegen fehlender NDVI-Werte.**

JAHR	Y PLZ	$\hat{Y}$ mod1	$\hat{Y}$ mod2	$\hat{Y}$ mod3	$\hat{Y}$ mod4	$\hat{Y}$ mod5
1993	3,45	3,26	3,17			3,47
1994	2,96	2,48	2,56			2,80
1995	2,86	3,00	2,74	2,65	2,67	2,88
1996	3,79	3,79	3,78	3,72	3,73	3,73
1997	3,51	3,53	3,52	3,44	3,46	3,36
1998	3,05	3,00	3,26	3,21	3,22	3,25
1999	3,48	3,00	3,00	2,94	2,96	3,50
2000	2,83	3,00	2,83	2,76	2,78	2,83
2001	2,82	2,74	2,83	2,76	2,77	2,99
2002	3,37	3,26	3,35	3,30	3,32	3,09

JAHR	Y PLZ	$\hat{Y}$ mod6	$\hat{Y}$ mod7	$\hat{Y}$ mod8	$\hat{Y}$ mod9	$\hat{Y}$ mod10
1993	3,45				3,44	3,67
1994	2,96				2,99	3,19
1995	2,86	2,95	2,95	2,85	2,80	3,10
1996	3,79	3,75	3,86	3,79	3,76	4,00
1997	3,51	3,42	3,46	3,51	3,50	3,70
1998	3,05	3,02	3,14	3,05	2,94	3,29
1999	3,48			3,47	3,39	3,71
2000	2,83	2,81	2,82	2,83	3,02	3,05
2001	2,82	2,69	2,80	2,82	2,81	3,06
2002	3,37	3,30	3,29	3,37	3,44	3,60

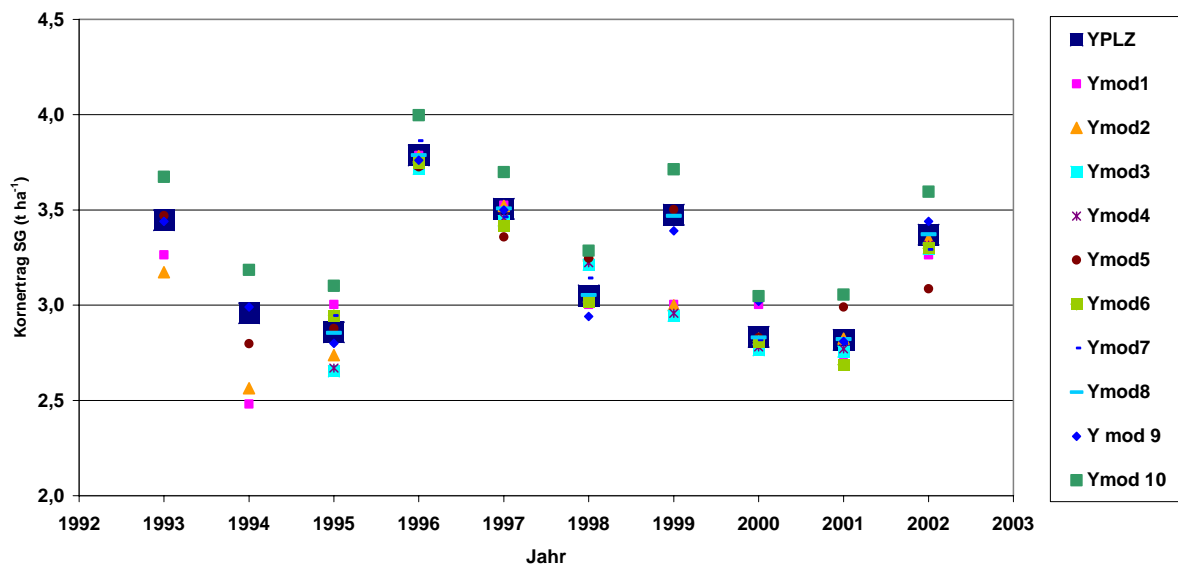


Abbildung 32: Der statistisch erfasste Kernertrag Sommergerste im Bezirk Pilsen (YPLZ) in den Jahren 1993 bis 2002 im Vergleich zu den mit 10 nach unterschiedlichen Prämissen erstellten Regressionsgleichungen modellierten Kernerträgen.

Die **Tabelle 25** zeigt einen Überblick über die für die 10 Modelle nach den im Kapitel 3.8.3 aufgeführten unterschiedlichen Auswahlverfahren selektierten Variablen

Tabelle 25: Die unabhängigen Variablen, die für die 10 verschiedenen Regressionsmodelle zur Schätzung des Sommergerstenkernertrages im Bezirk Pilsen selektiert wurden.

Modell	mod1	mod2	mod3	mod4	mod5
Variable	TBI5MW3	TBI5MW3 TDL2KF4	TBI5MW3 TDL2KF4 GWKF3	TBI5MW3 TDL2KF4 GWKF3 TBI20MW1	SSKF2
Modell	mod6	mod7	mod8	mod9	mod10
Variable	NMW2 TBA20JE3 TBI10MW2 RT3KF6 GWSE2	NMW2 TBI20JE4 TLI2AU2 TBA10JE2 GWSE2	SSKF2 TBI10MW3 NMW2 TLA2JE4 GWKF2	NDSMW DTVS DTKF	NMW2 NKF2 SSJE4 SSKF6 TS3MW1 TBA20KF2 TBI20KF1 TDL2AU2 TLA2KF3

Auch die mit SPSS© errechneten Regressionsmodelle wurden mittels der Jackknife-Methode auf ihre Zulässigkeit geprüft. Dabei zeigte sich die Überlegenheit der Selektionsmethode „Vorwärts schrittweise“ gegenüber der „Rückwärts“ Selektion. Auch die Vorselektion durch die Korrelationsmatrix und Beschränkung auf die

Wirkvariablen zeigte sich positiv in genaueren Schätzergebnissen. Eine Übersicht geben **Tabelle 26** und **Abbildung 33**.

**Tabelle 26: Nach der Jackknife-Methode prognostizierte Sommergerstenkornträge im Bezirk Pilsen für die Jahre 1993 bis 2002 aus den Variablen in Tabelle 25, die in den 10 Modelle verwendet wurden. Zum Vergleich die Sommergerstenkornträge nach Agrarstatistik, YPLZ.**

JAHR	Y PLZ	$\hat{Y}$ mod1	$\hat{Y}$ mod2	$\hat{Y}$ mod3	$\hat{Y}$ mod4	$\hat{Y}$ mod5
1993	3,45	3,31	3,26	*	*	3,49
1994	2,96	2,58	2,63	*	*	2,78
1995	2,86	3,16	3,10	2,93	2,96	2,92
1996	3,79	3,66	3,70	3,80	3,85	3,70
1997	3,51	3,53	3,55	3,44	3,44	3,36
1998	3,05	3,14	3,45	3,38	3,69	3,29
1999	3,48	3,09	3,09	2,97	2,87	3,53
2000	2,83	3,17	3,11	3,25	3,23	2,87
2001	2,82	2,97	3,02	2,79	2,60	3,05
2002	3,37	3,32	3,38	3,41	2,96	3,08

JAHR	Y PLZ	$\hat{Y}$ mod6	$\hat{Y}$ mod7	$\hat{Y}$ mod8	$\hat{Y}$ mod9	$\hat{Y}$ mod10
1993	3,45	*	*	*	3,44	8,38
1994	2,96	*	*	*	3,04	4,43
1995	2,86	3,12	4,19	2,84	2,75	14,30
1996	3,79	4,09	5,75	3,80	3,69	1,16
1997	3,51	3,17	3,06	3,51	3,49	3,16
1998	3,05	3,20	3,21	3,08	2,83	2,51
1999	3,48	**	**	3,46	3,36	5,71
2000	2,83	2,41	2,68	2,82	3,09	15,56
2001	2,82	2,20	3,10	2,83	2,81	5,16
2002	3,37	3,22	2,97	3,38	3,49	-13,41

\* 1993 und 1994 fehlen die NOAA-NDVI-MVC-Daten, deshalb keine Ertragsschätzung.

\*\* 1999 keine Daten für GWSE2, dem Grauwert für die 2. Woche Seneszenz.

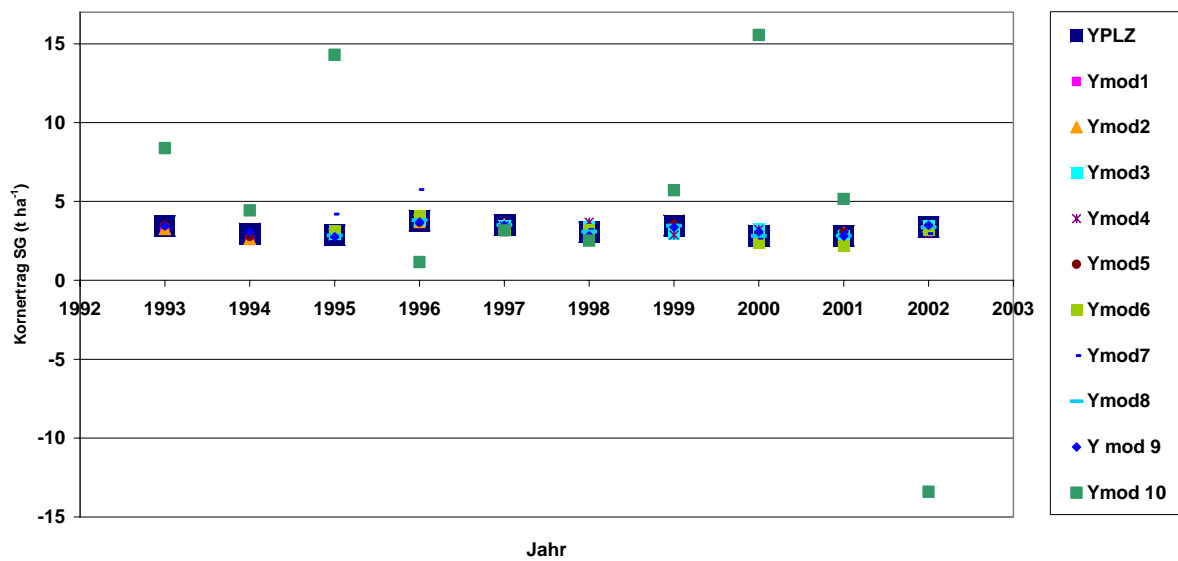


Abbildung 33: Nach der Jackknife-Methode prognostizierte Erträge aus den Variablen, die in die 10 Modelle Eingang fanden, im Vergleich zu den tatsächlichen Kornträgen. Bildliche Darstellung der Werte aus der Tabelle 26.

#### 4.4 Ableitungen aus der Korrelationsmatrix zur Schätzung der Ertrags- und Qualitätsentwicklung auf der Grundlage von Wetter- und NDVI-Daten

Wie bereits im Kapitel 3.8.1.1 angeführt, wurden die Variablen einer multiplen Korrelationsanalyse unterzogen. Die Ergebnisse der Analyse sind nicht nur geeignet, die Variablenselektion für die Ertragsschätzung zu betreiben, sie könnten auch ein Hilfsmittel sein, um in der Praxis während der Vegetationsentwicklung die Ertrags- und Qualitätsbildung besser zu erfassen und möglicherweise sogar zu beeinflussen. Die ausgewählten Witterungsfaktoren (**Tabelle 27**) haben alle einen Korrelationskoeffizienten von  $< -0,4$  bei den ertragssenkenden Faktoren und  $> 0,4$  bei den ertragssteigernden Faktoren, und das durchgehend in allen 4 Verwaltungsbezirken Strakonice, Klatovy, Plz-Süd und Pilsen.



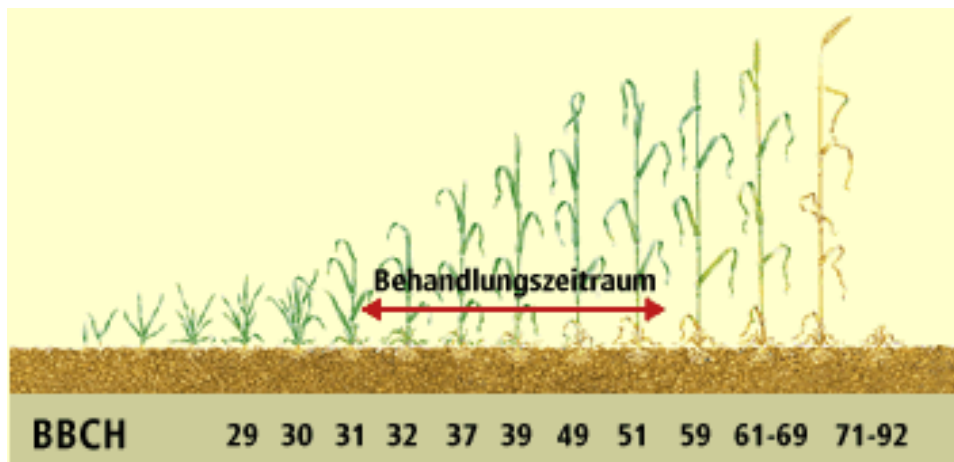
**Tabelle 27: Ertragssteigernde und ertragsmindernde Faktoren, die mit dem Kornertrag im Bezirk Pilsen und den Landkreisen Pilsen-Süd, Klatovy und Strakonice mit  $\rho \geq 0,4$  oder  $\rho \leq -0,4$  mit dem Sommergerstenkornertrag korrelieren.**

Korrelation mit dem Ertrag	
positiv (ertragssteigernd)	negativ (ertragsmindernd)
TLI5JE3	TLA2JE4
TLI2JE3	
TBA20JE3	TBI10MW1
NJE3	TBI20MW1
RT20JE3	
RT0JE4	NMW2
	RT10MW2
TDL2MW2	RT3MW2
TBI10MW2	
TBI20MW2	TLA2KF2
	TDL2KF2
TBI10MW3	TBI10KF2
TBI20MW3	TBI20KF2
	SSKF2
RT20KF2	SSKF3
RT10KF3	TDL2KF4
RT20KF4	TBI20KF4
RT20KF7	TBI5KF4
	TBI10KF4
	RT0SE
	RT3SE

Außerdem sind fast alle NDVI-Wochenwerte mit dem Kornertrag positiv korreliert zu mehr als 0,4, einzige Ausnahme ist der NDVI der 2. Woche des Massenwachstums. In diesem Entwicklungsabschnitt EC-Stadium 37 (Erscheinen des letzten Blattes) ist ein hoher NDVI negativ korreliert mit dem Ertrag.

Möglicherweise ist der Grund darin zu sehen, dass zu diesem Zeitpunkt eine gedeihliche Witterung auch die ertrags- und qualitätsmindernden Faktoren begünstigt wie zum Beispiel die pilzlichen Erreger von Blattkrankheiten wie Mehltau (*Erysiphe graminis*), Netzfleckenkrankheit (*Drechslera teres*), Rhynchosporium-Blattfleckenkrankheit (*Rhynchosporium secalis*), Braun- bzw. Zwergrost (*Puccinia hordei*). Zu diesem Befund passt auch, dass die Niederschlagswerte in der 2. Woche des Massenwachstums einen ertragssenkenden Einfluss haben. Bekannt ist, dass die Blattbenetzungsdauer die Ausbreitung von Pilzkrankheiten stark begünstigen

kann. Eventuell könnte auch bei großen Pflanzenbaubetrieben, wo eine Bonitierung des Befalls aus arbeitswirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist, die Heranziehung des NDVI-Wertes aus dem Satellitenbild trotz geringer räumlicher Auflösung eine Entscheidungshilfe sein für eine Fungizidbehandlung sein. Die **Abb. 34** zeigt die schematische Entwicklung der Gerstenpflanze und den möglichen Anwendungszeitraum für Fungizide, in dem NDVI-Daten des konkreten Anbaujahres mit früheren Jahren mit starkem oder geringem Befall mit Blattpilzkrankheiten verglichen werden könnten.



**Abbildung 34: Schematische Darstellung der phänologischen Entwicklung von Getreide und dem Zeitfenster für die NDVI-gebundene Fungizidbehandlung.**

In den **Tabellen 28 und 29** werden die steigernden und mindernden Faktoren aus der **Tabelle 27** auf ihre Bedeutung für den Vegetationsverlauf bewertet.

**Tabelle 28: Ertrags-, qualitäts- und pflanzengesundheitsfördernde Faktoren und ihre Bewertung. Sie korrelieren zum mehr als 0,4 mit den Kornträgen im Bezirk Pilsen und in den Landkreisen Pilsen-Süd, Klatovy und Strakonice und wirken gemeinsam auf die Ertrags- und Qualitätsbildung förderlich.**

NJE3 TLI5JE3 TBA20JE3 TLI2JE3 RT20JE3 RT0JE4	Wärme und Feuchtigkeit während der Jugendphase fördern die Bestockung und damit die Zahl der Ähren $m^{-2}$ sowie auch die Nährstoffversorgung.
TBI20MW2 TBI10MW2 TDL2MW2 TBI20MW3 TBI10MW3	Warme Böden während der 2. und 3. Woche des Massenwachstums fördern die Mineralisation und die Vorblüteassimilation und die Ährenanlage in den Sprossen, damit auch die Kornzahl/ Ähre.
RT20KF2 RT10KF3 RT20KF4 RT20KF7	Häufige Regentage während der Kornfüllungsphase verlängern diese und führen zu einem höheren TKG.
<p><b>Tabelle 29: Ertrags-, qualitäts- und pflanzengesundheitsmindernde Faktoren und ihre Bewertung. Sie korrelieren mit den regionalen Sommergerstenkornträgen mit <math>r \leq -0,4</math>.</b></p>	
TLA2JE4	Hitze während der Jugendentwicklung verkürzt diese und mindert damit die Zahl der Ähren $m^{-2}$ .
TBI20MW1 TBI10MW1 RT3MW2 RT10MW2 NMW2	Hohe Bodentemperaturen und Niederschläge zu Beginn des Massenwachstums fördern den Pilzbefall und schwächen damit den Photosyntheseapparat.
SSKF2 TBI20KF2 TDL2KF2 TBI10KF2 TLA2KF2 SSKF3 TBI20KF4 TDL2KF4 TBI5KF4 TBI10KF4	Hohe Temperaturen und viel Sonnenschein während der 2. 3. und 4. Woche der Kornfüllungsphase verkürzen diese und reduzieren damit das TKG, Atmungsverluste!
RT3SE RT0SE	Regen während der Seneszenzphase verzögert die Ernte und schlägt Körner aus der Ähre, Kornzahl / Ähre sinkt.

Diese Auflistung und Bewertung soll nicht heißen, dass alle anderen Wettervariablen keine Bedeutung für Ertrag und Qualität hätten. Sie sind nur in dem betrachteten Untersuchungsgebiet und Zeitraum statistisch nicht hervorgetreten. Um nun abschätzen zu können, ob in einem laufenden Jahr die ertragssteigernden oder die ertragsmindernden Faktoren überwiegen ist es sinnvoll zu wissen, wo die Medianwerte der Wirkfaktoren liegen. Die **Tabelle 30** zeigt die Medianwerte der Wettervariablen der Jahre 1993 bis 2002 und die Medianwerte der NDVI-Werte über alle Ackerkulturen im Bezirk Pilsen aus den Jahren 1995 bis 2002. Die Auflistung zeigt, dass eine Aufgliederung der phänologischen Phasen in einzelne Wochen durchaus sinnvoll ist. So wirkt zum Beispiel die Minimumbodentemperatur in 10cm Tiefe gemessen(TBI10) in der ersten Woche des Massenwachstums(MW1) mit dem Mittelwert 11,5°C ertragsmindernd, in der 2. Wo Massenwachstum(MW2) bei gleichem Mittelwert ertragsfördernd. Nur die Ankopplung der Wetterereignisse an die phänologische Woche lässt Schlüsse auf die Ertragswirkung zu.

**Tabelle 30: Gewogene Mittelwerte der Wirkfaktoren**

Plusfaktoren	Median		Minusfaktoren	Median	
TLI5JE3	0,5	°C	TLA2JE4	24	°C
TLI2JE3	4	°C			
TBA20JE3	14	°C	TBI10MW1	11,5	°C
NJE3	10	mm	TBI20MW1	13	°C
RT20JE3	0	Tage			
RT0JE4	2	Tage	NMW2	11,5	mm
			RT10MW2	0,5	Tage
TDL2MW2	14	°C	RT3MW2	1	Tage
TBI10MW2	11,5	°C			
TBI20MW2	13	°C	TLA2KF2	28,5	°C
			TDL2KF2	16,5	°C
TBI10MW3	13	°C	TBI10KF2	13,5	°C
TBI20MW3	14	°C	TBI20KF2	14,5	°C
			SSKF2	59	Stunden
RT20KF2	0	Tage	SSKF3	66	Stunden
RT10KF3	0	Tage	TDL2KF4	18	°C
RT20KF4	0	Tage	TBI20KF4	16,5	°C
RT20KF7	0	Tage	TBI5KF4	14	°C
	NDVI	Grauwerte	TBI10KF4	16	°C
GWJE3	0,41	161			
GWMW1	0,45	174	RT0SE	3,5	Tage
GMMW3	0,44	171	RT3SE	0,5	Tage
GWKF1	0,46	176		NDVI	Grauwert
GWKF2	0,44	172	GW MW2	0,47	182
GWKF3	0,45	174			
GWKF4	0,46	178			
GWKF6	0,40	160			
GWSE1	0,39	155			
GWSE2	0,36	147			

---

GWSE3	0,35	141,5
-------	------	-------

---

Zu den NDVI-Grauwerten und den aus ihnen nach der **Formel 4** rückgerechneten NDVI-Werten ist wichtig zu berücksichtigen, dass sie auf Basis der AVHRR-Daten der NOAA-Satelliten gewonnen wurden und regionale Mittelwerte über alle Ackerkulturen darstellen. Deshalb sind sie nicht mit NDVI-Werten, von anderen Fernerkundungssensoren oder mit NDVI-Werten aus bodennahen Feldmessungen zu vergleichen.

## 5. Diskussion

### Zur Frage der Flächenschätzung

Seit Beginn der Fernerkundung der landwirtschaftlichen Bodennutzung mit Hilfe von Satelliten ist vor allem die Anbaufläche wichtiger Fruchtarten von Interesse. Eines der frühesten Projekte, das US-amerikanische LACIE (=Large Area Crop Inventory) in den 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts zielte auf die Erhebung des Flächenumfangs von „small grain“ (BARNETT und THOMPSON 1983), vor allem um in der damaligen UDSSR in Verbindung mit den für die regionalen Flächenerträgen maßgeblichen Witterungsdaten den Weizenimportbedarf der UDSSR abschätzen zu können. Die EU entwickelte in mehr als 10 Jahren das sogenannte MARS-Programm (Monitoring Agriculture by Remote Sensing), in dem zunächst der Flächenumfang der wichtigsten Kulturarten (major crops) in allen EU-Ländern erfasst werden sollte. In keinem dieser großen Projekte wurden ähnlich gute Flächenschätzungen wie in der vorliegenden Untersuchung erzielt. Dies liegt zum Teil an der noch recht geringen räumlichen und witterungsbedingt ungenügenden zeitlichen Auflösung der LANDSAT MSS Reihe in LACIE oder an den sehr schematischen Platzierungen der mit Fernerkundung aufgenommenen „Sites“ und der Musterstücke innerhalb der „Sites“.

Anzumerken ist, dass im Vergleich zu anderen Studien eine weitaus bessere Datenlage gegeben ist und aufwändigere Verfahren praktiziert wurden. Die tschechischen Anbauflächen sind im Durchschnitt 30 ha groß, was bei einer räumlichen Auflösung der Landsat-Szenen von 30 m einer Anzahl von 1000 Pixel für ein Feld entspricht. Selbst wenn im ungünstigsten Falle große Teile des Feldrandes in Mischpixel fallen und durch die geometrische Transformation und das nachfolgende Resampling breite Ränder nicht sauber die reflektierte Strahlung der Sommergerstenschläge wiedergeben, bleiben noch etwa 800 Pixel pro Feld, die die spektralen Merkmale dieser Kultur tragen. WEISSTEINER fand 2003 beim Vergleich der Sommergerstenklassifikation in Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg, dass die Klassifikationsergebnisse umso besser werden, je größer die Schläge sind, KÜHBAUCH et al. (1990) nannten eine Mindestschlaggröße von 2,25 ha für die Arterkennung aus Landsat-Szenen.

Auch Aufnahmetermine im Mai und Ende Juli/Anfang August waren optimal für eine spektrale Trennung der Sommergerste von anderen Kulturen, wie bereits SCHNEIDER (1994) in seiner Arbeit zur spektralen Trennbarkeit ackerbaulicher Oberflächentypen feststellte. In der vorliegenden Studie wurden bis zu 6 Szenen des selben Areals referenziert und somit über alle Aufnahmetermine und Spektralkanäle ein bis zu 55dimensionaler Merkmalsraum generiert. Die radiometrische Verbesserung der Satellitenszenen mit Atcor3® (RICHTER 1998), die den Schatteneffekt in gebirgigem Gelände vermindert und eine Dunstkorrektur ermöglicht, führt zu einer besseren Unterscheidbarkeit der fruchtartenspezifischen Reflektanzen und somit zur besseren Klassifikationsgenauigkeit. Aber auch ohne Atmosphärenkorrektur erreichten KLAEDTKE et al. 1991 eine Schätzgenauigkeit bei Winterweizen im Kreis Ludwigsburg von 97% mit einer bitemporalen Landsat-Klassifikation. Auch die hier angewandte Hauptkomponententransformation trägt wesentlich zur Verbesserung der Schätzgenauigkeit bei, wie bereits MÜLLER in KÜHBAUCH et al. (1991) anhand einer Landsatszene vom 1. August zeigten. Die Trefferquote stieg z.B. bei Zuckerrüben von 87% auf 97,2 % durch das Herausrechnen der redundanten Informationen.

Die Verwendung des Klassifikationsprogramms ECognition® ist in der landwirtschaftlichen Flächenschätzung bisher selten berichtet, wohl auch, weil es das Programm erst seit dem Jahre 2000 gibt und somit die pixelbasierte überwachte oder unüberwachte Klassifikation eine längere Tradition hat. MÜLLER (2001) berichtete eine um 15% verbesserte Klassifikation mit ECognition bei Ackerkulturen auf der Basis von Hymap-Daten und bei Radar-Daten, die Sommergerste wurde auf Basis einer einzigen Aufnahme vom 16. Juni mit 89% Genauigkeit klassifiziert. FOCKELMANN (2001) setzte ECognition zur Detektion von Anbauflächengrenzen ein und fand eine hohe Übereinstimmung mit den amtlichen Karten. Im Einzelnen kommt es aber mehr darauf an, wie eine Software genutzt wird als welche Software genutzt wird. WEISSTEINER (2003) setzte zur Klassifikation von Sommergerste ECognition® ein und erzielte kaum Verbesserungen gegenüber der pixelorientierten Klassifikation. Er verwendete zur Diskriminierung der Sommergerste NDVI-Bereiche zur Formulierung wissensbasierter Klassifikationsregeln. Von diesem Ansatz wurde hier abgesehen, weil die NDVI-Bereiche der Sommergerste in hohem Maße Überlappungen zu spektral ähnlichen Kulturen zeigten. Mehrere Versuchsdurchgänge mit NDVI-basierten festen Klassifikationsregeln scheiterten daran, dass viele Sommer-

gerstenflächen aus der Klasse Sommergerste ausgeschlossen wurden. Ursache dafür dürfte die außerordentliche Heterogenität des Wachstumsfortschrittes innerhalb der Klasse Sommergerste sein, die sich auch in den stark unterschiedlichen Phänophaseneintrittsdaten von Feld zu Feld zeigt (**Abb. 20** und **Abb. 21**). Die Kombination von spektralen und virtuellen Kanälen wie zum Beispiel der NDVI-Werte und Standardabweichungen der spektralen Reflektanzen, Raster- und Vektordaten, mehreren Aufnahmetermen, Nearest-Neighbor und Fuzzy-Klassifikation, Hauptkomponententransformation, Verschneidung mit Corine-Landcover-Daten und Ergänzung des Bestandes an Beispielflächen durch weitere, zunächst falsch klassifizierte Beispielflächen ist bisher in der Literatur in diesem Umfang für die Fruchtartenklassifikation nicht berichtet. Einschränkend ist jedoch zu bemerken, dass alle Beispielflächen und alle Testflächen aus nur vier (2001) bzw. drei (2002) Betrieben stammen. Somit bleibt die gewisse Unsicherheit, bezüglich der Übertragbarkeit der hier verwendeten Algorithmen. Außerdem verführt die Orientierung auf eine möglichst gute Klassifikationsgenauigkeit dazu, dass die gesuchte Klassen – im vorliegenden Fall die Sommergerste und ihre „Verwechslungsfrüchte“ - so eng charakterisiert werden, dass genau die Testflächen richtig eingruppiert sind, den Verhältnissen im übrigen Teil der Szene aber nicht gerecht werden.

Des Weiteren diskussionswürdig ist die Frage der Auswahl der Testgebiete. Die Auswertung der Agrarstatistik hat gezeigt, dass es fünf Landkreise gibt, in denen sich der Umfang der Sommergerstenanbaufläche parallel zum nationalen Durchschnitt verändert, auf die letzten 10 Jahre betrachtet. Es sind die NUTS 4 Regionen Karlsbad, Chomotov, Budweis, Pardubice und Blansko, die sich von NW nach SO etwa gleichmäßig über Tschechien verteilen, so dass sie von verschiedenen Satellitenflugbahnen erfasst werden. Deshalb wäre es sinnvoll aus diesen Landkreisen diejenigen zu verwenden, die die beste Satellitenbildverfügbarkeit zeigen, und sie dann als Stichprobe für eine nationale, fernerkundliche Inventur heranzuziehen.

#### Zur Frage der Ertragsschätzung

Die Verwendung einer Korrelationsmatrix zur Vorselektion der unabhängigen Variablen auf die Ertragsbildung ist in der Literatur nicht berichtet. Frühere Arbeiten zur Ertragsschätzung nach Wetterdaten (SCHELLING 2000, HANUS 1969,



CHMIELEWSKI 1998) verwendeten normale Wetterdaten für ihre Ertragsschätzung, die in einer Höhe von 2 m über dem Boden gemessen wurden. In dieser Arbeit wurden zusätzlich Bodentemperaturwerte und die Lufttemperatur in 5 cm Höhe, also dem eigentlichen Lebensraum der Pflanze, mit einbezogen. Die Verwendung von Wochenwerten ist ein neuer Ansatz in dieser Arbeit. Bisher haben die Kollegen Tageswerte oder über Monate oder phänologische Phasen aggregierten Wetterwerte zur Berechnung verwendet. Die Regressionsanalyse brachte für die 3 Regionen Regressionskonstanten hervor, die mit Werten zwischen 2,18 und 5,42 in der Nähe des zu erwartenden Kornertrages in  $t\ ha^{-1}$  liegen. Die Einflüsse der unabhängigen Variablen auf die abhängige Variable Ertrag sind dabei eher gering, was sich in extrem kleinen Regressionskoeffizienten (zwischen 0,00067 und 0,08) zeigt. Nur im Landkreis Klatovy waren die Regressionskonstanten mit -2,17 respektive 1,51 kein Schätzwert für den Ertrag, die gesamte Regressionsgleichung brachte aber gleichwohl hinreichend genaue Schätzwerte hervor. Die Kombination von Wettervariablen und NDVI-Wochenmaximalwert-Kompositen als gleichberechtigte Variablen innerhalb der Regressionsanalyse ist bisher nicht in der Literatur berichtet. WEISSTEINER (2003) verwendete die NDVI-Maximalwerte als einzige unabhängige Variable in der Regression und modifizierte den Schätzwert des Ertrages um Trockenstress-/Hitzestressfaktoren. SCHELLING et al. (2003) fügten in ihre Regressionsgleichungen keine fernerkundlich gewonnenen Variablen ein.

Bei früheren Arbeiten zur regionalen oder nationalen Ertragsvorausschätzung (HANUS 1969, SCHELLING et al. 2003, HÜNTING et al. 2003) wurde der ansteigende Trend der Erträge, bedingt durch bessere Sorten und verbesserte Anbauverfahren in Kombination mit bedarfsdeckender Pflanzenernährung und Pflanzenschutz, in der Regression berücksichtigt, indem eine Trendbereinigung vorgenommen wurde. In dieser Arbeit wurde keine Trendbereinigung durchgeführt, weil im Untersuchungszeitraum kein Aufwärtstrend im Ertrag zu verzeichnen war. Möglicherweise wird ein sprunghafter Anstieg der Erträge stattfinden, wenn im Rahmen der gemeinsamen EU-Agrarpolitik die Finanzausstattung der tschechischen Agrarbetriebe verbessert wird. Auch ein Sortenwechsel auf westeuropäische Braugerstensorten könnte einen Einfluss auf die absolute Ertragshöhe wie auch auf die Wetterabhängigkeit des Braugerstenanbaus haben. In diesem Fall wäre das Modell an die veränderten Bedingungen anzupassen, was durch die Hereinnahme

weiterer Anbaujahre in die Erstellung einer neuen Regressionsgleichung oder auch durch Heraufsetzung der Regressionskonstanten möglich wäre.

Wie bereits HANUS und AIMILLER (1978) ausführten, dürfen keine Veränderungen der Anbaufläche in Umfang und Lage stattfinden, sonst sind nicht mehr gleiche Voraussetzungen für die Erträge während der Referenzperiode gegeben. Im tschechischen Untersuchungsgebiet sind die Anbauflächen sehr veränderlich und es ist auch nicht auszuschließen, dass in Jahren mit großer Anbaufläche auch Felder mit besserer Bonität als üblich mit Sommergerste bestellt werden, während in Jahren mit kleiner Anbaufläche weniger leistungsfähige, für die Sommergerste eher typische, Standorte zum Zuge kommen. Dies bedingt einen systematischen Fehler, der nur durch weitere Untersuchungen verringert werden kann. Die starke Ausweitung des Rapsanbaus (im Untersuchungszeitraum von 100.000 ha auf 380.000 ha landesweit) zulasten anderer Feldfrüchte hat vermutlich auch eine Auswirkung auf die NDVI-Maximalwerte. Für eine tragbare Vergleichbarkeit müssten über mehrere Jahre die Anteile der Kulturen von Jahr zu Jahr etwa gleich sein, damit die Mischpixel stets gleich komponiert sind. Somit stellt nicht nur die Frage der verschiedenen verwendeten Sensoren und ihrer Kalibrierung, sondern auch die wechselnde Zusammensetzung des erfassten Ackerbaugebietes eine Fehlerquelle dar.

Trotz der oben angeführten Bedenken lagen die Ergebnisse der Ertragsschätzung mittels multipler, linearer Regression unter Verwendung von Satelliten- und Wetterdaten näher am tatsächlichen Ertrag als die mit Wachstumssimulationsmodellen wie CERES, SWAP, WOFOST oder PERUN (siehe Seite 17 bis 23) berechneten Erträge. Diesen Modellen fehlt womöglich die Vorselektion auf Wettervariablen, die wirklich Einfluss nehmen, und die Rückkopplung auf die tatsächliche Pflanzenentwicklung, wie sie die Fernerkundung beitragen kann. Weitere Forschungen müssen zeigen, ob in Zukunft ein kombiniertes Modell aus empirisch-statistischer Methode und Wachstumssimulation Platz greifen kann, dass dann womöglich auch auf andere Braugerstenanbaugebiete oder andere Kulturen übertragbar ist.

## 6. Zusammenfassung

Ziel der Arbeit war es, mit Hilfe der optischen Fernerkundung und ergänzenden Daten das regionale Aufkommen an Sommergerste in Westböhmen in den Jahren 2001 und 2002 zu schätzen. Dafür mussten zwei getrennte Schätzverfahren entwickelt werden, eines zur Inventarisierung der Anbaufläche und eines zur Prognose des Kornertrags pro Hektar.

Die Anbauflächenschätzung arbeitet auf der Basis einer Landnutzungsklassifikation mit multitemporalen, multispektralen Satellitenbildern. Die Szenen werden geometrisch-, radiometrisch- und atmosphärenkorrigiert, mit Vektordaten der tatsächlichen Landnutzung von Musterstücken, Vektordaten der Verwaltungsgrenzen und den Rasterdaten von CORINE-LANDCOVER® verschnitten. Die spektralen Eigenschaften der Musterstücke in den echten und den künstlichen Kanälen bilden den Klassifikator. Durch Herausrechnen der redundanten Informationen (Hauptkomponententransformation) wird die Distanz zwischen den Klassen vergrößert und damit die Klassifikation verbessert. Die Anbauflächenschätzung ist eine Addition der Flächeninhalte der als Sommergerste klassifizierten Felder in einem Landkreis. Im Ergebnis zeigt sich, dass bereits 2 Landsat-Szenen vom Mai und Ende Juli/Anfang August ausreichend sind, um die Anbaufläche zu schätzen.

Die Ertragsschätzung besteht aus einer linearen, multiplen Regressionsanalyse des Ertrages aus vorselektierten Wetter und NDVI-Werten. Mittels einer für diesen Zweck entwickelten Methode werden die unabhängigen Variablen den Entwicklungsphasen der Pflanzen von der Aussaat bis zur Ernte zugeordnet. Die Schätzwerte der Erträge waren den Ertragsdaten aus der offiziellen Agrarstatistik ähnlich. Auch die Übertragung der Schelling-Methode auf die regionale Sommergerstenkorn-ertragsschätzung in Westböhmen auf Basis der über Phänophasen aggregierten Wetterdaten brachte gute Ergebnisse.

## 7. Abkürzungsverzeichnis

Ø	Durchschnitt, durchschnittlich
Y	Kornertrag
Ŷ	Schätzwert des Kornertrages
Abb.	Abbildung
AL	Auflaufen
AS	Aussaat
ÄS	Ährenschieben
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
AU	Aussaat bis Auflaufen
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
BG	Braugerste
C	Celsius
CERES	Ertragssimulationsmodell, benannt nach der röm. Göttin des Ackerbaus
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CORINE	Coordination of Information on the Environment
CR	Tschechische Republik
CSU	cesky statisticky urad, teschisches Amt für Statistik
d	Tag(e)
DFD	Deutsches Fernerkundungs-Datenzentrum
DM	dry matter, Biomasse getrocknet
dt	Dezitonne(n)
DSSAT	decision support system for agrotechnology transfer
EC	EUCARPIA, europäische Gesellschaft für Pflanzenzüchtung EC-Stadien 1 bis 100, Entwicklungsstadien bei Getreide
et al.	et alii
ETM	Enhanced Thematic Mapper
EU	Europäische Union
Eurostat	Europäisches Statistikamt
FE	Fernerkundung
g	Gramm
GCP	Ground Control Point
GDD	Growing Degree Days
GR	Gelbreife

ha	Hektar
HARSP	Hungarian Agricultural Remote Sensing Program
ID	Identifikationsnummer
IRS	Indian Remote Sensing Satellite
KF	Kornfüllungsphase, Ährenschieben bis Gelbreife
KIA	Kappa Index of Agreement
K <sub>2</sub> O	Dikaliumoxid
l	Liter
JE	Jugendentwicklung, Aufgang bis Schossbeginn
LAI	Leaf area index, Blattflächenindex
LAT	Latitude, Breitengrad
LDM	Leaf dry matter, Blatt-Trockenmasse
LiSS	Linear Imaging Self-scanning Sensor
LN	landwirtschaftliche Nutzfläche
LONG	Longitude, Längengrad
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
MESZ	Mitteleuropäische Sommerzeit
mg	Milligramm
mm	Millimeter
MIR	mittleres Infrarot
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectrometer
MOCA	Crop monographies on central European contires
MR	Milchreife
MVC	Maximum Value Composite
MW	Massenwachstum, Schossbeginn bis Ährenschieben
N	Stickstoff
N	Nord
N	Niederschlag in mm
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIR	Nah-Infrarot
Nm	Nanometer
NN	Normal Null, Basis für die topographische Höhe
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NUTS	Nomenclature des unites territoriales statistiques
O	Ost

PERUN	Ertragssimulationsmodell, benannt nach dem altslawischen Gott des Unwetters
Pixel	Picture Element(s)
PLZ	Pilsen
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Diphosphorpentoxid
r	Korrelationskoeffizient
r <sup>2</sup>	Bestimmtheitsmaß
R	Rot
RMS	Root Mean Square, Angabe der mittleren Genauigkeit der Positionsermittlung
RP $\hat{Y}$	prognostizierter Kornertrag für ein zurückliegendes Jahr, das nicht in der Stichprobe vertreten war
RT0	Anzahl der Regentage mit 0-2,9 mm Niederschlägen
RT3	Anzahl der Regentage mit 3-9,9 mm Niederschlägen
RT10	Anzahl der Regentage mit 10 -19,9 mm Niederschlägen
RT20	Anzahl der Regentage mit > 20 mm Niederschlägen
SAPARD	Special Accession Programme for Agriculture and Rural Development
SCH	Schossen
SE	Seneszenz, Gelbreife bis Ernte
SG	Sommergerste
SGU	Sommergerste mit Untersaaten
SLA	specific leaf area, spezifische Blattfläche
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SS	Sonnenscheindauer in Stunden
t	Tonne(n)
TBA5	Maximumbodentemperatur in 5 cm Tiefe
TBA10	Maximumbodentemperatur in 10 cm Tiefe
TBA20	Maximum Bodentemperatur in 20 cm Tiefe
TBI5	Minimumbodentemperatur in 5 cm Tiefe
TBI10	Minimumbodentemperatur in 10 cm Tiefe
TBI20	Minimum Bodentemperatur in 20 cm Tiefe
TLA2	Maximumlufttemperatur in 2 m Höhe
TLD2	Durchschnittslufttemperatur in 2 m Höhe
TLI2	Minimumlufttemperatur in 2 m Höhe
TLI5	Lufttemperaturminimum, 5 cm über dem Boden

---

TS3	Temperatursumme über 3° Celsius, GDD
TM	Thematic Mapper
TM	Trockenmasse
TTA	Test and Training Area
UTM	Universal Transverse Mercator
VS	Vorsaat
WG	Wintergerste
WGS	World Geodetic System
WiFS	Wide Field Sensor
WOFOST	World Food Studies
WW	Winterweizen
ZD	Zemedelske druzstvo, landwirtschaftliche Genossenschaft
ZOD	Zemedelske obchodni druzstvo, landwirtsch. Handelsgenossenschaft
ZR	Zuckerrübe

## 8. Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Abhängigkeit von Korngesamtertrag, Vollkornanteil und Vollkornenertrag von der Höhe der N-Düngung (halbschematisch) (BRAUN 1980). Die Begriffe gering und hoch sind je nach Standort verschieden zu interpretieren. 4
- Abbildung 2: Die Abhängigkeit des Korngewichtes von der Anzahl der Körner  $m^{-2}$  (LEBAIL 2003). Die Konkurrenz zwischen den Körnern verhindert die Entwicklung von großen Körnern bei hoher Bestandesdichte mit mehr als 17.000 Körnern pro  $m^2$ . Die Y-Achse zeigt das Korngewicht in mg, die X-Achse die Anzahl der Körner pro  $m^2$ . Die Untersuchung wurde mit 5 Braugerstensorten im Pariser Becken durchgeführt. 8
- Abbildung 3: Netzdiagramm zur Vegetationsentwicklung der Sommergerste, Garching 1990, Mittelwertskurven (SCHNEIDER 1994). 11
- Abbildung 4: Schematische Darstellung des *Mars Crop Yield Forecasting Systems* der Europäischen Kommission (DELINCE 2004). 14
- Abbildung 5: Phänologischer Kalender Sommergerste für 5 Anbauregionen, Zalud, Z., M. Trnka und P. Hlavinka in MOCA- Studie, 2004. 15
- Abbildung 6: Vergleich von gemessenen und mit den Modellen CERES, SWAP und WOFOST simulierten Kornerträgen von Gerste und Weizen auf den Böden Chernosem, sandiger Chernosem und Fluvisol (EIZINGER et al., 2004). 16
- Abbildung 7: Beobachteter versus simulierter Ertrag bei Winterweizen in 3 tschechischer Anbauregionen (ZALUD et al., 2003). 17
- Abbildung 8: Sensitivitätsanalyse des wasserbegrenzten Sommergerstenkornenertrags (Sorte Akcent) bei unterschiedlicher Verfügbarkeit des Bodenwassers unter gegebenem und verdoppeltem  $CO_2$  Angebot (TRNKA et al., 2004). 18
- Abbildung 9: Sensitivitätsanalyse mit PERUN für Sommergerste mit veränderten Temperaturen und Niederschlägen nach dem 120. Tag des Jahres, die Variante „no change“ stellt die normalen Klimabedingungen des Versuchsgutes Domaninek in Mähren dar (DUBROVSKY et al. 2002). 19
- Abbildung 10: Eingabemaske des dynamischen Wachstumssimulationsmodells PERUN (DUBROVSKY et al. 2004). 20
- Abbildung 11: Darstellung der tatsächlichen Ertragshöhe und des Erntetermins in roten Linien und der prognostizierten Erträge in gelben Punkten sowie dem modellierten Ertrag und Erntedatum in blauen Linien für das Jahr 1986 mit dem Programm PERUN (DUBROVSKY et al. 2004). 20
- Abbildung 12: Ausschnittkarte der Tschechischen Republik mit Landkreis- und Bezirksgrenzen. Das Trainingsgebiet ist orange gekennzeichnet, die orange Linie umgrenzt das Untersuchungsgebiet. 22
- Abbildung 13: Klimatologisch-pedologische Einteilung Tschechiens, (ZALUD und TRNKA 2004). Braugerste wird außer in den hellgrünen Futterbaugebieten überall angebaut. Das Trainingsgebiet ist durch eigene Ergänzung orange gekennzeichnet. Maisland rot, Zuckerrübenland gelb, Getreideland blau, Kartoffelland lila, Futterland grün. Die Namen der Anbaugebiete leiten sich aus der bevorzugten Anbaukultur ab. 24
- Abbildung 14: Oberflächenbedeckung im Untersuchungsgebiet (ha), Bezirk Pilsen und Landkreis Strakonice (tschechisches Statistikamt, Statistisches Jahrbuch 2004). 27
- Abbildung 15: Klimadiagramme der Station Kocelovice ( $\emptyset$  1961 – 1990) 30
- Abbildung 16: Eingabemaske für die agrarmeteorologische Datenbank 31
- Abbildung 17: geographische Abdeckung des AVHRR-Datenempfangs in Oberpfaffenhofen, <http://wdc.dlr.de/sensors/avhrr/main.html> 37
- Abbildung 18: Prozessierungskette des DFD zur Bereitstellung höherwertiger Fernerkundungsdatenprodukte, <http://wdc.dlr.de/sensors/avhrr/main.html>  
 GISIS= Graphical Intelligent Satellite Data and Information System, EOWEB= Earth Observation Data Service, SST= Sea Surface Temperature, LST= Land Surface Temperature, L= Level. 38



- Abbildung 19: Die linke Grafik zeigt Objekte, die mit Rasterpolygonen umfasst sind, in der rechten Grafik sind die Polygone geglättet (BAATZ, 2001). Beispiel entnommen dem Handbuch für ECOGNITION©. 45
- Abbildung 20: Phänophasen der 24 Parzellen Sommergerste links 2001 und rechts 2002. Aussaat (AS), Auflaufen (AL), Schossen (Sch), Ährenschieben (ÄS), Gelbreife (GR). 50
- Abbildung 21: Abstand in Tagen zwischen der ersten und der letzten Trainingsfläche, die in die phänologischen Phasen Aussaat, Auflaufen, Schossen, Ährenschieben, Milch-reife, Gelbreife und Ernte eintritt. 2001 in blau und 2002 in braun dargestellt. 51
- Abbildung 22: Schema der phänologischen Entwicklung der Sommergerste. Auflaufen (AU), Jugendentwicklung (JE), Massenwachstum (MW), Kornfüllung (KF), Milchreife (MR), Seneszenz (SE). 53
- Abbildung 23: Entwicklung von Bestimmtheitsmaß, Standardfehler und Summe der Abweichungsquadrate im Laufe der Variablenselektion. 59
- Abbildung 24: Konfusionsmatrix der Klassifikation auf Basis des Landsat-Gesamtbildes 2001. (vergl. Tab. 10 und Kap. 3.6.2.3). Sommergerste (SG) mit Untersaaten (m.U.), Winterweizen (WW), Kappa Index of Agreement (KIA). 64
- Abbildung 25: Konfusionsmatrix der Klassifikation auf Basis des Gesamtbildes 2001 (vergl. Tab. 9). Sommergerste (SG) mit Untersaaten (m.U.), Winterweizen (WW), Kappa Index of Agreement (KIA). 64
- Abbildung 26: Konfusionsmatrix der Klassifikation auf Basis des Landsat-Gesamtbildes 2002 (vergl. Tab. 12). Sommergerste (SG) mit Untersaaten (m.U.), Winterweizen (WW), Kappa Index of Agreement (KIA). 65
- Abbildung 27: Konfusionsmatrix der Klassifikation auf Basis des Gesamtbildes 2002, 6 Termine, 16 Kanäle (vergl. Tab. 11). Sommergerste (SG) mit Untersaaten (m.U.), Winterweizen (WW), Kappa Index of Agreement (KIA). 65
- Abbildung 28: Vergleich der statisch erfassten mit den modellierten Kornerträgen in vier Regionen. 70
- Abbildung 29: Vergleich der statisch erfassten mit den retro-prognostizierten Kornerträgen in vier Regionen. 71
- Abbildung 30: Vergleich der statisch erfassten mit den nach der Schelling-Methode modellierten Sommergerstenkornerträgen im Bezirk Pilsen und in den Landkreisen Pilsen-Süd, Klatovy und Strakonice, 1:1 Darstellung der Tabelle 20. 76
- Abbildung 31: Vergleich der in der Agrarstatistik berichteten Sommergerstenerträge 1993 bis 2003 mit den retroprognostizierten Erträgen (ohne das Schätzjahr im XY-Space) im Bezirk Pilsen und den Landkreisen Pilsen-Süd, Klatovy und Strakonice, 1:1 Darstellung der Tabellenwerte in der Tabelle 21. 77
- Abbildung 32: Der statistisch erfasste Kornertrag Sommergerste im Bezirk Pilsen (YPLZ) in den Jahren 1993 bis 2002 im Vergleich zu den mit 10 nach unterschiedlichen Prämissen erstellten Regressionsgleichungen modellierten Kornerträgen. 80
- Abbildung 33: Nach der Jackknife-Methode prognostizierte Erträge aus den Variablen, die in die 10 Modelle Eingang fanden, im Vergleich zu den tatsächlichen Kornerträgen. Bildliche Darstellung der Werte aus der Tabelle 26. 82
- Abbildung 34: Schematische Darstellung der phänologischen Entwicklung von Getreide und dem Zeitfenster für die NDVI-gebundene Fungizidbehandlung. 84

## 9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Das administrative System des Untersuchungsgebietes (FISCHER, 2004).	23
Tabelle 2: Die 5 Anbauzonen Tschechiens, Charakterisierung zu Abb. 13, (KLABZUBA et al. 1999, ZALUD und TRNKA 2004). ZR=Zuckerrüben, WW=Winterweizen.	25
Tabelle 3: Zahl der landwirtschaftlichen Betriebe im Untersuchungsgebiet und ihre Rechtsformen (CSU, 2004).	26
Tabelle 4: Zahl der landwirtschaftlichen Betriebe im Untersuchungsgebiet nach Flächenausstattung in ha LN (tschechisches Statistikamt 2004).	27
Tabelle 5: Temperatur- und Niederschlagswerte ( $\bar{\varnothing}$ 1961 – 1990) der Wetterstation Kocelovice in den Monaten März bis August (Vegetationsperiode der Sommergerste)	31
Tabelle 6: Erworbene Satellitenszenen der Region Westböhmen. B=blau, G=grün, R=rot, NIR=Nahinfrarot, MIR=mittleres Infrarot.	34
Tabelle 7: Geometrische Transformation der Satellitenszenen.	35
Tabelle 8: Atmosphärenkorrektur mit ATCOR 3.	36
Tabelle 9: Gesamtbild 2001	41
Tabelle 10: LANDSAT-Gesamtbild 2001	42
Tabelle 11: Gesamtbild 2002	42
Tabelle 12: LANDSAT-Gesamtbild 2002	43
Tabelle 13: Termine 1993 bis 2003, an denen die 1000° GDD-Grenze überschritten wurde.	52
Tabelle 14: statistisch erfasste und fernerkundlich detektierte Anbaufläche Sommergerste in 3 Landkreisen 2001 und 2 Landkreisen 2002.	67
Tabelle 15: Modellierte Daten von Aussaat, Auflaufen, Schossen, Ährenschieben, Gelbreife und Ernte 1993 bis 2003.	68
Tabelle 16: modellierte Sommergerstenkornenerträge $\hat{Y}$ und statistisch erfasste SG-Kornenerträge $Y$ [ t ha <sup>-1</sup> ] in den tschechischen Regionen Bezirk Pilsen, Landkreis Pilsen-Süd, Landkreis Klatovy und Landkreis Strakonice.	70
Tabelle 17: Schätzung der Sommergerstenerträge im Bezirk Pilsen und den Landkreisen Pilsen-Süd, Klatovy und Strakonice mit den selektierten Variablen ohne das Schätzzjahr im Datenvorrat (XY-Space). $Y$ =Kornenertrag nach Statistik, $RP\hat{Y}$ =Retroprognostizierter Ertrag.	71
Tabelle 18: F-Werte der Regressionsgleichungen zur Schätzung der Sommergerstenkornenerträge im Bezirk Pilsen und den Landkreisen Pilsen-Süd, Klatovy und Strakonice und kritische F-Werte lt. F-Tabelle (vergl. Kapitel 3.8.1.3 Testmethoden). $v_1$ ist die Zahl der X-Variablen in der Regressionsgleichung und $v_2$ ist die Zahl der Stichprobenjahre minus der (Zahl der X-Variablen +1).	72
Tabelle 19: Die verwendeten Variablen und ihre Signifikanzniveaus, >95% fett gedruckt.	74
Tabelle 20: Vergleich der statistisch erfassten ( $Y$ ) mit den nach der Methode Schelling geschätzten ( $\hat{Y}$ ) Sommergerstenkornenerträgen [ t ha <sup>-1</sup> ] im Bezirk Pilsen und in den Landkreisen Pilsen-Süd, Klatovy und Strakonice.	76
Tabelle 21: Vergleich der in der Agrarstatistik berichteten Sommergerstenerträge ( $Y$ ) 1993 bis 2003 mit den retroprognostizierten ( $RP\hat{Y}$ ) Erträgen (ohne das Schätzzjahr im XY-Space) im Bezirk Pilsen und den Landkreisen Pilsen-Süd, Klatovy und Strakonice.	77
Tabelle 22: Ergebnisse des F-Testes zur Bewertung der Regressionsformeln zur Schätzung der Sommergerstenkornenerträge im Bezirk Pilsen und den Landkreisen Pilsen-Süd, Klatovy und Strakonice. $v_1$ ist die Zahl der X-Variablen in der Regressionsgleichung und $v_2$ ist die Zahl der Stichprobenjahre minus der (Zahl der X-Variablen +1).	78

Tabelle 23: In den nach der Methode Schelling zur Regression der regionalen Sommergerstenkornenerträge verwendete Variable und ihre Signifikanzniveaus	78
Tabelle 24: Aus 10 mit unterschiedlichen Vorgaben erstellten Regressionsgleichungen (siehe Seite 64) modellierte Erträge für den Bezirk Pilsen in den Jahren 1993 bis 2002, die Lücken entstanden wegen fehlender NDVI-Werte.	79
Tabelle 25: Die unabhängigen Variablen, die für die 10 verschiedenen Regressionsmodelle zur Schätzung des Sommergerstenkornenertrages im Bezirk Pilsen selektiert wurden.	80
Tabelle 26: Nach der Jackknife-Methode prognostizierte Sommergerstenkornenerträge im Bezirk Pilsen für die Jahre 1993 bis 2002 aus den Variablen in Tabelle 25, die in den 10 Modelle verwendet wurden. Zum Vergleich die Sommergerstenkornenerträge nach Agrarstatistik, YPLZ.	81
Tabelle 27: Ertragssteigernde und ertragsmindernde Faktoren, die mit dem Kornenertrag im Bezirk Pilsen und den Landkreisen Pilsen-Süd, Klatovy und Strakonice mit $\rho \geq 0,4$ oder $\rho \leq -0,4$ mit dem Sommergerstenkornenertrag korrelieren.	83
Tabelle 28: Ertrags-, qualitäts- und pflanzengesundheitsfördernde Faktoren und ihre Bewertung. Sie korrelieren zum mehr als 0,4 mit den Kornenerträgen im Bezirk Pilsen und in den Landkreisen Pilsen-Süd, Klatovy und Strakonice und wirken gemeinsam auf die Ertrags- und Qualitätsbildung förderlich.	85
Tabelle 29: Ertrags-, qualitäts- und pflanzengesundheitsmindernde Faktoren und ihre Bewertung. Sie korrelieren mit den regionalen Sommergerstenkornenerträgen mit $r \leq -0,4$ .	85
Tabelle 30: Gewogene Mittelwerte der Wirkfaktoren	86

## 10. Literaturverzeichnis

- AASE, J.K. und F. H. SIDDOWAY (1980): Determining winter wheat stand densities using spectral reflectance measurements. – *Agronomy Journal*, Bd. 72, S. 149 – 152.
- AASE, J.K. und F. H. SIDDOWAY (1981): Spring wheat yield estimates from spectral reflectance measurements; *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, GE-19, 78-84.
- AHLRICHS & BAUER (1983): Relation of agronomic and multispectral characteristics of spring wheat canopies. *Agronomy Journal*, Bd. 75, S. 987 – 993.
- ALBERTZ, J. (2001): Einführung in die Fernerkundung; Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- ANONYMUS, (1999): ERDAS Field Guide. Handbuch zur Software ERDAS IMAGINE.
- ANONYMUS (2000):Herausgeber: Tschechisches Ministerium für ländliche Entwicklung und Landwirtschaftsministerium. Agriculture and Rural Development Plan of the Czech Republic 2000-2006, SAPARD Plan. Prag.  
<http://www.sapard.cz/en/index.php>
- ANONYMUS (2005): Act No 89/1095 Coll. Of 20 April 1995 on The State Statistical Service, Prag. [http://www.czso.cz/eng/redakce.nsf/i/the\\_state\\_statistical\\_service\\_act\\_\(as\\_a\\_whole\)/\\$File/Act2005.pdf](http://www.czso.cz/eng/redakce.nsf/i/the_state_statistical_service_act_(as_a_whole)/$File/Act2005.pdf)
- ARKIN et al. (1980) : Forecasting grain sorghum yields using simulated weather data and updating techniques. *Transactions of the ASAE*, Bd. 23, S. 676-680.
- ASHCROFT et al. (1990): The relation between reflected radiation and yield on Brouadbalk winter wheat experiment. *International Journal of Remote Sensing*, Jhrg.11, Bd.10 1821 – 1836.
- ATZBERGER, C. (1998): Estimates of winter wheat production through remote sensing and crop growth modelling: a case study on the Camargue region; Verlag für Wissenschaft und Forschung, Berlin.
- BAATZ, M. (2001): eCognition -object oriented image analysis- User Guide ; München.
- BACHMANN, U. (1990): Ursachen der Ertrags- und Qualitätsvariationen und Ableitung von Maßnahmenkombinationen für gebrauchswertorientierte Höchstserträge von Braugerste unter besonderer Berücksichtigung der Bodenfruchtbarkeit. Diss. Halle.
- BÄHR, H.-P. et T. VÖGTLE (1991): Digitale Bildverarbeitung- Anwendung in Photogrammetrie, Kartographie und Fernerkundung. Heidelberg.
- BAHRENBURG, G., E. GIESE und J. NIPPER (2003): Statistische Methoden in der Geographie, Bd.2, Multivariable Statistik. Stuttgart.
- BARET, F. (1991): Vegetation canopy reflectance: Factors of variation and application for agriculture. – in: Belward & Valenzuela (Ed.) : *Remote Sensing and Geographical Information Systems for Resource Management in Developing Countries*, ECSC, EEC, EAEC, Luxemburg, S. 145 – 167.

- BARET, F. und G. GOUYOT (1986): Suivi de la maturation de couvert de ble par radiometrie dans les domaines visibles et proche infra-rouge. *Argronomie*, Bd. 6, S. 509-516.
- BARNETT, T. L. und D.R. THOMPSON (1983): Large-Area relation of Landsat MSS and NOAA-6 AVHRR spectral data to wheat yields. *Remote sensing of environment*, Bd. 13, S. 277-290.
- BINDER, J., und M. ORTNER (1978): Die Abhängigkeit der Erträge vom Witterungsverlauf. *Schriftenreihe d. agr. Instituts des BMFLW, Wien*.
- BRAUN, H. (1980): Die Stickstoffdüngung des Getreides. DLG-Verlag, Frankfurt.
- BROCKHAUS, F.A. (2001): Die Enzyklopädie. Leipzig, Deutschland.
- CESKY STATISTIKY URAD (2004): Statistical Yearbook of Plzensky Region, Methodological notes, Agriculture and Forestry, Pilsen,, CZ.  
<http://www.czso.cz/kraje/roc/data2004/13320104/data/eng/data/html/method06.htm>
- CESKY STATISTIKY URAD (2004): Statistical Yearbook of Plzensky Region, Characteristics, Agriculture and Forestry, Pilsen, CZ.  
<http://www.czso.cz/kraje/roc/data2004/13320104/data/eng/data/html/character.htm>
- CHMIELEWSKI, F.-M.(1998): Der Einfluss der Witterung auf die Ertragsbildung der Sommergerste. In: *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, Bd.11, S.97-98.
- COLWELL, L.E., D.P. RICE, R.F. NALEPKA (1977): Wheat-yield forecast using Landsat data. -in: *Proc. Of the 111<sup>th</sup> international symposium on remote sensing of environment*, 1245-1254.
- CSORNAI, G., CS. WIRNHARDT, ZS. SUBA, P. SOMOGYI, G. NÁDOR, L. MARTINOVICH, L. TIKÁSZ, A. KOCSIS, B. TARCSAI, GY. ZELEI (2002): Remote Sensing Based Crop Monitoring in Hungary. *Földmeresi es Taverzekelesi Intezet*. <http://www.fomi.hu/internet/magyar/Projekt/remensmonit.htm>
- DECH, S., TUNGALAGSAIKHAN, P., PREUSSER, C., & MEISNER, R.(1998): Operational value-adding to AVHRR data over Europe: methods, results, and prospects. *Aerospace Science and Technology*, 5, 335-346.
- DELECOLLE, R., S.J. MAAS, M. GUERIF und F. BARET (1992): Remote sensing and crop production models: present trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Bd. 47, S. 145-161.
- DELINCE, J. (2004): The Agrifish Unit. *Mars Agrifish.pdf*. European Commission, Directorate General, Joint Research Centre, Ispra, Italien.
- DUSEK et al. (1985): Winter wheat vegetation indices calculated from combinations of seven spectral bands. *Remote sensing of Environment*, Bd. 18. S. 255 – 267.
- DUBROVSKY, M., Z. ZALUD, M. TRNKA, J. HABERLE, P. PESICE (2004): PERUN The System for Seasonal Crop Yield Forecasting Based on the Crop Model and Weather Generator. Workshop, *Vyzkumny Ustav Rostlinne Vyroby*, Praha, 2004-04-02 [PPT].

- DUBROVSKY; M., Z. ZALUD , M. TRNKA , P. PESICE, J. HABERLE (2002): PERUN- The System for the Crop Yield Forecasting. XIV. Cesko-Slovenska Bioklimatologicka Konferenc, 2.-4.9.2002, Lednice, S. 1-10, Czech Republic.
- EITZINGER, J., TRNKA, M., HÖSCH, J., ZALUD, Z. DUBROVSKY, M. (2004): Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. Ecological Modelling, Bd. 171, S. 223-246.
- FILIP, Jana (1994): Entwicklungstendenzen der Agrarstrukturen in der Tschechischen und der Slowakischen Republik. Osteuropastudien der Hochschulen des Landes Hessen. Bd.199, Reihe 1, Berlin.
- FISCHER, J. (2004): [Systematická část](http://www.czso.cz/csu/klasifik.nsf/i/13ED35BB70985093C1256F820046622E/$File/CZ-NUTSsystem.pdf) klasifikace CZ-NUTS, Český statistický úřad, [http://www.czso.cz/csu/klasifik.nsf/i/13ED35BB70985093C1256F820046622E/\\$File/CZ-NUTSsystem.pdf](http://www.czso.cz/csu/klasifik.nsf/i/13ED35BB70985093C1256F820046622E/$File/CZ-NUTSsystem.pdf)
- FOCKELMANN, R. (2001): Agricultural parcel detection with eCognition 2.0. ECognition application notes Bd.2, Nr.10. <http://www.gaf.de>
- GAUSS, Carl Friedrich und Anton BÖRSCH (Hrsg.) (1887): Abhandlungen zur Methode der kleinsten Quadrate. Vaduz, Liechtenstein, 208 S.
- GARDNER et al. (1985): Evaluation and interpretation of Thematic Mapper ratios in equations for estimating Corn growth parameters. Remote sensing of Environment, Bd. 18, S. 255- 234.
- GIOVACCHINI (1986): An evaluation of different green vegetation indices for Wheat yield forecasting. Symposium on Remote Sensing for Resources Development and Environmental Management, Enschede, S. 265 – 267.
- GODWIN, D.C., J.T. RITCHIE, U.SINGH, L.HUNT (1989): A User's Guide to CERES Wheat-V2.10. International Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, AL.
- GOWARD, S.N. und D.G. DYE (1987): Evaluating North American net primary productivity with satellite observations; Advances in Space Research, Jahrgang 7, Heft 11, S. 165 – 174.
- GRENZDÖRFER, G. und T. FOY (2000): Digitales low-cost Fernerkundungssystem für Precision Farming. Publikation d. Deutschen Gesellschaft f. Photogrammetrie u. Fernerkundung, Bd. 8, Berlin.
- HAMACHER, M., I.RADEMACHER, S.HAWLITSCHKA & W.KÜHBAUCH (2001): Erkennung landwirtschaftlicher Nutzpflanzenbestände mittels multitemporaler ERS-1/-2 Radaraufnahmen. Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation, Heft 2/2001.
- HANUS, H. (1969): Beziehungen zwischen Witterungsverlauf und Ertragsleistungen einiger Feldfrüchte sowie Möglichkeiten für eine frühzeitige Prognose. Habil. Schrift, Universität Bonn.
- HANUS, H. und O. AIMILLER (1978): Ertragsvorhersage aus Witterungsdaten.-Fortschritte in Acker und Pflanzenbau, Sonderheft 5. Berlin, Hamburg.

- HATFIELD, J.L. (1981) : Spectral behaviour of Wheat yield variety trials. PERS, Bd. 47, S.1487 – 1491.
- HOOGENBOOM, G., J.W. JONES, P.W.WILKENS, W.D.BATCHELOR, W.T.BOWEN, L.A.HUNT, N.B.PICKERING, U.SINGH, D.C.GODWIN, B.BEAR, K.J.BOOTE, J.T.RITCHIE, J.W.WHITE (1994): Crop Models, DSSAT Version 3.0. International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer, University of Hawaii, Honolulu, 692 pp.
- HUBIK, E. (1993): The effect of weather conditions on formation of yield-forming components of spring barley. Rostlinna výroba, Jahrgang 39, Bd. 8, S. 723-734.
- HÜNTING, K., WEISSTEINER, C. J., KÜHBAUCH, W. (2003): Yield prediction of malting barley based on meteorological data.1, 2003 IEEE International geosciences and Remote sensing symposium IGARSS, Toulouse/ Frankreich, 21. - 25. Juli 2003, S. 383-385.
- IDSO, S.B., J.L. HATFIELD, R.J. REGINATO, R.D. JACKSON (1978): Wheat yield estimation by albedo measurement. – Remote sensing of Environment, Bd. 7, S. 273 – 276.
- IDSO, S.B., J.P. PINTER, R.J. REGINATO, R.D. JACKSON (1980): Estimations of grain yields by remote sensing of crop senescence rates. Remote sensing of Environment, Bd. 9, S. 87-91.
- KLABZUBA, J., V. KOZVAROVA, J.VOBORNIKA (1999): Hodnoceni pocasi v zemedelstvi. Bewertung des Wetters in der Landwirtschaft. Ceska zemedelska univerzita v Praze, KOPRA AF, Meteorologie, Prag 6-Suchdol.
- KLAEDTKE, H.-G., M. KLEYER, W. KUHN (1991): Klassifizierung der Landnutzung aus Landsat-5-TM-Bilddaten in Baden-Württemberg für die Jahre 1990 und 1991; in:W. Kühbauch & K. Dockter (Hrsg.): Fernerkundung in der Land- und Forstwirtschaft, Berichte der GIL, Bd. 1.
- KLEMAN und FAGERLUND (1987): Influence of different nitrogen and irrigation treatments on the spectral reflectance of Barley. Remote Sensing of Environment, Bd. 21, S. 1-14.
- KLOß, M. (1987): Wirkung der Witterung auf die Qualität von Braugerste in zwei Dauerversuchen sowie Untersuchungen zu den Möglichkeiten einer Qualitätsprognose; Dissertation, Halle (Saale).
- KÖHLER, W., G. SCHACHTEL und P.VOLESKE (2002): Biostatistik. Eine Einführung für Biologen und Agrarwissenschaftler. Berlin Heidelberg New York.
- KREUTZ, E. (1962): Der Einfluss der Witterung auf den Kornertrag und die Qualität der Braugerste. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau, Band 114, Heft 4, S. 341-374.
- KÜHBAUCH, W., G. KUPFER, J. SCHELLBERG, U. MÜLLER, K. DOCKTER und U. TEMPELMANN (1990): Fernerkundung in der Landwirtschaft. Luft- und Raumfahrt 11 (4), 36-45.
- KÜHBAUCH, W. (1991): Artenerkennung und Zustandsbeschreibung landwirtschaftlicher Nutzpflanzen mit Fernerkundung; in: W. Kühbauch & K. Dockter (Hrsg.): Fernerkundung in der Land- und Forstwirtschaft, Berichte der GIL, Bd. 1.

- KURPELOVA, M., (1972): Fenologicke pomery kraja. In.: Petrovic, S. (ed.): Klimaticke a fenologicke pomery Stredoslovenskeho kraja. Hydrometeorologicky ustav Bratislava, p. 327 - 415.
- LANG, J. (1966): Der Einfluss von Klimafaktoren auf Wachstums- und Entwicklungsverlauf sowie Ertrags- und Qualitätsleistung der Braugerste, dargestellt anhand internationaler Anbauversuche. Dissertation, München.
- LE BAIL, M. (1997): Maîtrise de la qualité des céréales a l' échelle du bassin d'approvisionnement d'une entreprise de collecte-stackage. Approche agronomique. Diss. INA P-G.
- LEBLON et al. (1991): The use of remotely sensed data in estimation of PAR use efficiency and biomass production of flooded Rice. Remote Sens. Environ., Bd. 38, S. 147-158.
- LILLESAND, T. und R. KIEFER (2000): Remote sensing and image interpretation. 4. Auflage, New York, USA.
- LE BAIL, M. and MEYNARD, J.(2003): Yield and protein concentration of spring malting barley: the effects of cropping systems in the Paris Basin (France), in: Agronomie 23 (2003), 13 – 27.
- LUDOWICY, C., R. SCHWAIBERGER und P. LEITHOLD (2002): Precision Farming. Frankfurt.
- MAAS, S. J. (1988): Using satellite data to improve estimates of crop yield. Agron. J. Bd. 80, S. 655-662.
- MAC DONALD, R.B. and HALL, F.G. (1980): Global Crop Forecasting; Science, Bd. 208, S. 670-679.
- MAKKINK, G.F. and H.D.J. van HEEMST (1956): The actual evapotranspiration as a function of the potential evapotranspiration and the soil moisture tension. Netherlands Journal of Agriculture Science Bd. 4, S. 67 – 72.
- McCLOY, K., B.F. PEDERSEN, R. LARSEN (2005): FarMap: A proposed method of field level land use mapping of agricultural areas across Europe. In: Oluic, M. (ed.). New Strategies for European Remote Sensing. Millpress, Rotterdam, pp. 531-537.
- MARKHAM et al. (1981): Temporal spectral response of a Corn canopy. PERS, Bd.48, Heft 11, S. 1599 – 1605.
- MCMASTER, G.S., KLEPPER, B., RICKMAN, R.W., WILHELM, W.W., WILLIS, W.O., (1991): Simulation of aboveground vegetative development and growth of unstressed winter wheat. Ecol. Model. Bd. 53, S. 189- 204.
- MINISTERIUM für LANDWIRTSCHAFT und MINISTERIUM für LÄNDLICHE ENTWICKLUNG (Hrsg) (2000): Landwirtschaftlicher und ländlicher Entwicklungsplan 2000 – 2006, SAPARD PLAN, Prag.  
<http://www.sapard.cz/en/index.php>
- MÜLLER, A. (2001): eCognition - Advanced land use classification using polarimetric high-resolution SAR. eCognition Application note Bd.2, Nr.6,.



- MÜLLER, A. (2001): eCognition - Advanced land use classification using hyperspectral HyMap data. -eCognition application notes, Bd. 2, Nr. 9, September 2001: <http://www.definiens-imaging.com/down/notes/hymap.pdf>.
- LUX, Josef (1995): Landwirtschaft der Tschechischen Republik; MINISTERIUM für Landwirtschaft der Tschechischen Republik Prag.
- MONTEITH, J.L. (1977): Climate and the efficiency of crop production in Britain; Phil. Trans. R. Soc. London Ser. B., Bd. 281, S. 277-294.
- MÜLLER, C. (2000): Der Beitrag der Fernerkundung zur Qualitätsschätzung von Braugerste; Thesis/Diss., Universität Bonn.
- OTTER-NACKE, S., J.T. RITCHIE, D.C. GODWIN, U.SINGH (1991): A User's Guide to CERES Barley- V 2.10. International Fertilizer Development Center Simulation Manual, IFDC-SM-3. S. 87 pp.
- PATEL, N.K., T.P.SINGH, B.SAHAI (1985): Spectral response of rice crop and its relation to yield and yield attributes. International Journal of remote sensing, Bd.6,Heft 5, 657-664.
- PEARSON et al. (1976) : Spectral mapping of shortgrass prairie biomass; PERS, Bd.42 Heft 3 S. 317-323.
- PEDERSEN, B. (2005): Use of very high resolution imagery in the control of area based subsidies with remote sensing. Vortrag anlässlich des EARSeL Workshops Remote Sensing of Land Use & Land Cover, 28.+29.Mai 2004, Dubrovnik. Publiziert in Earsel eProceedings 4 1/2005 unter: [http://las.physik.uni-oldenburg.de/eProceedings/vol04\\_1/04\\_1\\_pedersen1.pdf](http://las.physik.uni-oldenburg.de/eProceedings/vol04_1/04_1_pedersen1.pdf)
- PENMAN, H.L. (1948): Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of Royal Society, Series A 193, S. 120-146.
- PESTEMALCI, V. et al. (1995): Acreage estimation of wheat and barley fields in the province of Adana, Turkey. Remote sensing, Vol.16, No. 6, S.1075 – 1085.
- PINTER, P. J. Jr., R. D. JACKSON, S.B. IDSO und R. J. REGINATO (1981): Multidate spectral reflectance as predictor of yield in water stressed wheat and barley; International Journal of Remote Sensing, Bd. 2, S. 43 – 48.
- PUYOU LASCASSIES, P. et al. (1994): Extracting crop radiometric responses from simulated low and high spatial resolution satellite data using a linear mixing model. Int. J. of Remote Sensing, Vol. 15, no. 18, pp. 3767-3784.
- QUARMBY, N.A., M. MILNES, T.L.HINDLE, N.SILLEOS (1993): The use of multi-temporal NDVI measurements from AVHRR data for crop yield estimation and prediction. International journal of remote sensing, Band 14, Heft 2, S.199-210.
- RAWLINGS, J. S. PANTULA et D. DICKEY (1998): Applied Regression Analysis- A Research Tool. II. Edition, New York, Vereinigte Staaten v. Amerika.
- RICHTER, R., (1998): Correction of satellite imagery over mountainous terrain. Applied Optics, Band 7, Heft 8, S. 4004-4015.

- ROUSE, J.W., R.H. HAAS, J.A. SCHELL, D.W. DEERING et J.C. HARLAN (1974):  
Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation.  
NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, Vereinigte Staaten v. Amerika..
- SCHEFFER, K. (1974): in: BILSTEIN U.(Hrsg.): Lexikon der neuzeitlichen Landwirtschaft.  
Verlag Girardet, Essen.
- SCHELLING, K. (2000): Aufbau eines operationellen fernerkundungs- und GIS-gestützten  
Systems zur Zustandsbeschreibung, Ertrags- und Qualitätsabschätzung von  
Braucherbeständen; Thesis/Diss., Universität Bonn.
- SCHELLING, K., K. BORN, C. WEISSTEINER, W. KÜHBAUCH (2003): Relationships  
between yield and quality parameters of malting barley (*Hordeum vulgare L.*) and  
phenological and meteorological data; J. Agronomy & Crop Science, 189, 113-122.
- SCHNEIDER, T. (1994): Möglichkeiten und Grenzen der spektralen Trennbarkeit  
ackerbaulicher Oberflächentypen- eine Abschätzung anhand spektroskopischer  
Untersuchungen über die Vegetationsperiode, ZADI, Bonn.
- SCHOWENGERDT, R.A. (1997): Remote Sensing – Models and Methods for Image  
Processing. San Diego, Vereinigte Staaten v. Amerika.
- SHIBAYAMA & AKIYAMA (1989): Seasonal visible, near-infrared and mid-infrared  
spectra of Rice canopies in relation to LAI and above-ground dry biomass. Remote  
sensing of Environment, Bd. 27, S. 119 – 127.
- SOKAL, R. et F.J.ROHLF (1969): Biometry, The principles and practice of statistics in  
biological research. San Francisco, Vereinigte Staaten v. Amerika.
- STASTNA, M., M. TRANKA, J. KREN, M. DUBROVSKY, Z. ZALUD, (2002): Evaluation  
of the CERES models in the different production regions of the Czech Republic,  
Rostlinna výroba, Jhrg. 48, Bd. 3, Seite 125-132.
- STEINMETZ et al. (1990): Spectral estimates of the absorbed photo synthetically active  
radiation and light-use efficiency of a winter wheat crop subjected to nitrogen and  
water deficiencies. International J. Remote Sensing. Jahrg. 11, Bd.10, S. 1797 –1808.
- SUPIT, I. et E. van der GOOT (2003): Updated sstem description of the WOFOST crop  
growth sinulation model as implemented in the crop growth monitoring system  
applied by the Europesn Commission. Heelsum, NL.  
<http://www.supit.cistroh.nl/start.htm>.
- SUPIT, I., A.A. HOOIJER, C.A. van DIEPEN (Eds), (1994): System description of the  
WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS. Publication EUR 15956  
EN of the Office of Official Publications of the EU, Luxemburg.
- TRNKA, M., M. DUBROVSKY, Z. ZALUD, ( 2004): Climate change impacts and adaption  
strategies in spring barley production in the Czech republic. Climate Change, Bd. 64,  
S.227-255.
- TUCKER, C.J. (1977): Spectral estimation of grass canopy variables.Remote Sensing of  
Environment, Bd. 6, S. 11-26.
- TUCKER, C.J. (1979): Red and photographic infrared linear combinations for monitoring  
vegetation. – in: Remote sensing of Environment,Bd. 8, S. 127 – 150.

- TUCKER, C. J. und B. J. HOLBEN (1980): Relationship of spectral data to grain yield variation; Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Jahrg. 46, Bd. 5, S. 657-666.
- TUCKER, C. J. et al. (1981): Remote sensing of total dry-matter accumulation on Winter Wheat. Remote sensing of environment, Band 11, S.171-189.
- TUCKER, C.J. et al. (1985): Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel 1980-1984. Remote Sensing of Environment, Bd. 17, S.233-249.
- TUNGALAGSAIKHAN, P., GÜNTHER, K.P., GESELL, G., DECH, S.W., RUPPERT, T. (2003): Operational processing of AVHRR data at DFD. In: Tagungsbände der Wissenschaftlich-Technischen Jahrestagung der DGPF, Band 12: Auf dem Weg zu operatonellen Prozessketten in Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation, 23. Jahrestagung der DGPF, Bochum 2003, pp. 464.
- TSCHECHISCHES STATISTIKAMT (2002): Vysledky sklizne obilovin, jecmen jarni. Ergebnisse der Getreideernte, Sommergerste. Prag.
- WEISSTEINER, C. (2003): Einsatz von Fernerkundungsdaten und bodengestützten Daten zur regionalen Ertragsvorhersage von Braugerste. Diss. Bonn.  
URN: urn:nbn:de:hbz:5N-03665  
URL: [http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss\\_online/landw\\_fak/2003/weissteiner\\_christof](http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online/landw_fak/2003/weissteiner_christof)
- WEISTEINER, C. und KÜHBAUCH, W. (2005): Regional yield forecast of malting barley (*Hordeum vulgare* L.) by NOAA-AVRR remote sensing data and ancillary data. Journal of Agronomy & Crop Sciences. 191, 308-320.
- WIBAWA, G.(1992): Approche par enquete et experimentation de l'effet de l'etat structural du sol sur la nutrition azotee et l'elaboration du rendement de l'orge de brasserie. Diss. INA P-G, Paris.
- YANG M. C. K. et DAVID H. ROBINSON (1986): Understanding and Learning Statistics by Computer, World Scientific, Singapore.
- ZALUD, Z., G.S. McMASTER, W.W. WILHELM ( 2003): Evaluating SHOOTGRO 4.0 as a potential winter wheat management tool in the Czech Republic. Europ. J. Agronomy Bd. 19, S. 495- 507.
- ZALUD, Z., M. TRNKA, M. DUBROVSKY (2000): Stanoveni zmeny produkcnihopotencialu jarniho jecmene s vyuzitim rustoveho modelu CERES- Barley. Rostlinna vyroba, Jhrg. 46, Bd. 9, S. 423 – 428.
- ZALUD, Z., M. et TRNKA (2004): MOCA Study: Czech Republic. In: Hrsg.: Europäische Kommission. Crop Monographies on Central European Countries..  
[http://agrifish.jrc.it/marsstat/Crop\\_Yield\\_Forecasting/MOCA/10000000.HTM](http://agrifish.jrc.it/marsstat/Crop_Yield_Forecasting/MOCA/10000000.HTM)

## 11. Anhang

## 11. Anhang

**Tabelle A 1: Sommergerstenproduktion im Bezirk Pilsen 1993 bis 2002  
(Tschechisches Statistikamt 2002)**

Jahr	Anbaufläche [ha]	Kornertrag [t ha <sup>-1</sup> ]	Produktion [t]
1993	36.849	3,45	126.954
1994	37.295	2,96	110.288
1995	28.028	2,86	080.104
1996	44.694	3,79	169.210
1997	49.605	3,51	173.907
1998	25.133	3,05	076.680
1999	24.447	3,48	084.956
2000	22.635	2,83	064.131
2001	23.109	2,82	065.113
2002	20.871	3,37	070.287

**Tabelle A 2: Sommergerstenproduktion im Landkreis Pilsen-Süd 1993 bis 2001  
(Tschechisches Statistikamt 2002)**

Jahr	Anbaufläche [ha]	Kornertrag [t ha <sup>-1</sup> ]	Produktion [t]
1993	7.503	3,41	25.558
1994	7.287	2,98	21.729
1995	6.044	2,76	16.709
1996	3.629	3,71	13.465
1997	4.233	3,89	16.467
1998	5.125	2,85	14.602
1999	4.496	3,52	15.838
2000	4.369	2,85	12.449
2001	5.184	2,79	14.448

**Tabelle A 3: Sommergerstenproduktion im Landkreis Klatovy 1993 bis 2001  
(Tschechisches Statistikamt 2002)**

Jahr	Anbaufläche [ha]	Kornertrag [t ha <sup>-1</sup> ]	Produktion [t]
1993	7.175	3,42	24.509
1994	7.606	3,30	25.115
1995	6.568	2,95	19.364
1996	6.307	4,27	26.960
1997	8.277	3,03	25.092
1998	5.894	3,12	18.403
1999	5.612	3,65	20.489
2000	4.926	3,07	15.135
2001	5.361	2,91	15.614

**Tabelle A 4: Sommergerstenproduktion im Landkreis Strakonice 1993 bis 2001  
(Tschechisches Statistikamt 2002)**

Jahr	Anbaufläche [ha]	Kornertrag [t ha <sup>-1</sup> ]	Produktion [t]
1993	06.215	3,78	23.522
1994	06.750	3,49	23.568
1995	06.214	3,33	20.667
1996	14.147	3,84	54.344
1997	14.130	3,59	50.706
1998	06.143	3,36	20.610
1999	04.998	3,48	17.369
2000	04.182	3,19	13.345
2001	03.799	3,56	13.516

**Tabelle A 5: Die 24 Trainingsflächen 2001 und 2002, Name, Identitätsnummer, Größe, Bodenart Sand (S), lehmiger Sand (IS), sandiger Lehm(sL) oder Lehm (L), Höhe über NN und die angebaute Braugerstensorte**

Jahr	Name	ID	Größe [ha]	Bodenart	Höhe ü.NN	Sorte
2001	Za rybniky	5	14,50	L	410 m	Kompakt
2001	Jamky za barochem	24	11,00	L	425 m	Kompakt
2001	Skubov	44	49,00	sL	450 m	Kompakt
2001	Strane	50	32,95	IS	500 m	Akcent
2001	Za voustrou	57	54,90	IS	475 m	Akcent
2001	Za mlejnem	77	24,13	L	460 m	Akcent
2001	Nad cestou	101	46,71	L	435 m	Akcent
2001	Vrbik	129	28,85	IS	460 m	Nordus
2001	Za louzky	134	25,85	IS	470 m	Nordus
2001	Hajky	205	33,25	IS	495 m	Madona
2001	Okrouhla	329	12,70	sL	570 m	Kompakt
2001	V souvozu	374	19,60	S	600 m	Nordus
2002	U noveho Dvora 5	3	17,85	sL	525 m	Nordus/Tolar
2002	Plachty 4	1	40,85	sL	520 m	Tolar
2002	Velkepole 2	225	41,76	sL	520 m	Tolar
2002	U Hajku 1	217	81,61	IS	475 m	Tolar
2002	Hlinena 3	11	52,01	L	560 m	Nordus
2002	Krajiny	64	25,97	IS	470 m	Kompakt
2002	Blahovec	74	28,50	IS	435 m	Jersey
2002	K mohelnici	83	30,00	IS	440 m	Kompakt
2002	Zakovy	86	30,61	IS	450 m	Kompakt
2002	V Zasedli	176	47,70	sL	585 m	Kompakt
2002	Marikuv krizek	191	10,01	sL	540 m	Nordus
2002	Za hristem	193	10,90	sL	535 m	Nordus

**Tabelle A 6: Die 24 Trainingsflächen 2001 und 2002, Identitätsnummer, Düngung, Kornertrag, Proteingehalt, Hektolitergewicht, Tausendkorngewicht und Vollkornertrag**

ID	Düngung	Korn- ertrag [t ha <sup>-1</sup> ]	Protein- gehalt %	Hektoliter gewicht [g/l]	1000 Korn- gewicht [g]	Voll- korn- ertrag [t ha <sup>-1</sup> ]
5	120l AHL,3 kg Krystalon,15 kg Biom	2,96	10,44	606	41,01	2,38
24	120l AHL,3 kg Krystalon,15 kg Biom	2,78	10,84	598	37,72	2,11
44	120 l AHL, 3 kg Krystalon	3,45	10,38	631	39,48	2,60
50	200 kg Synferta 12-12-12	3,10	09,69	662	44,23	2,56
57	200 kg Synferta 12-12-12	3,00	09,47	643	42,43	2,44
77	200 kg Synferta 12-12-12	3,00	10,19	662	42,59	2,37
101	200 kg Synferta 12-12-12	3,50	08,78	667	44,06	3,11
129	175 l AHL	3,32	10,13	671	39,21	2,76
134	130 l AHL	4,62	12,84	668	43,00	3,68
205	150 l AHL	4,34	10,09	662	40,54	3,52
329	200 kg NPK 15-15-15, 100 l AHL	4,93	10,22	657	42,11	3,69
374	200 kg NPK 15-15-15, 100 l AHL	4,70	10,34	633	44,48	3,83
3	200 kg Synferta 12-12-12	2,52	09,91	635	41,12	2,26
1	200 kg Synferta 12-12-12	2,30	09,72	630	42,03	2,13
225	200 kg Synferta 12-12-12	2,80	10,09	635	43,10	2,66
217	200 kg Synferta 12-12-12	3,00	10,00	622	42,15	2,63
11	200 kg Synferta 12-12-12, 80 l AHL	3,95	10,16	621	41,06	3,50
64	150 l AHL	3,75	12,16	642	41,04	3,25
74	150 l AHL	2,01	10,56	610	37,33	1,57
83	150 l AHL	1,20	12,50	636	39,38	1,02
86	150 l AHL	1,01	10,75	615	37,03	0,77
176	250 kg NPK 15-15-15, 100 l AHL	4,30	10,47	634	43,95	3,87
191	250 kg NPK 15-15-15, 100 l AHL	5,00	09,97	657	41,78	4,40
193	250 kg NPK 15-15-15, 100 l AHL	4,02	11,47	649	42,32	3,67

**Tabelle A 7: Die 24 Trainingsflächen 2001 und 2002, Identitätsnummer (ID), Länge der phänologischen Phasen in Tagen, Vorsaar (VS), Auflaufen (AU), Jugendentwicklung (JE), Massenwachstum (MW), Kornfüllung (KF), Seneszenz (SE)**

ID	VS	AU	JE	MW	KF	SE
5	117	13	29	14	42	21
24	104	16	38	15	44	19
44	96	15	33	24	43	20
50	116	11	25	17	44	29
57	102	11	25	25	47	31
77	112	12	28	19	41	24
101	112	9	21	21	47	29
129	94	13	30	27	44	20
134	95	14	32	24	45	27
205	94	14	31	28	44	27
329	94	14	31	28	43	19
374	116	14	30	13	44	20
3	76	17	40	22	38	38
1	76	18	40	21	43	33
225	75	18	40	17	44	43
217	73	18	40	18	44	39
11	71	18	42	22	51	34
64	97	15	31	14	47	27
74	92	18	35	13	39	20
83	94	17	32	13	44	32
86	100	14	27	16	47	38
176	73	18	40	23	46	29
191	72	18	41	19	42	23
193	72	18	41	19	48	31



**Tabelle A 8: Die 24 Trainingsflächen 2001 und 2002, Identitätsnummer, Trockenmasse und Proteingehalt vom Schossen bis zur Gelbreife. Oberirdische Trockenmasse Stadium des Schossens EC 31-33 [g m<sup>-2</sup>], oberirdische Trockenmasse Stadium der Blüte EC 65 [g m<sup>-2</sup>], oberirdische Trockenmasse Stadium der Milchreife EC 74 [g m<sup>-2</sup>], oberirdische Trockenmasse Stadium der Gelbreife EC 85 [g m<sup>-2</sup>], Ährentrockenmasse Stadium der Gelbreife EC 85 [g m<sup>-2</sup>], N-Gehalt der Blätter in % der Blatttrockenmasse im Stadium der Blüte EC 65, N-Gehalt der Blätter in % der Blatttrockenmasse im Stadium der Gelbreife EC 85, N-Gehalt der Ähren in % der Ährentrockenmasse im Stadium der Gelbreife EC 85.**

ID	TM EC 31-33 [g m <sup>-2</sup> ]	TM EC 65 [g m <sup>-2</sup> ]	TM EC 74 [g m <sup>-2</sup> ]	TM EC 85 [g m <sup>-2</sup> ]	ÄhrenTM EC 85 [g m <sup>-2</sup> ]	Blatt-N EC 65 %	Blatt-N EC 85 %	Ähren-N EC 85 %
5	*	466	*	849	552	2,61	0,92	1,48
24	*	443	*	767	499	3,19	1,19	1,51
44	*	458	*	889	613	2,76	1,26	1,37
50	*	464	*	773	467	1,95	0,97	1,31
57	*	530	*	689	446	1,71	0,8	1,31
77	*	511	*	887	550	2,08	0,84	1,36
101	*	459	*	706	459	2,06	0,81	1,3
129	*	677	*	813	488	2,23	1,04	1,51
134	*	885	*	1234	681	3,35	1,48	1,87
205	*	611	*	889	560	2,30	0,91	1,48
329	*	606	*	1038	675	2,48	1,14	1,43
374	*	599	*	1175	752	3,00	1,02	1,46
3	178	418	546	868	556	2,17	0,81	1,25
1	130	374	740	803	514	2,52	0,88	1,23
225	251	429	847	844	523	2,17	0,82	1,25
217	289	430	819	930	586	2,36	1,13	1,36
11	228	465	811	1067	662	2,95	1,04	1,38
64	227	576	827	967	580	3,03	1,08	1,58
74	155	396	662	758	447	2,59	0,97	1,43
83	194	386	684	731	409	2,56	0,99	1,49
86	308	527	836	681	313	2,95	1,42	1,72
176	215	425	855	869	600	2,55	1,09	1,38
191	301	415	863	986	572	2,54	0,87	1,40
193	269	425	863	1134	714	2,75	0,93	1,44

\* in 2001 keine Probennahme in den Stadien Schossen und Milchreife.

**Tabelle A 9: Selektierte Wetterdaten der Jahre 1993 bis 2002, Zahl der Sonnenscheinstunden in der 2. Woche Kornfüllungsphase (SSKF2), Minimumbodentemperatur [°C] 10cm tief in der 3. Woche des Massenwachstums (TBI10MW3), Niederschlagsmenge [mm] in der 2. Woche des Massenwachstums (NMW2), Maximumtemperatur [°C] der Luft in 2m Höhe in der 4. Woche Jugendentwicklung (TLA2JE4), ØTemperatur [°C] der Luft in 2m Höhe in der 2. Wo Massenwachstum (TDL2MW2), Minimumbodentemperatur [°C] 10cm tief in der 2. Woche des Massenwachstums (TBI10MW2), Minimumbodentemperatur [°C] 20cm tief in der 2. Woche des Massenwachstums (TBI20MW2), Minimumbodentemperatur [°C] 10cm tief in der 4. Woche des Massenwachstums (TBI10KF4), Zahl der Regentage mit 3 - 9,9 mm Niederschlag in der 2. Woche des Massenwachstums (RT3MW2).**

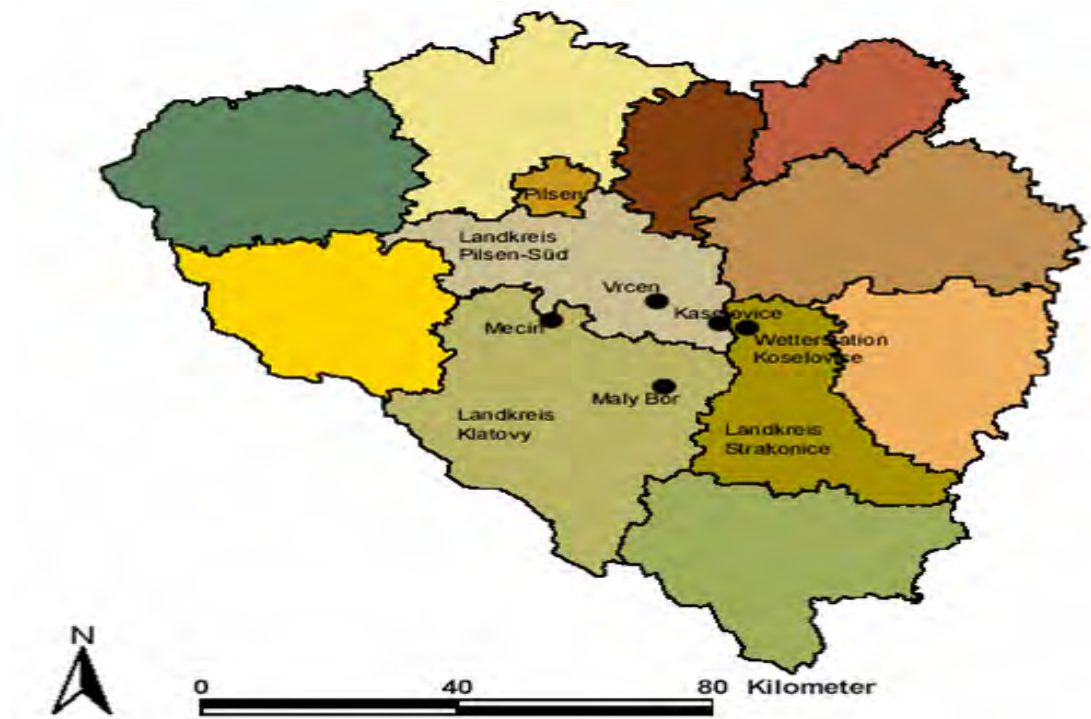
Jahr	SS KF2	TBI10 MW3 [°C]	N MW2 [mm]	TLA2 JE4 [°C]	TDL2 MW2 [°C]	TBI10 MW2 [°C]	TBI20 MW2 [°C]	TBI10 KF4 [°C]	RT3 MW2
1993	40	14	9	24	16	12	13	12	1
1994	82	11	19	25	14	11	13	16	1
1995	77	13	9	27	13	12	14	18	2
1996	24	16	2	22	20	14	16	11	0
1997	47	14	1	22	14	11	12	14	0
1998	54	12	22	27	16	11	12	16	1
1999	38	13	14	22	17	14	15	16	1
2000	80	12	34	24	14	11	12	16	4
2001	70	12	27	24	12	11	12	16	1
2002	64	13	9	22	14	13	14	15	1

**Tabelle A 10: Für die regionale Ertragsschätzung selektierte NOAA-NDVI-Wochen-Maximalwertkomposit-Werte der Jahre 1995 bis 2002, beschränkt auf die in der Region vorkommenden Pixel mit der zusätzlichen Eigenschaft, in Corine-Landcover der Klasse 12, nicht-bewässertes Ackerland, anzugehören. Mittlerer Grauwert der Klasse Ackerpixel im Bezirk Pilsen aus der 2. Woche der Kornfüllungsphase (GWKF2), Mittlerer Grauwert der Klasse Ackerpixel im Landkreis Pilsen-Süd aus der 3. Woche der Jugendentwicklung (GWJE3), Mittlerer Grauwert der Klasse Ackerpixel im Landkreis Klatovy aus der 1. Woche der Kornfüllungsphase (GWKF1), Mittlerer Grauwert der Klasse Ackerpixel im Landkreis Strakonice aus der 7. Woche der Kornfüllungsphase (GWKF7),**

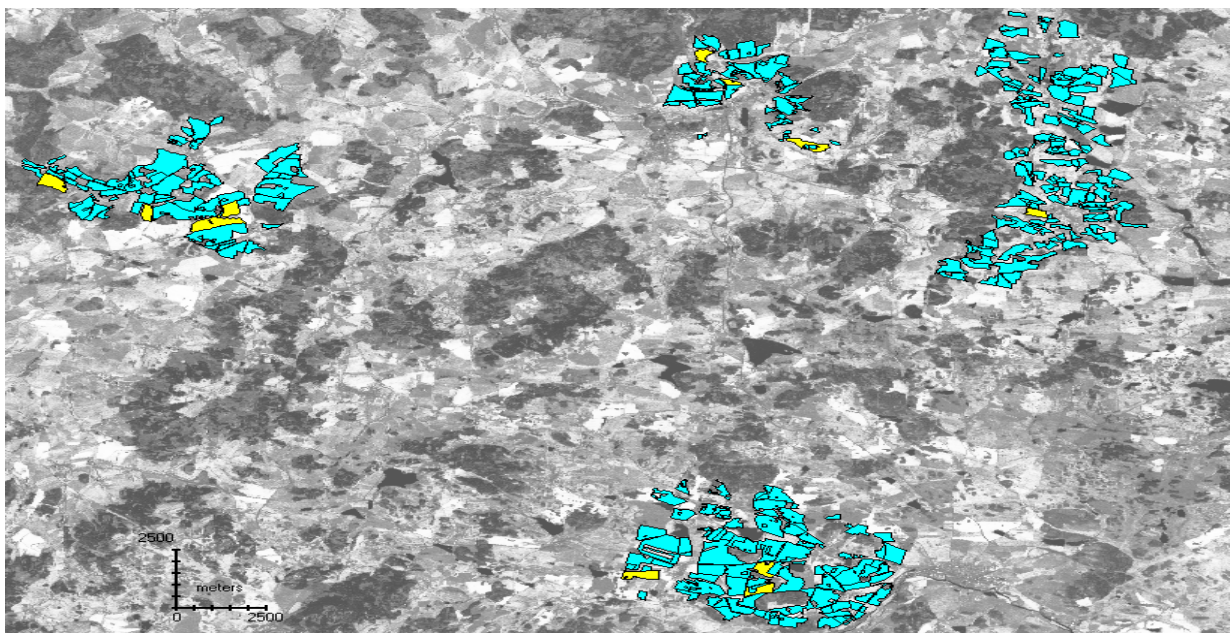
Jahr	GWKF2	GWJE3	GWKF1	GWKF7
1995	165	159	204	156
1996	197	178	173	161
1997	174	190	185	153
1998	170	183	173	153
1999	166	180	176	198
2000	174	161	163	123
2001	147	156	191	163
2002	184	145	204	156

**Tabelle A 11: Selektierte Variablen für die regionale Ertragsschätzung nach Schelling, addiert über phänologische Phasen. Summe der Tagesdurchschnittstemperaturen vom 1. Januar bis zum Aussaattermin (DTVS), Summe der Niederschläge während des Massenwachstums (NDSMW), Summe der Niederschläge vom 1. Jan. bis zum Ende der Kornfüllungsphase (NDSGES), Summe der Tagesdurchschnittstemperaturen während des Massenwachstums (DTMW), Summe der Tagesdurchschnittstemperaturen während der Kornfüllung (DTKF), Zahl der Tage vom 1. Januar bis zum Aussaattermin (VSL), Summe der Niederschläge vom 1. Jan. bis zum Aussaattermin (NDSVS), Summe der Niederschläge während der Jugendentwicklung (NDSJE) und Summe der Niederschläge während des Auflaufens (NDSAU).**

Jahr	DTVS Σ[°C]	NDSMW [mm]	NDSGES [mm]	DTMW Σ[°C]	DTKF Σ [°C]	VSL [d]	NDSVS [mm]	NDSJE [mm]	NDSAU [mm]
1993	2	25	305	336	756	94	74	21	13
1994	290	52	320	273	994	100	105	32	32
1995	175	76	401	273	931	106	178	55	8
1996	-214	36	450	364	749	111	75	137	4
1997	95	6	357	294	763	110	160	42	22
1998	240	28	414	329	784	95	68	9	5
1999	156	20	254	343	854	101	94	34	18
2000	118	43	419	315	784	85	161	12	100
2001	132	69	616	266	854	105	169	53	22
2002	205	11	417	301	875	90	121	32	107
2003	-78	41	202	294	938	90	68	18	7

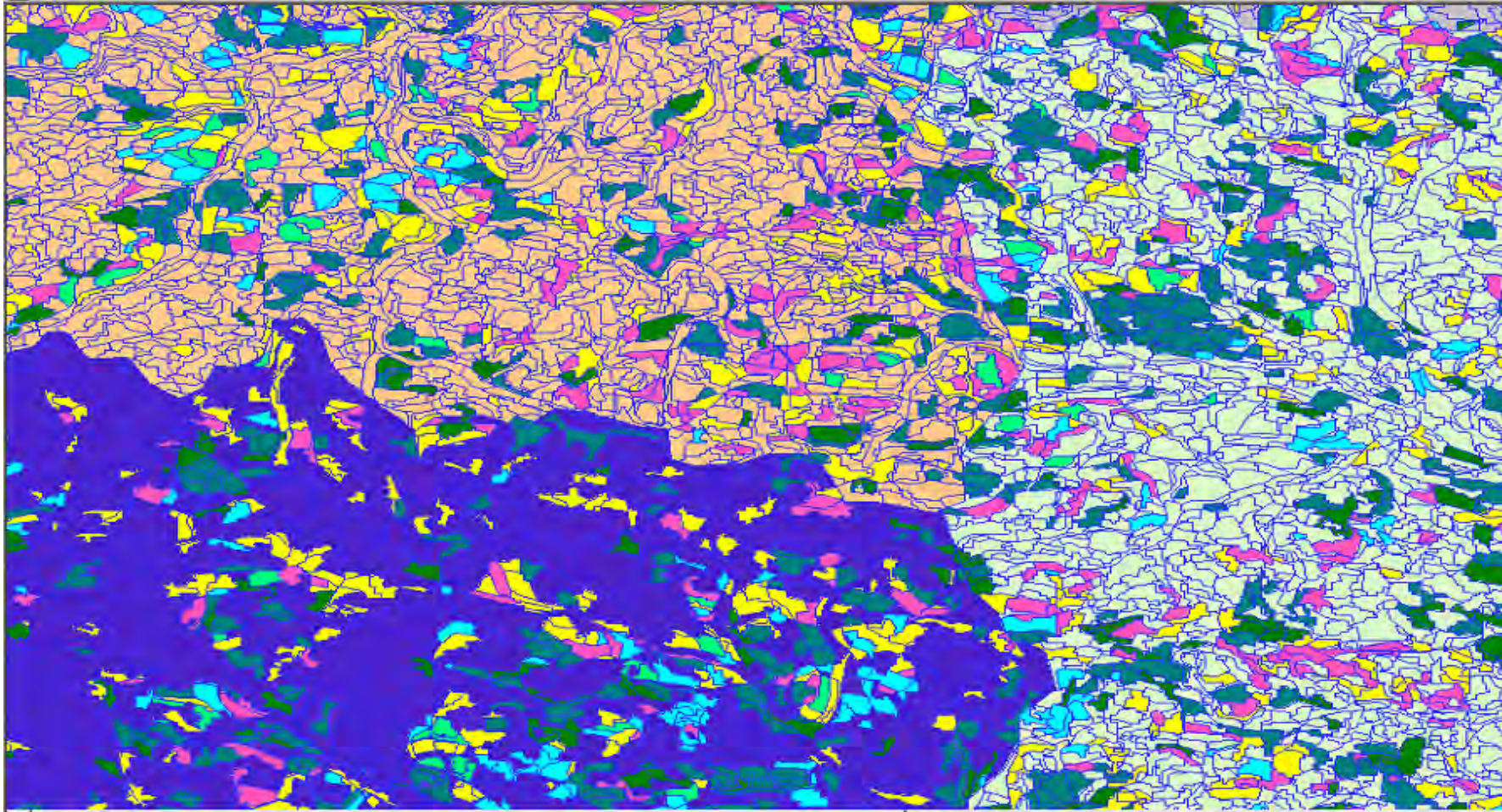


**Abbildung A 1:** Das Untersuchungsgebiet in Westböhmen mit den 3 Landkreisen Pilsen-Süd, Klatovy und Strakonice, den 4 Agrar-genossenschaften in Maly Bor, Mecin, Vrcen und Kasejovice und der agrarmeteorologischen Wetterstation in Koselovice.



**Abbildung A 2:** Panchromatische Landsat-ETM-Szene vom 9.Mai 2002, Subset des Untersuchungsgebietes mit den kartierten Fläche 2001 in cyan und den Brauerstenttrainingsflächen 2001 in gelb.





**Abbildung A 3: Ausschnitt aus der Gesamtszene klassifizierter Objekte 2001. Sommergerste gelb, Sommergerste mit Untersaaten lila, Erbse hellgrün, Winterweizen dunkelgraugrün, Triticale dunkelgrün, Hafer hellblau, alle anderen Flächen blieben unklassifiziert und tragen die Farbe ihrer Landkreise, dunkelblau Katovy, hellbraun Pilsen-Süd und hellblaugrau Strakonice.**

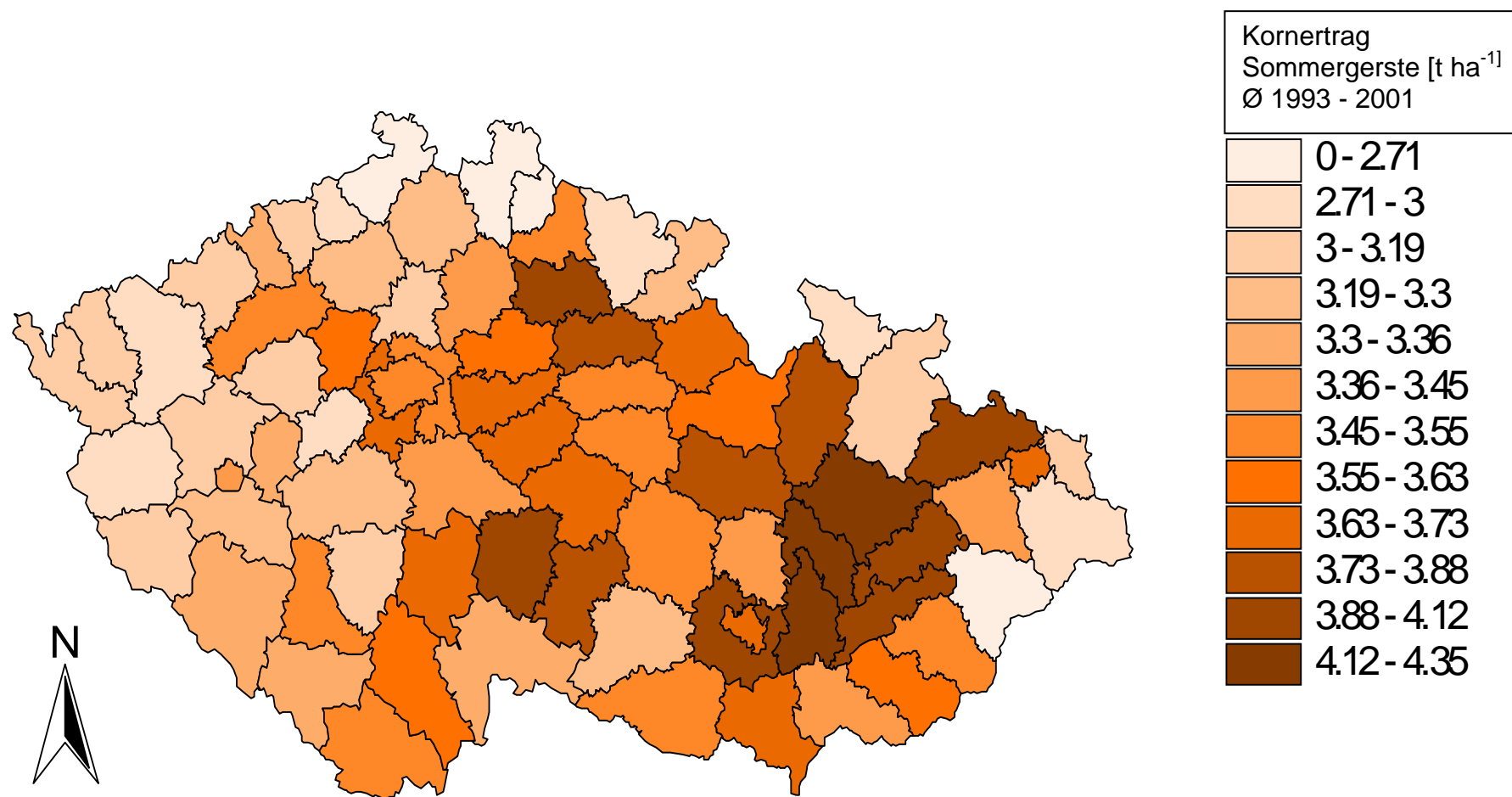


Abbildung A 4: Die Landkreise der tschechischen Republik, eingeteilt nach den durchschnittlichen Hektarerträgen der Sommergerste 1993 bis 2001, von hellbeige unter 2,71 t ha<sup>-1</sup> Kornertrag bis dunkelbraun 4,12 bis 4,35 t ha<sup>-1</sup>. Die Karte zeigt ein deutliche Ost-West-Gefälle der Kornerträge.

## Danksagung

An erster Stelle danke ich Herrn Prof. Dr. W. Kühbauch für die Überlassung des Themas, die wissenschaftliche Betreuung und die zahlreichen konstruktiven Anregungen bei der Erstellung dieser Arbeit.

Bei Herrn Prof. Dr. G. Menz bedanke ich mich für die Übernahme des Korreferates und der Bereitschaft, eine landwirtschaftliche Dissertation aus der Sicht eines Geographen zu bewerten.

Herrn Prof. Dr. J. Soukup danke ich für die fachliche Betreuung in Prag und die Herstellung der Kontakte zu den tschechischen Braugerstenanbauern. Herrn Dr. P. Hamouz und Herrn Dr. J. Holec danke ich für das Sammeln und Auswerten der Pflanzenproben von den tschechischen Gerstenfeldern.

Herrn Prof. Dr. J. Klabzuba danke ich für die Überlassung der agrarmeteorologischen Daten.

Den Mitarbeitern der landwirtschaftlichen Betriebe Agrochov Kasejovice, Agrospol Malý Bor , Zemedelske Druzstvo Měčín und Zemedelske Obchodni Druzstvo Vrčeň danke ich für die Bereitschaft, die Schlagkartei zur Verfügung zu stellen, Pflanzenprobenahmen zuzulassen und die Kartierung der Flächennutzung auf ihrem Gebiet zu genehmigen.

Für die angenehme Zusammenarbeit und die vielen interessanten und hilfreichen Diskussionen möchte ich den Mitarbeitern am Lehrstuhl für Allgemeinen Pflanzenbau danken, namentlich Frau Anne Reinders, die die statistischen Berechnungen überprüfte.

Den Mitarbeitern am Zentrum für Fernerkundung der Landoberflächen danke ich für die unzähligen Tipps und Anregungen im Umgang mit der Hard- und Software zur Satellitenbilddauswertung und zur Geoinformatik.

Meinem Mann und meinen Kindern danke für die Rücksicht und Unterstützung, die sie geleistet haben.

Das Projekt wurde unter dem Namen „YIELD & QUALITY – Synergetische Nutzung von Satellitenaufnahmen und Prognosemodellen zur Erfassung von Braugerstenertrag und –qualität“ von der deutschen Luft- und Raumfahrt (DLR) unter dem Förderkennzeichen 50EE0106 finanziell unterstützt. Dafür möchte ich danken.