



1.3 Landwirtschaftliche Nutzung und Ernteprognose am Beispiel der Oberrheinebene

Zusammenfassung: Nach der naturgeographischen Charakterisierung des landwirtschaftlichen Gunstraums Kaiserstuhl - Freiburg im Breisgau erfolgt am Beispiel des Maisanbaus eine Darstellung der Ertragsentstehung und einer Ernteprognose auf der Basis von Satellitenbildern.

1.3.1 Sachinformationen

a. Das Satellitenbild und seine Aufbereitung

Lokalisierung, Topographie: Das LANDSAT-Übersichtsbild „Kaiserstuhl - Freiburg im Breisgau“ vom 6.7.1995 (**Folie F 5**) umfasst eine Fläche von 25 x 40 km und zeigt einen markanten Abschnitt der Oberrheinischen Tiefebene bei ca. 48° N und 7° O. Dieser Ausschnitt wird im Westteil vom Rhein durchflossen und im Osten durch den Schwarzwald begrenzt. Im Zentrum liegt der Kaiserstuhl mit seinem Umland, im Südteil prägt intensiver Ackerbau die Landschaft.

Ferner wurde aus dem LANDSAT-Übersichtsbild ein 8 x 8 km großer Ausschnitt westlich des Tunibergs ausgewählt, der beispielhaft für die Ertragsentstehung und Ernteschätzung von Mais herangezogen wurde. Dieses spezielle Untersuchungsgebiet liegt in der Oberrheinebene auf einer mittleren Höhe von ca. 260 m ü. NN, bei Hausen a. d. Möhlin. **Overhead-Folie F 5** bzw. **Beitrag „Satellitenbilder im Internet“** zeigen zudem eine Zeitreihe von vier Satellitenbildern aus dem Jahr 1995.

Bildentstehung: Es handelt sich um mehrere von der Firma „Vista-Geowissenschaftliche Fernerkundungsanwendungen“ in München bearbeitete Ausschnitte von LANDSAT-TM-Satellitenbildern der Aufnahmezeitpunkte 20.6.1995, 6.7.1995, 22.7.1995 und 23.8.1995.

Sie wurden wegen der Vegetationsuntersuchung von Mais aus den TM-Spektralkanälen 7, 5 und 1 in den Farben Rot, Grün und Blau als Falschfarbenbild zusammengestellt. Interessant hierfür ist der Anstieg der Reflexionskurven von Pflanzen im sichtbaren Licht bei 0,45 µm und bei 1,6 µm und 2,1 µm im kurzwelligen Infrarot (SWIR), denn so lassen sich aus der Wellenlängenposition des „red edge“ (Wellenlängenbeugung, d. h. Verschiebung des Reflexionswertes) u. a. Aussagen über die Biomasse und die Erntemenge gewinnen.

Alle Satellitenbilder der verschiedenen Aufnahmezeitpunkte wurden georeferenziert, d. h. geometrisch so entzerrt, dass sie mit einer Topographischen Karte 1:50000 deckungsgleich und damit punktgenau sind. Ferner wurden sie reflexionskalibriert: Dies bedeutet, dass die übliche Überstrahlung jedes Bildpixels sowohl durch die spektralen Reflexionswerte der Atmosphäre als auch seiner Umgebung (räumlich und in Wellenlänge gesehen) nach einem Modell berechnet wurde und von der gesamten vom Sensor gemessenen Strahlendichte subtrahiert wurde. Das Ergebnis ist eine umgebungsunabhängige, kontrastscharfe Abbildung von Reflexionseigenschaften der Bildpixel selbst.

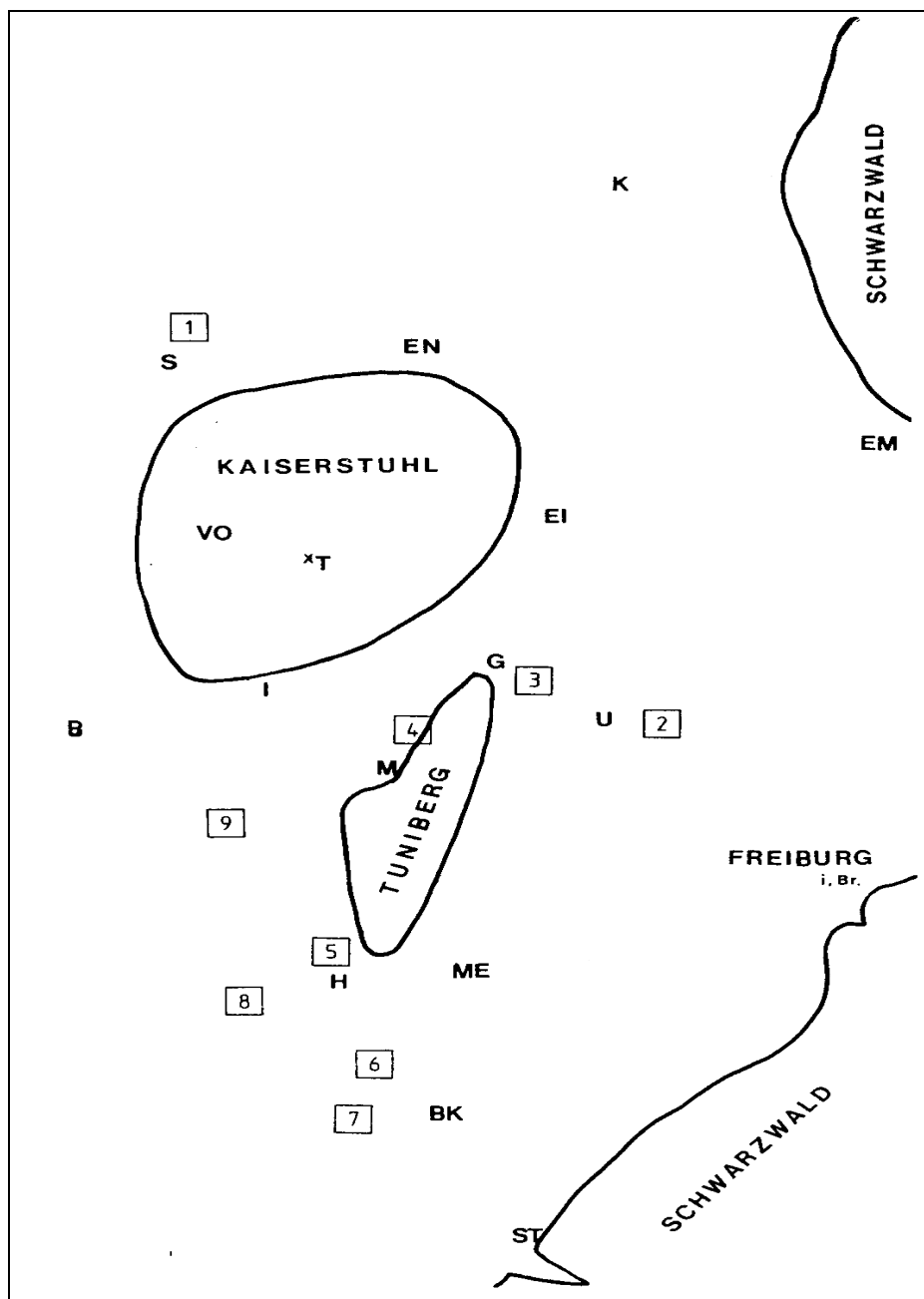
Interpretation von Flächen und Strukturen der Satellitenbilder:

- Lineare Strukturen: Flüsse, Kanäle: Rheinseitenkanal und Altrhein ab Breisach wieder zum Oberrhein vereinigt, Rhône-Rhein-Kanal in Frankreich;
- Flächenstrukturen: Licht-Schatten-Wirkung im stark reliefierten Gelände des Kaiserstuhls (Aufnahmezeitpunkt: 9.30 Uhr); Gegensatz parzellierte landwirtschaftliche Flächen und Punktstruktur der Siedlungen; helles, großstrukturiertes Areal des aufgelassenen Flugplatzes Bremgarten (5 km WSW Bad Krozingen);

Interpretationsskizze zur Folie F 5: „Kaiserstuhl - Freiburg i. Br.“

Legende:

- Siedlungen
K = Kenzingen (179 m), S = Sasbach, EN = Endingen, EI = Eichstetten, EM = Emmendingen, VO = Vogtsburg-Oberrotweil, B = Breisach, I = Ihringen, G = Gottenheim, U = Umkirch, M = Meringingen, H = Hausen a. d. Möhlin, ME = Mengen, BK = Bad Krozingen (234 m), ST = Staufen;
- Berge: T = Totenkopf (557 m)
- Testfelder der besonderen Ernteermittlung: Nr. 1 bis 9





- **Flächenfarben:** Flüsse, Kanäle und Baggerseen (blau); Siedlungen (rot), Wolken über Schwarzwald und Kaiserstuhl – inkl. deren schwarze Schatten –, großflächige morgendliche Dunstschleier beiderseits des Rheins im unteren Bilddrittel sowie linienhaft in Talabschnitten am Schwarzwaldrand (weiß);
- **Vegetationsfarben:** die Vegetation erscheint je nach Deckungsgrad in unterschiedlichen Grüntönen; dabei sind Flächen, die nur teilweise vegetationsbedeckt sind (z. B. wenn kleine Maispflanzen darauf stehen) rosa bis hellgrün; Flächen mit dichter Vegetation sattgrün; Laubwaldflächen dunkelgrün und Nadelwaldflächen fast schwarz; unbedeckter Boden ist je nach Feuchtegrad hellgrau bis gelblich.

b. Interpretation der LANDSAT-TM-Satellitenbilder

Naturgeographische Charakterisierung des Raumes:

- **Relief**
Der vorliegende Abschnitt der insgesamt 300 x 40 km breiten Grabenbruchzone wurde im Tertiär 1,6 km abgesenkt und bildet heute nach spättertiärer und quartärer Aufschüttung eine Tiefebene, die auf 40 km Längserstreckung von ca. 210 m auf 170 m abfällt. In diese Schotterterrasse ist die Talaue des Rheins eingegraben. Die scharfe Trennlinie zum Schwarzwald folgt der SSW - NNO verlaufenden Hauptverwerfung. In der rechten unteren Bildecke ergibt sich zwischen Tiefebene und Mittelgebirgshöhen bereits eine Höhendifferenz von bis zu 500 m. Am Talausgang der Dreisam liegt Freiburg i. Breisgau (287 m). Der Tuniberg (316 m) ist eine bis zu 100 m aus der Ebene herausragende Staffelscholle aus Jurakalken. Deutlicher hebt sich aber der Vulkanrumpf des Kaiserstuhls (557 m, Durchmesser ca. 12 km, mehrere Bergkuppen mit einer relativen Höhe von 360 m) aus der Oberrheinebene hervor.
- **Klima**
Aus dem Satellitenbild lässt sich nur die aktuelle Wettersituation am 6.7.1995 um 9.30 Uhr entnehmen. Da in den Hochsommermonaten gewöhnlich jeweils 60 - 80 mm Regen (v. a. Gewitter) fallen, liegt hier natürlich eine Schönwetteraufnahme vor. Dennoch ist sie nicht untypisch für den Raum: Er stellt durch seine Einbettung zwischen Vogesen und Schwarzwald und die Öffnung nach Süden eine Wärmeinsel mit einer hohen Anzahl von Sonnenscheinstunden (1800 h/J) und geringen Niederschlagsmengen dar. Typisch an der Wettersituation sind der morgendliche Dunst in der Ebene und in den Tälern am Mittelgebirgsrand sowie die Konvektionswolken über Kaiserstuhl und Schwarzwaldhöhen.

Informationen zum Klima

Charakteristische Klimadaten der Ebene (Klimastation des DWD in Mengen, 205 m): 10,5°C Jahrestemperatur, 19,9 °C mittlere Julitemperatur, 7 Monate über 10°C im Monatsmittel mit einer entsprechend langen Vegetationsperiode, 650 mm Jahresniederschlag;

Klimadaten am Westrand des Kaiserstuhls (DWD-Station in Vogtsburg-Oberrotweil, 218 m): 9,9°C Jahrestemperatur, 19°C mittlere Julitemperatur, 811 mm Jahresniederschlag;

Oberrheinebene, Kaiserstuhl und Tuniberg sind gemeinsam, dass mehr als die Hälfte der Niederschläge als Konvektionsniederschlag zwischen Mai und Oktober mit dem sommerlichen Temperaturmaxima zusammenfallen. In diesem Zeitraum liegt die potentielle Verdunstung stets über den Niederschlagswerten.

- **Böden**
Aus den Satellitenbildern lassen sich nur indirekt Aussagen machen, jedoch lässt die raumtypische agrarische Nutzung auf gute Böden schließen. Dennoch muss das Bild uneinheitlich sein, denn das im Satellitenbild erkennbare Nutzungsmuster auf dem Tuniberg und am Kaiserstuhl verweist auf die Sonderkultur Weinanbau mit hohen Anforderungen an die Bodenfruchtbarkeit und unterscheidet sich deutlich von dem kleinparzellierten Gefüge der Ebene.

Dennoch eignet sich das Satellitenbild dazu, die Ausbildung qualitativ sehr unterschiedlicher Bodenstandorte plausibel zu machen: Die Rheinebene besteht aus Niederterrassenschottern der Würmeiszeit, kann also nur geringmächtige, schwach entwickelte Parabraunerden aufweisen, also lehmige Sande mit geringem Tonanteil als Bodenart, aber hohem Skelettanteil.

Dies hat eine hohe Wasserdurchlässigkeit und Infiltrationsrate des Bodens zu Folge. In der sommerlichen Trockenperiode (trotz der Niederschläge) zeigen Pflanzen Anzeichen von Wasserstress. Dies wiederum ist im Satellitenbild während der Wachstumszeit der Kulturpflanzen an der hellen Tönung (siehe v. a. westlich von Bad Krozingen im Satellitenbild vom 6.7.1995) und nach der Ernte am stärker reflektierenden (helleren) brach liegenden Boden erkennbar.

Die Trockenheit zeigt sich auch an den Resten natürlicher Trockenvegetation am Kaiserstuhl (Trockenrasen in hellen Gelbtönen; siehe v. a. Bild vom 23.8.1995 auf der CD-ROM). So lassen sich also aus dem Satellitenbild Aussagen über die Bodenparameter „Oberflächenfeuchte des Bodens“ und „Korngrößenverteilung“ machen.

Informationen zu Standorten mit hoher Bodenqualität

Bessere Bodenstandorte mit Lösslehm finden sich in der Oberrheinebene stets nahe den Berghängen (solifluidal bewegte Schwemmlössauflage über dem Niederterrassenschotter), v. a. um Tuniberg und Kaiserstuhl.

Diese Teilräume sind auch deshalb herausragende landwirtschaftliche Gunsträume für die Sonderkultur Weinanbau, weil sich auf ihnen in allen Eiszeiten eine mehrere Meter mächtige Lössdecke aufgebaut hat. Hohe Bodenfruchtbarkeit ergibt sich zum einen aus dem mineralischen Nährstoffangebot, zum anderen aus der hohen Wasser- und Wärmespeicherkapazität des dominierenden Ton- und Schluff-Anteils der Böden.

Landwirtschaft im Satellitenbild:

Das Satellitenbild zeigt, dass die Feldgrößen beiderseits des Rheins unterschiedlich sind. Auf der französischen Seite ist man stark auf einen profitablen Maisanbau ausgerichtet und schafft große Nutzungspartellen. Die Landwirtschaft auf der deutschen Seite ist trotz Flurbereinigung noch stark durch bäuerliche Mittel- und Kleinbetriebe gekennzeichnet.

Auf dem Kaiserstuhl herrscht mit Ausnahme von Trockenrasen und geringem Waldbestand Weinbau vor. Dieser lässt sich im Satellitenbild wegen der fehlenden rechteckigen Parzellenstruktur und dem feinen Pünktchen-Muster in leichtem Grünton gut von Ackerflächen unterscheiden. Das Weinanbaug Gebiet zieht sich zum Tuniberg hinüber. Das bunte Rechteckmuster auf der Ebene lässt auf mehrere Anbausorten schließen. Hauptanbaupflanzen sind Mais auf ca. 50 % der LF, Gerste mit mehr als 10 % der LF, gefolgt von Weizen, Kartoffeln, Sojabohnen und Sonnenblumen.

Aus der Zeitreihe von Satellitenbildern des Jahres 1995 lässt sich die Vegetationsentwicklung bei Mais und Getreide erkennen:

20.6.1995: Mais ist etwa 20 cm hoch und deckt damit nur einen kleinen Anteil der Bodenfläche. Damit sehen zu diesem Termin alle Maisfelder nahezu aus wie unbedeckte Böden. Die Saatmaisfelder (= Reinstmais zur Fortpflanzung) zeigen ein im Verhältnis zu Körnermais verzögertes Wachstum, die Pflanzen werden nicht so groß und bringen bedeutend weniger Ertrag. Die Maisfelder, die am 20.6. annähernd vegetationsfrei sind, wachsen vor allem zwischen dem 6.7. und 22.7. vollständig zu und wandeln ihre Farbe ins Dunkelgrüne. Der blaue Pfeil am oberen Bildrand deutet dabei auf ein großes, kreisrundes Maisfeld (**Nr. 9** der Skizze), das mit einer Kreisel-Bewässerungsanlage nach nordamerikanischem Vorbild (center pivot) bewässert wird, um den Ertrag zu steigern.

6.7.1995: Körner- und Saatmais-Felder zeichnen sich durch unterschiedliches Wachstum aus, was an der unterschiedlichen Grünfärbung zu erkennen ist. Getreide war am 20.6. in der aktiven Produktionsphase und damit grün. Es wird zwischen dem 6.7. und dem 23.7. geerntet. Damit verändern die Getreidefelder ihre Farbe von Grün im ersten Bild nach grau bis gelblich im letzten Bild vom 23.8.1995.

Ernteprognose:



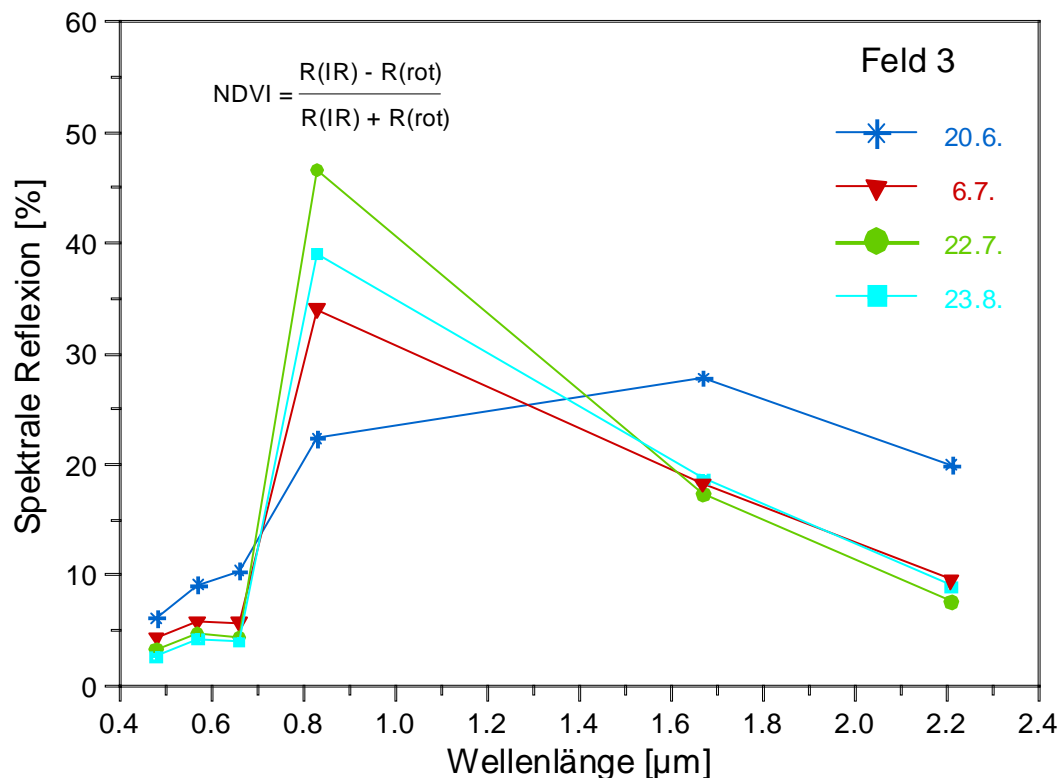
Hintergrundinformation

Jährlich werden in der Europäischen Union und in den Landwirtschaftsministerien besondere Ernteterminierungen (BEE) durchgeführt, die mit aufwändigen statistischen Erhebungen die zu erwartende Ernte in den europäischen Ländern abschätzen sollen. Dies geschieht EU-weit zunächst durch Stichproben einzelner Pflanzen auf einer großen Anzahl von Feldern im Sommer, um eine Vorinformation über die zu erwartende Ernte zu erhalten, und schließlich durch eine Korrektur der Prognosewerte bei der Ernte durch Volldrusch auf einzelnen ausgewählten Feldern.

Im Folgenden wird eine satellitenbildgestützte Alternative vorgestellt. Die zugrunde liegende wissenschaftliche Untersuchung wurde vom Ministerium für Landwirtschaft und ländlichen Raum Baden-Württemberg in Auftrag gegeben und 1999 abgeschlossen. In diesem Beispiel geht es um die praxisorientierte Anwendung von Satellitenbildern zur Gewinnung statistischer Daten in der Landwirtschaft. Im gewählten Bildausschnitt der Oberrheinebene liegen 34 Felder der besonderen Ernteterminierung (BEE). Alle wurden sowohl nach der herkömmlichen Vorhersagemethode durch Landwirte und Landwirtschaftsämter behandelt als auch unabhängig davon durch die wissenschaftliche Satellitenbilddauswertung. Neun von diesen Feldern sind in der **Interpretationsskizze** kartiert und sieben davon in **M 36** erfasst, zwei liegen innerhalb des quadratischen Kleinausschnitts.

Konkret lautet die Frage: „Mit welcher Genauigkeit und zu welchem Zeitpunkt kann eine Abschätzung der zu erwartenden Maisernte auf allen Maisfeldern der Oberrheinebene unter Einsatz der Fernerkundung und anderer Hilfsmittel erfolgen?“

- **Das Ergebnis:** Die Vorhersagegenauigkeit lag bei den ausgewählten Feldern bei 94%. Zuverlässige Aussagen sind bereits sechs Wochen vor der Ernte möglich, also zu einem Zeitpunkt, an dem die Maispflanzen noch grün sind.
- **Einstieg** (siehe **C 1.3 / Arbeitsblatt 18/ M 38 und M 39**): Analyse des Witterungsverlaufs des Jahres 1995 und der damit in Zusammenhang stehenden phänologischen Entwicklung des Maises: Es zeigt sich, dass Pflanzen das ungünstige Wetter, das zu einem verlangsamten Wachstum zu Beginn der Wachstumsperiode führte, ausgleichen können und der traditionelle Erntezeitpunkt am 10. Oktober auch im Jahr 1995 eingehalten werden konnte. Wie wirkt sich das (verzögerte) Wachstum auf den Ertrag aus? Dies soll mit Satellitenbildern untersucht werden.
- **Untersuchung:** Da man auf den Satellitenbildern die Maispflanzen und einzelnen Maiskolben nicht sehen kann, muss man sich eines Ersatzes bedienen, der ein Maß für die Produktivität der Maispflanze darstellt und den man gleichzeitig aus den Satellitenbildern bestimmen kann. Dieser Ersatz steht in Form des **grünen Blattflächenindex (Leaf Area Index, LAI)** zur Verfügung. Der LAI ist die grüne Blattfläche eines Maisbestandes pro qm Bodenfläche. Besitzt der LAI einen Wert von 3, so besagt das, dass auf einem qm Bodenfläche 3 qm Maisblätter stehen. Je größer der LAI ist, desto besser kann die Pflanze das angebotene Sonnenlicht in Biomasse umwandeln und damit Ertrag erzeugen. Der LAI lässt sich aus Fernerkundungsdaten ableiten. Wenn man den LANDSAT-TM Sensor benutzt kann man ihn dadurch bestimmen, indem man zunächst das Verhältnis der Reflexion im Kanal 3 und 4 des LANDSAT TM, also den **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)** bildet. **M 33** zeigt das Ergebnis der Berechnung am Beispiel des Maisfeldes Nr. 3.

M 33: Berechnete spektrale Reflexion des Maisfeldes 3 im Jahr 1995
Berechnete spektrale Reflexion des Maisfeldes 3 während 1995

Interpretation des NDVI-Verlaufs und des Verlaufs der spektralen Signatur:

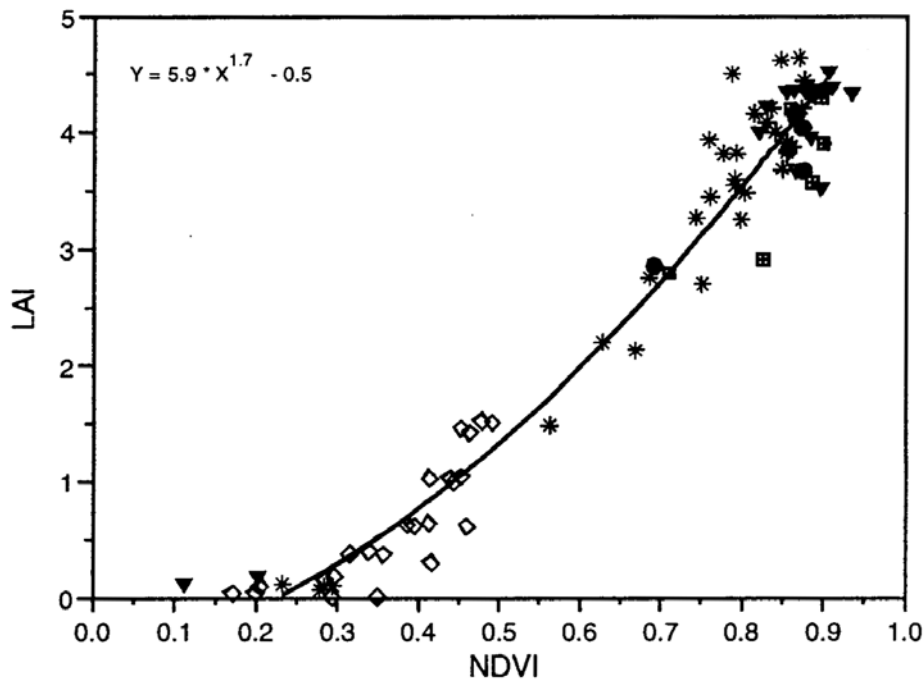
Der NDVI kann Werte zwischen -1 (die Reflexion im Kanal 4, IR ist 0) bis 1 (die Reflexion im Kanal 3, rot ist 0) annehmen.

Das Feld 3 ist ein Saatmais-Feld. Zu erkennen ist das am Verlauf des Spektrums vom 20.6.1995. Normalerweise hat die Vegetation zu diesem Zeitpunkt schon Blattschluss. Das Spektrum zeigt aber einen starken Einfluss des Bodens: Die Reflexion im Kanal 5 liegt höher als im Kanal 4 (nahes Infrarot), in dem lebende Vegetation stark reflektiert. Auch liegt der Kanal 3, in dem Vegetation absorbiert, höher als Kanal 2 (sichtbares grün).

Zum 6.7. hin hat sich Mais stark entwickelt. Der Einfluss des Bodens ist nicht mehr im Spektrum erkennbar: Es ist jetzt ein Vegetationsspektrum. Der NDVI steigt im Vergleich zum 20.6. an. Mit zunehmender Entwicklung der Biomasse zeigt der Mais am 22.7. seine höchste Reflexion im nahen Infrarot (Kanal 4), und somit auch den höchsten NDVI. Zu diesem Zeitpunkt sind der LAI und die grüne Biomasse am größten. Mit fortschreitender Vegetationsperiode nehmen nun die Reflexion im Kanal 4 und damit auch der NDVI wieder ab. Das liegt an der beginnenden Reife der Pflanzen. Die Blätter werden nun allmählich braun, und damit nimmt der grüne LAI wieder ab und auch die Reflexion im Kanal 4, die am schnellsten auf diese Veränderungen reagiert.

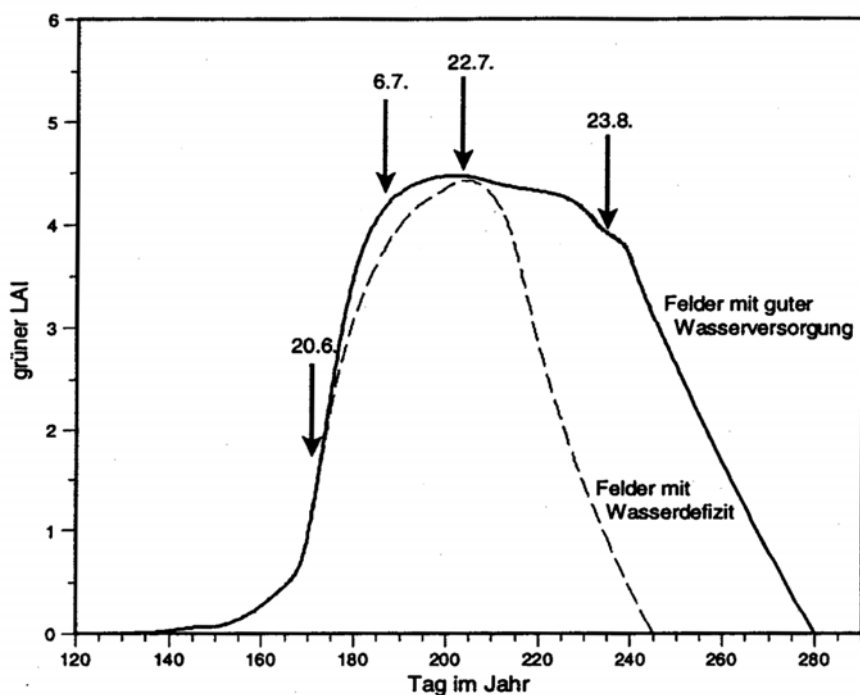
Misst man gleichzeitig im Gelände den LAI der Maisbestände, kann man den NDVI zu den gemessenen LAI-Werten in Beziehung setzen. Man erhält dann die in **M 34** gezeigte Beziehung zwischen NDVI und LAI für Mais und kann mit der angegebenen Formel für jedes Pixel, auf dem in den Satellitenbildern Mais steht, aus dem NDVI den dazugehörigen LAI-Wert berechnen.

M 34: Zusammenhang zwischen NDVI und LAI von Mais. Jeder Punkt repräsentiert eine Messung des LAI eines Maisfeldes zu unterschiedlichen Wachstumsphasen.



Der LAI verändert sich mit Wachstum und Reife der Maispflanze. Er steigt zunächst mit dem Wachstum der Maispflanzen an, bis er ein Plateau erreicht. Danach reift die Pflanze und die Blätter werden braun, was den LAI wieder verringert. **M 34** zeigt den normalen Verlauf der Entwicklung des grünen Blattflächenindex LAI von Mais in der Oberrheinebene, wie er über mehrere Jahre gemessen wurde.

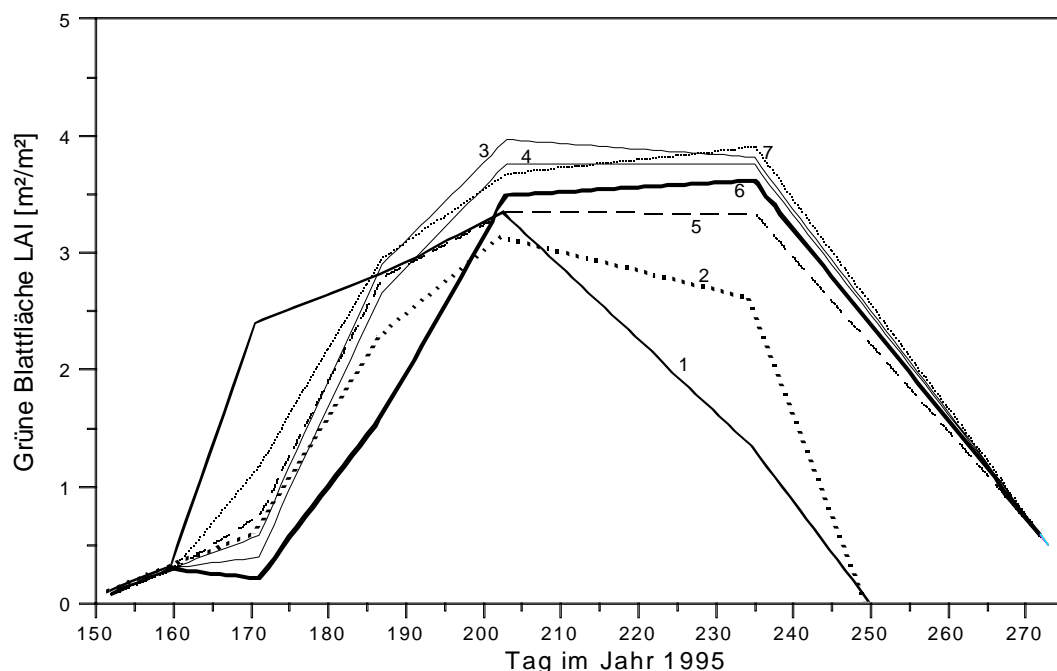
M 35: Standardverlauf der Entwicklung des grünen Blattflächenindex (LAI) für Maispflanzen mit und ohne Wasserdefizit



In **M 35** sind zur Orientierung die Aufnahmetermine der Satellitenbilder von 1995 eingetragen. Sie befinden sich zeitlich im Bereich des Längenwachstums, des Wachstumsendes, des LAI-Maximums und des beginnenden Abreifens. Der normale Verlauf des LAI unterscheidet sich für Mais mit guter Wasserversorgung und mit Wasserdefizit. So ist zu sehen, dass der Mais früher reift, wenn er zu wenig Wasser bekommt. Die Blätter verlieren damit schneller ihre grüne Farbe und verdorren. Der bewässerte Mais hat eine längere Wachstumsperiode und bringt damit auch mehr Ertrag. Aus den beiden Satellitenbildern vom 20.7. und 23.8.1995 kann man damit ermitteln, ob der Mais unter Wasserdefizit gelitten hat (dann ist zu diesem Zeitpunkt LAI = 0) oder über eine gute Wasserversorgung verfügt (dann ist zu diesem Zeitpunkt LAI = 4).

Die Satellitenbilder können nun dazu benutzt werden, den zeitlichen Verlauf des grünen Blattflächenindex zu berechnen. Man nimmt hierzu die Kurve aus **M 34**. Das Ergebnis ist in **M 36** für 7 ausgewählte und in der Interpretationsskizze eingezeichnete Felder gezeigt.

M 36: Aus **M 34** und den Satellitenbildern bestimmter grüner Blattflächenindex LAI unterschiedlicher Maisfelder (Nr. 1-7) zu den Zeiten des Satellitenüberflüge

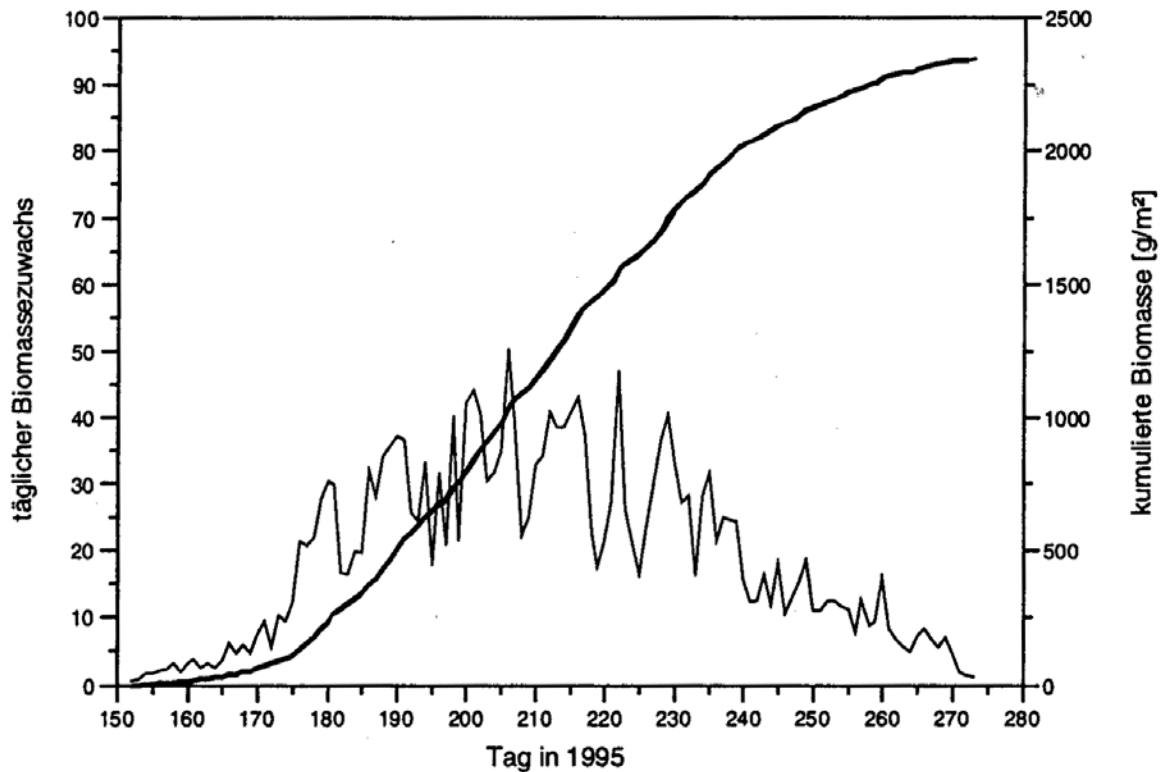


Man sieht in **M 36**, wie die Felder 1 und 2 unter Wasserdefizit gelitten haben, da bei diesen Feldern der LAI deutlich früher zu sinken beginnt und damit auf diesen Feldern die Blätter früher verdorren. Die übrigen Felder verfügen offensichtlich über eine gute Wasserversorgung, wie ein Vergleich mit den Standardverläufen in **M 35** deutlich macht.

Wie erhält man nun aus diesen Informationen den Ernteertrag? Dies geht nicht direkt, da der LAI alleine noch kein Maß für den Ertrag ist. Dies kann man sich leicht vorstellen, wenn man bedenkt, dass auch ein großer LAI und damit eine große Blattfläche kaum Ertrag bildet, wenn die Sonne nicht scheint und damit keine Energie zur Verfügung steht.

Folgendes Vorgehen hilft: Man benutzt ein Wachstumsmodell, welches das Wachstum der Maispflanzen berechnet. Es soll mit dem gemessenen LAI aus den Satellitenbildern und den meteorologischen Daten aus dem **Arbeitsblatt C 1.3 / 13** (**M 38** und **M 39**) den Ernteertrag der verschiedenen Maisfelder bestimmen. In **M 37** sind der tägliche Biomassezuwachs und die akkumulierte Biomasse eines Maisbestandes als Ergebnis der Modellrechnungen zu sehen. Diese Werte beziehen sich auf die gesamte Biomasse, also Stamm, Blätter und Kolben.

M 37: Resultat der Modellrechnungen des täglichen Zuwachses an Biomasse von Mais (g Trockenmasse) unter Nutzung eines Wachstumsmodells, der meteorologischen Daten und des LAI aus den Satellitenbildern.



Wenn man die durchgezogene Kurve des täglichen Biomassezuwachses mit **M 38** und **M 36** vergleicht, so fällt zweierlei auf: Man sieht, dass die Tage mit großem Biomassezuwachs in der Regel auch die Tage mit hohen Temperaturen und damit schönem Wetter sind. Zweitens wird deutlich, dass der tägliche Biomassezuwachs zunächst gering ist, dann ein Plateau erreicht und danach wieder abfällt. Dies hängt mit der Entwicklung der grünen Blattfläche LAI zusammen, wie sie aus den Satellitenbildern bestimmt wurde und in **M 36** gezeigt ist. Die gestrichelte Kurve zeigt die Summe der täglichen Biomassezuwächse. Sie steigt zunächst nur schwach an, zeigt in der Hauptwachstumsphase einen steilen Anstieg und wird dann mit dem Erreichen des Reifestadiums der Maispflanzen wieder flacher.

Für die Abschätzung des Ernteertrags ist nur das Gewicht der Maiskolben von Interesse. Für reife Maispflanzen beträgt das Kolbengewicht 45% der gesamten Biomasse. Berücksichtigt man darüber hinaus noch, dass bei der Ernte ca. 10% verloren gehen, so erhält man am Schluss für jedes Feld aus den Modellrechnungen des Wachstumsmodells den aus den Satellitenbildern abgeleiteten LAI-Werten und den meteorologischen Daten den Ertrag.

Über den oben angesprochenen Vorhersageerfolg hinaus gibt es aber noch einen zweiten Vorteil: Ohne Mehraufwand kann für alle Maisfelder in der Region die Prognose kartiert werden.

1.3.2 Das Thema im Unterricht

Themensequenzen des Unterrichtsprojektes:

- naturgeographische Charakterisierung des Raumes;
- Agrarstruktur in der Oberrheinebene, landwirtschaftliche Nutzung;
- phänologische Entwicklung der Nutzpflanzen unter Einbeziehung des **Arbeitsblatts C. 1.3/ A 18**;
- Prognose mittels Fernerkundung.

Aufgaben:

1. Beschreiben Sie die Veränderung des Landschaftsausschnittes im Lauf einer Vegetationsperiode! Berücksichtigen Sie dabei landwirtschaftliche Parzellen, Wälder und Seen!
2. Ordnen Sie die Veränderung der Farben der Felder der Entwicklung von Mais und Getreide zu!
3. Interpretieren Sie die Entwicklung des grünen Blattflächenindex' von Mais für gute und schlechte Wasserversorgung anhand des Vegetationsverlaufes!
4. Stellen Sie Zusammenhänge her zwischen dem Biomassezuwachs von Mais und meteorologischen Daten sowie den LAI-Verläufen!
5. Interpretieren Sie die Unterschiede im Maisertrag im Testgebiet anhand der Zeitserie der Satellitenbilder!

Folie und Foliensequenz F 5: Landwirtschaft in der Oberrheinebene

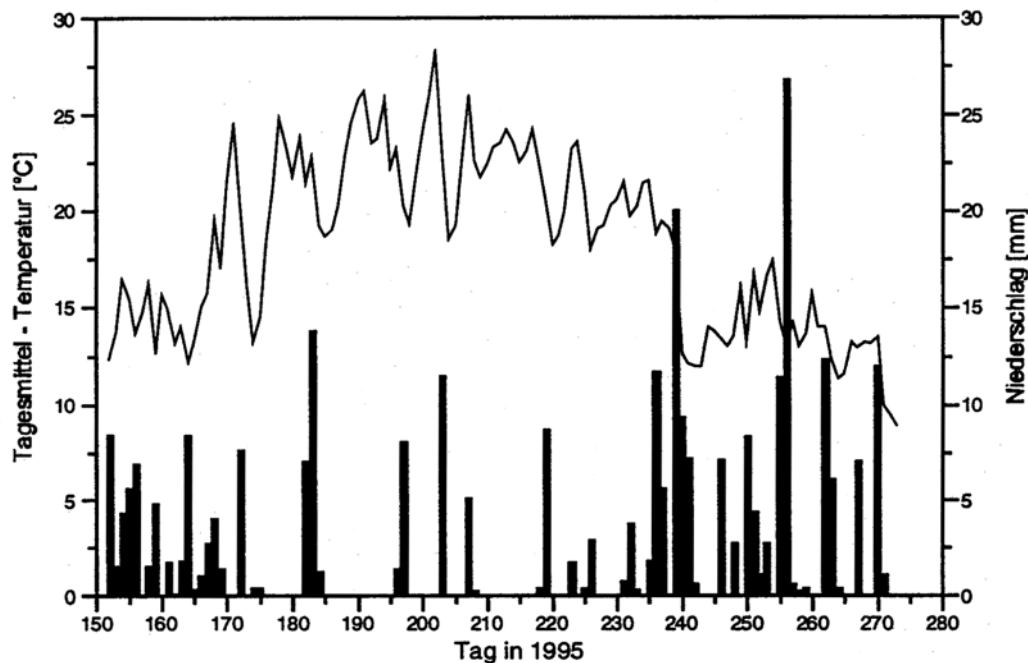
LANDSAT-TM-Sat.-Bild vom 06.07.1995; Zeitreihe vom 06.07.1995, 22.07.1995 und 23.08.1995
Copyright: Vista-Geowissenschaftl.-Fernerkundungsanwendungen 1999 (www.vista-Geographie.de)

C. 1.3

Witterungs- und Wachstumsverlauf

A 18

M 38: Verlauf der meteorologischen Parameter Lufttemperatur und Niederschlag vom Mai bis September an der DWD-Station Mengen 1995

**Zusammenfassung:**

Der Witterungsverlauf im betrachteten Jahr 1995 zeichnet sich in der Rheinebene zunächst bis Tag 180 (Ende Juni) durch hohe Niederschläge und damit verzögertes Wachstum im Frühjahr aus. Danach schließt sich eine trockene Phase mit hohen Temperaturen an, in welcher der Mais gut wachsen kann und die Verzögerungen des Frühjahres wieder aufholt.

M 39: Vergleich des Wachstumsverlaufs von Mais im Jahr 1995 mit dem Mittel 1989-1991

Phänologische Phase	Beginn in 1995	Beginn in 1989-1991	Zeitlicher Versatz
Bestellung	02. Mai	02. Mai	+/- 0 Tage
Beginn des Auflaufens	10. Mai	10. Mai	+/- 0 Tage
Beginn des Längenwachstums	26. Juni	29. Mai	- 28 Tage
Beginn der Blüte	21. Juli	03. Juli	- 18 Tage
Beginn der Milchreife	12. August	25. Juli	- 18 Tage
Beginn der Teigreife	26. August	13. August	- 13 Tage
Beginn der Gelbreife	05. September	07. September	+ 2 Tage
Ernte	10. Oktober	10. Oktober	+/- 0 Tage

Erklärung der Fachbegriffe und Zusammenfassung:

Die Aussaat des Mais' (Bestellung) geschieht wie immer Anfang Mai; der Beginn des Auflaufens (d. h. das Erscheinen der ersten Blätter an der Oberfläche) ist ebenfalls normal; das Längenwachstum und die Blüte sind um 18 Tage verzögert; die Milchreife (d. h., wenn die Maiskörner zum ersten Mal beim Zerdrücken eine milchige Flüssigkeit absondern) ist um 18 Tage verzögert; die Teigreife (d. h. wenn der Inhalt der Maiskörner teigig wird) ist 13 Tage später; Gelbreife (d. h. wenn die Maiskörner gelb werden) und Ernte sind fast zum gleichen Zeitpunkt.