

14. Kongreß der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie  
Hamburg 1980

Kommission Nr. VII

Arbeitsgruppe Nr. 7 Spektrale Objektsignaturen

Ekkehart Krauth

DFVLR-Institut für Nachrichtentechnik

D-8031 Oberpfaffenhofen

Abschätzung des Ernteertrages von Getreide aus Luftaufnahmen

Zusammenfassung

Innerhalb von Getreidefeldern (Winterweizen, Winterroggen, Sommerweizen und Sommergerste) wurden insgesamt 27 Ertragsreferenzfelder von je 10 m mal 10 m ausgewählt und - für Luftaufnahmen erkenntlich - abgesteckt. Sie wurden einige Wochen vor der Ernte, das heißt vor dem Einsetzen der Reife, also in noch grünem Zustand, vom Flugzeug aus auf Farbinfrarotfilm aufgenommen. Bei der Ernte wurde dann der Ertrag dieser Referenzfelder gewichtsmäßig ermittelt. Aus den Filmen wurden die Dichtewerte in den drei Grundfarben blau, grün und rot bestimmt. Schließlich wurde die Korrelation zwischen der "spektralen Signatur" und dem Ernteertrag errechnet und graphisch dargestellt. Für die vier Getreidesorten wurde ein gemeinsamer Korrelationsfaktor von 0,71 ermittelt. Für Winterweizen und für Sommergerste getrennt konnte je ein Wert von 0,86 erreicht werden.

Problemstellung

Zur Versorgung des bei weiterem Bevölkerungszuwachs immer mehr unter Wassermangel leidenden Kraichgauer Hügellandes im nördlichen Baden-Württemberg wurde eigens der "Zweckverband Fernwasserversorgung Rheintal" ins Leben gerufen mit dem Ziel, nach ausreichenden Trinkwasserquellen im Rheingebiet zu suchen, diese durch Anlegen von Brunnen zu nutzen und ein Rohrleitungsnetz zur Versorgung des notleidenden Gebietes zu bauen.

Ein genügend großes Quellgebiet konnte in einem Gebietsstreifen unmittelbar östlich des Rheines, nördlich von Karlsruhe gefunden werden. Verständlicherweise regt sich bei den Bauern, die dieses Gebiet landwirtschaftlich nutzen, Widerstand gegen dieses Vorhaben aus der Befürchtung heraus, durch das Absinken des Grundwasserspiegels könnte eine Verminderung der Ernteerträge auftreten.

So sah sich der Zweckverband gezwungen, nach einem geeigneten und von beiden Parteien anerkekbaren Beweissicherungsverfahren zu suchen. Dieses soll in

der Lage sein, in den nächsten Jahren, d.h. bis zur Fertigstellung und Inbetriebnahme der Brunnen und des Rohrleitungsnetzes, die jährlichen Ernteerträge zu ermitteln. Darüberhinaus soll es auch nach Beginn der Wasserentnahme noch für einige Jahre einen eventuellen Rückgang der Ernteerträge nachweisen und erfassen können. Die Überwachung ist also bis in die Mitte der 90er Jahre geplant.

Die überwachte Aberntung und das Abwiegen der jährlichen Ernteerträge des gesamten betroffenen etwa 12 qkm großen Gebietes muß wegen des hohen Arbeitsaufwandes ausscheiden. Der Versuch der Anwendung eines Stichprobenverfahrens scheiterte an der zu großen Unsicherheit und Streuung der Meßergebnisse.

So wurde im Jahre 1979 mit Versuchen begonnen, welche die Möglichkeit prüfen sollen, aus Luftbildern auf die zu erwartenden Ernteerträge zu schließen. Über die bis jetzt gemachten Erfahrungen und die erzielten Ergebnisse wird im folgenden berichtet. Die Versuche werden noch einige Jahre weitergeführt werden mit der Absicht, eine ausreichende Sicherheit des Verfahrens nachzuweisen, das dann als zukünftiges Beweissicherungsverfahren eingesetzt werden soll. [1]

#### Luftaufnahmen des Testgebietes

In dem etwa 6 km langen und 2 km breiten Gebietsstreifen, der ausschließlich landwirtschaftlich genutzt wird, werden durch den Zweckverband jährlich wechselnde Felder verschiedener Nutzungsart ausgesucht, in denen je ein 100 qm großes Ertragsreferenzfeld (10 m mal 10 m) festgelegt und durch Pfähle an den vier Eckpunkten markiert wird. Die Pfähle tragen horizontal angebrachte, vom Flugzeug aus sichtbare weiße Plastikscheiben der Größe 25 cm mal 25 cm. Sie reicht aus, um die Referenzfelder in den Luftaufnahmen deutlich erkennen zu können.

Einige Wochen vor der Ernte wird das ganze Testgebiet vom Flugzeug streifenweise überflogen und überdeckend aufgenommen. Das Aufnahmegerät ist eine Zeiss Reihenmeßkammer, das Bildformat beträgt 23 cm mal 23 cm. Bei beiden Befliegungen des Jahres 1979 wurde ein Aufnahmeobjektiv der Brennweite 153 mm benutzt, was einem Öffnungswinkel von  $93^\circ$  - also einem Weitwinkelobjektiv - entspricht. Der Aufnahmemaßstab beträgt 1:5000 bei einer Flughöhe von 760 m über Grund. Als Aufnahmematerial wurde Farbinfrarotfilm von Kodak Aerochrome Infrared Film 2443 verwendet.

Im Jahre 1979 wurden zwei Befliegungen durchgeführt. Die erste sollte das Getreide vor der beginnenden Verfärbung, also noch im grünen Zustand erfassen. Sie fand am 26. Juni bei bedecktem Himmel, aber trockenem Wetter statt.

Die zweite Befliegung galt den Zuckerrüben und dem Mais, die später reifen und erst im Herbst geerntet werden. Die Aufnahmen erfolgten am 8. September bei wolkenlosem, klarem Himmel.

Bei der Ernte der einzelnen Fruchtarten wurden dann seitens des Zweckverbandes die Erträge für jedes Referenzfeld gewichtsmäßig erfaßt, um später mit der Auswertung der Luftaufnahmen korreliert werden zu können. Da die Aufnahmen mit Flächenüberdeckung aufgenommen worden waren, ist ein Teil der Referenzfelder doppelt erfaßt worden.

Die folgende Tabelle gibt Aufschluß über die Fruchtarten, die Zahl der ab-

gesteckten Ertragsreferenzfelder und die Anzahl, wie oft diese auf den Filmen erfaßt wurden.

Befliegung	Fruchtart	Anzahl der Ertragsreferenzfelder	Anzahl der auf Film erfaßten Ertragsreferenzfelder
1. Befliegung 26.6.1979 Himmel bedeckt	Winterweizen	11	20
	Sommergerste	12	18
	Winterroggen	2	4
	Sommerweizen	2	4
2. Befliegung 8.9.1979 Himmel wolkenlos	Zuckerrüben	6	10
	Mais	8	12

#### Rechnergestützte Auswertung der Luftaufnahmen

Ziel der Arbeiten am DIBIAS (Digitales interaktives Bildauswertesystem) der DFVLR (Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt) war es, die Filmdichte der aufgenommenen Ertragsreferenzfelder in den drei Farbschichten des Films blau, grün und rot zu messen und eine eventuell vorhandene Korrelation mit den gewonnenen Ernteerträgen der Referenzfelder zu finden.

Da die Aufnahmen mit einem Farbinfrarotfilm gemacht waren, entspricht das Grün der Natur hier dem Blauanteil des Films, das natürliche Rot dem Filmgrün und das natürliche Infrarot dem Filmrot. Das Blau der Natur wird auf diesem Film nicht wiedergegeben.

Der Vorteil von photographischen Bildern gegenüber beispielsweise Scanneraufnahmen sind die geringen geometrischen Verzerrungen, was das Auffinden und das Zuordnen der einzelnen Felder in der Karte erleichtert und das Abschätzen ihrer Flächengröße erlaubt. Außerdem bieten sich Luftbildfirmen an, die genügende Erfahrung und die passende Ausrüstung besitzen, um gut belichtete Aufnahmen zu liefern. Als Nachteile der Photographie muß man dafür die grobe Aufteilung des optischen Spektrums in nur drei Spektralbereiche und das Fehlen von Absolutwerten der Bildhelligkeit in Kauf nehmen, die je nach Belichtung schwanken kann. Außerdem macht sich störend die durch das Objektiv bedingte Vignettierung bemerkbar, wodurch die Bilder nach den Rändern zu dunkler erscheinen. Dadurch wurden für ein Referenzfeld, das auf zwei Aufnahmen an verschiedenen Stellen erfaßt wurde, unterschiedliche Dichtewerte gemessen. Eine Korrelation zwischen Ernteertrag und Filmdichte ist also nicht zu beobachten.

Die Werte der Filmdichte wurden mittels eines Densitometers der Firma Macbeth, Type TD 504, in den drei Grundfarben Blau, Grün und Rot gemessen. Zunächst einmal wurden dann ohne weitere Verarbeitung, für die drei Farben getrennt, die Ernteerträge gegen die Filmdichten punktweise aufgetragen.

Die Bilder 1 - 3 enthalten die Meßpunkte für die vier in obiger Tabelle aufgeführten Getreidesorten für die Farbanteile Blau, Grün und Rot des Films.

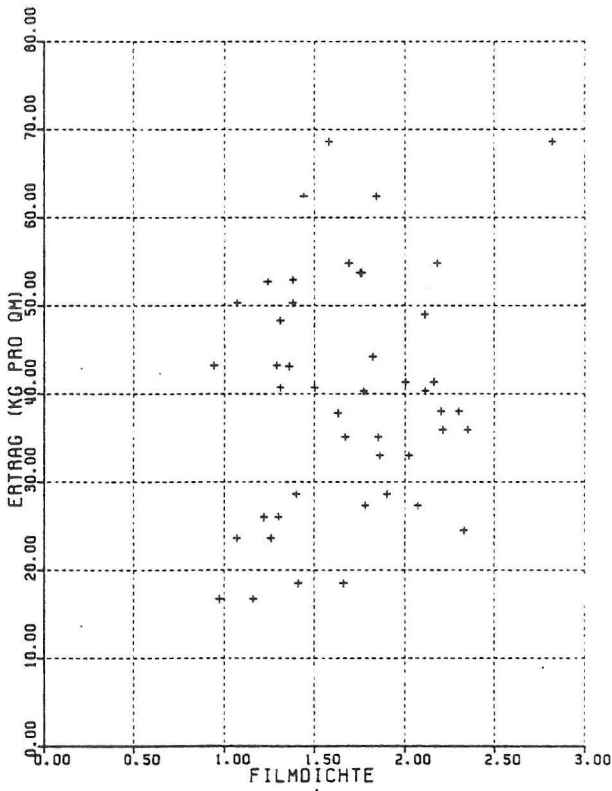


Bild 1 Ernteertrag von 4 Getreidesorten, aufgetragen über der Filmdichte des Blauauszuges von Luftbildern

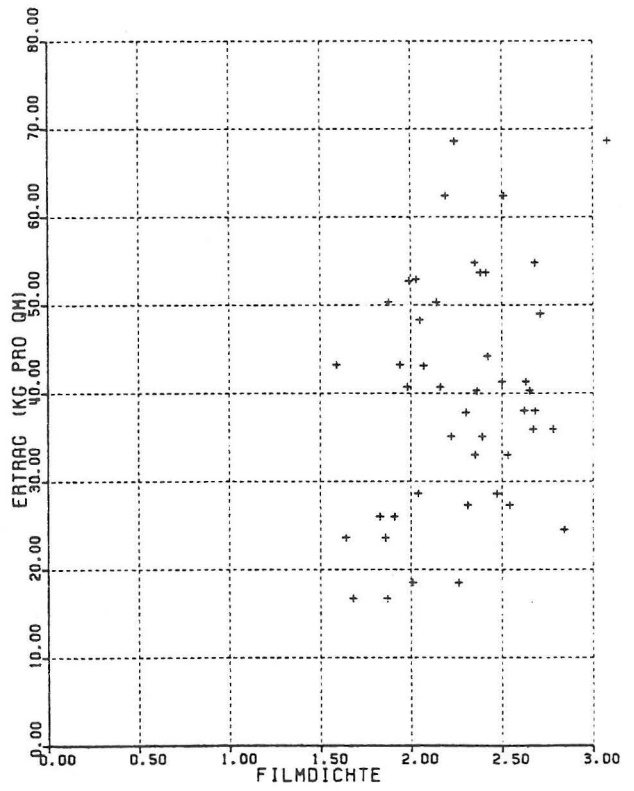


Bild 2 Ernteertrag von 4 Getreidesorten, aufgetragen über der Filmdichte des Grünauszuges von Luftbildern

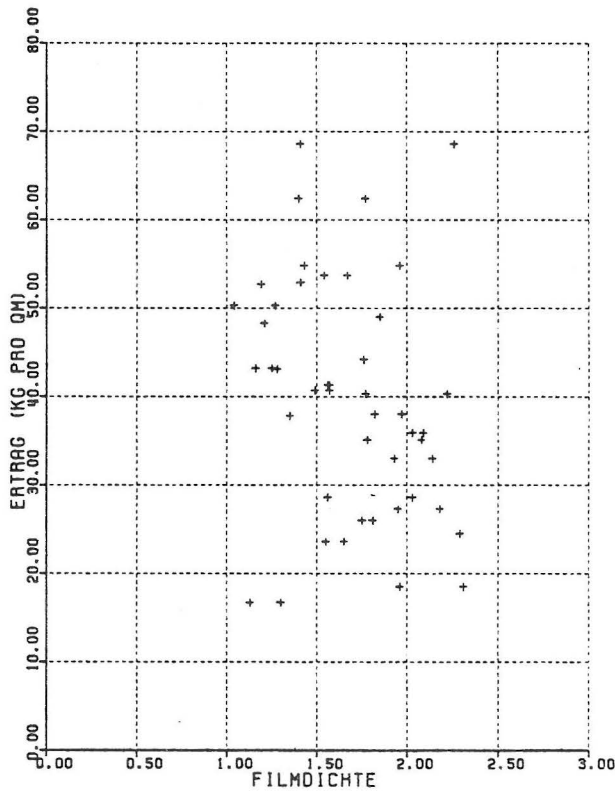


Bild 3 Ernteertrag von 4 Getreidesorten, aufgetragen über der Filmdichte des Rotauszuges von Luftbildern

Sie entsprechen den Farben Grün, Rot und Infrarot in der Natur. Wertepaare in den Bildern, die denselben Ertragswert aufweisen, stammen von demselben Referenzfeld, das jedoch auf 2 Luftbildern erfaßt wurde. Durch unterschiedliche Belichtung der beiden Aufnahmen oder durch den Vignettierungseffekt wurden aber verschiedene Filmdichten gemessen. Der Ernteertrag ist natürlich derselbe. Man ersieht aus den Bildern, daß sich keine Beziehung zwischen Ernteertrag und Filmdichte ergibt.

Nachdem aus der Literatur [2] bekannten Verfahren wurden die in dieser Arbeit angegebenen Korrelationsfaktoren R berechnet.

$$R = \frac{m S_D}{S_E}$$

Darin bedeuten: m Steigung der Regressionsgeraden (siehe Bilder 4 - 6)  
 $S_D$  Standardabweichung der Dichtewerte  
 $S_E$  Standardabweichung der Ertragswerte

Die Formelwerte sind:

$$m = \frac{1}{S_D^2} \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n D_i E_i - \bar{D} \bar{E} \right]$$

$$S_D^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [D_i - \bar{D}]^2$$

$$S_E^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [E_i - \bar{E}]^2$$

Darin bedeuten:  $D_i$  Dichtewerte  
 $\bar{D}$  mittlerer Dichtewert  
 $E_i$  Ertragswerte  
 $\bar{E}$  mittlerer Ertragswert  
n Anzahl der Werte

Für die Darstellungen der Bilder 1 - 3 wurden folgende Korrelationsfaktoren berechnet:

Blauauszug R = 0,20  
Grünzug R = 0,29  
Rotauszug R = 0,26

Die niedrigen Werte zeigen an, daß keine Korrelation zwischen Filmdichte und Ernteertrag vorhanden ist.

Nach einem von Helbig [3] angewandten Verfahren, der den Einfluß von Düngemitteln auf die Ernteerträge verschiedener Getreidearten untersuchte, wurde nun versucht, die unterschiedliche Filmbelichtung durch Normierung zu eliminieren. Bei beispielsweise stärkerer Belichtung eines Filmes wird das ganze Bild heller, d.h. es werden für alle drei Filmdichten Blau, Grün und Rot kleinere Werte gemessen. Durch Verhältnisbildung der Helligkeiten zweier

Farbauszüge ist demnach die Eliminierung des Belichtungseinflusses zu erwarten.

Da aber die Filmdichte ein logarithmisches Maß ist, muß in unserem Falle anstatt des Quotienten die Differenz gebildet werden. Mit den drei Farbdichten  $D_B$ ,  $D_G$ , und  $D_R$  lassen sich folgende drei Differenzen bilden:

$$a D_G - b D_B + c$$

$$a D_B - b D_R + c$$

$$a D_G - b D_R + c$$

Die Konstanten  $a$  und  $b$  werden so gewählt, daß ein Maximum der Korrelation entsteht. Die Konstante  $c$  sorgt lediglich dafür, daß die so errechneten Meßpunkte in das vorgegebene Koordinatennetz der Bilder 4 - 6 fallen. Sie hat keinen Einfluß auf den Korrelationsfaktor.

Die Anwendung des beschriebenen Verfahrens führte dann tatsächlich zum Erfolg. Ein Maximum des Korrelationsfaktors wurde durch Bildung der Differenz  $a D_G - b D_R + c$  erhalten. Für die vier Getreidesorten konnte damit ein Korrelationsfaktor  $R = 0,71$  erzielt werden. Die graphische Darstellung des Ergebnisses zeigt Bild 4.

Eine weitere Verbesserung, d.h. Erhöhung der Korrelation konnte durch getrennte Behandlung der Getreidesorten erreicht werden. Bild 5 zeigt das Ergebnis nur für Winterweizen, Bild 6 für Sommergerste. In beiden Fällen konnte ein Korrelationsfaktor von  $0,86$  ermittelt werden. Für die beiden anderen Getreidearten Winterroggen und Sommerweizen waren nur je 2 Ertragsreferenzfelder vorhanden (siehe Tabelle), weswegen eine getrennte Auswertung nicht sinnvoll ist.

#### Versuch mit Zuckerrüben und Mais

Bei diesen beiden Fruchtarten konnte kein befriedigendes Ergebnis erzielt werden, d.h. es wurde keine Korrelation zwischen Filmdichte und Ernteertrag gefunden.

Als Gründe dafür seien einmal die Aufnahmen der Bilder bei unbedeckter Sonne und zum anderen die starke Reihenstruktur von Rüben- und Maisfeldern genannt. Beim aufmerksamen Betrachten der Bilder fällt nämlich auf, daß im Gegensatz zu Getreidefeldern ein mehr oder weniger großer Schattenanteil zwischen den Bepflanzungsreihen im Feld vorhanden ist, der abhängt von dem Winkel der einfallenden Sonnenstrahlen zu den Reihen der Bepflanzung. Er wird praktisch zu null, wenn die Sonne genau in die Zeilen hineinstrahlt, und erreicht ein Maximum, wenn die Sonne seitlich steht. Natürlich hat die Sonnenhöhe dabei einen zusätzlichen Einfluß. Außerdem wurde in Übereinstimmung mit anderen Autoren [4, 5, 6] festgestellt, daß sehr große Unterschiede in den Filmdichten gemessen werden, je nachdem, ob das Testfeld vom Flugzeug aus im Gegenlicht oder im Mitlicht zur Sonne liegt.

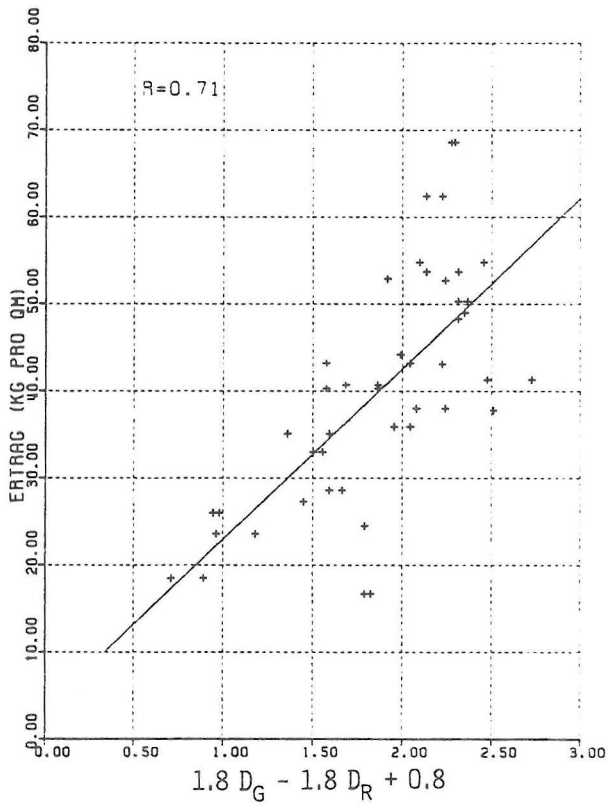


Bild 4 Korrelation zwischen Ernteertrag und Filmdichtedifferenzen. Vier Getreidesorten

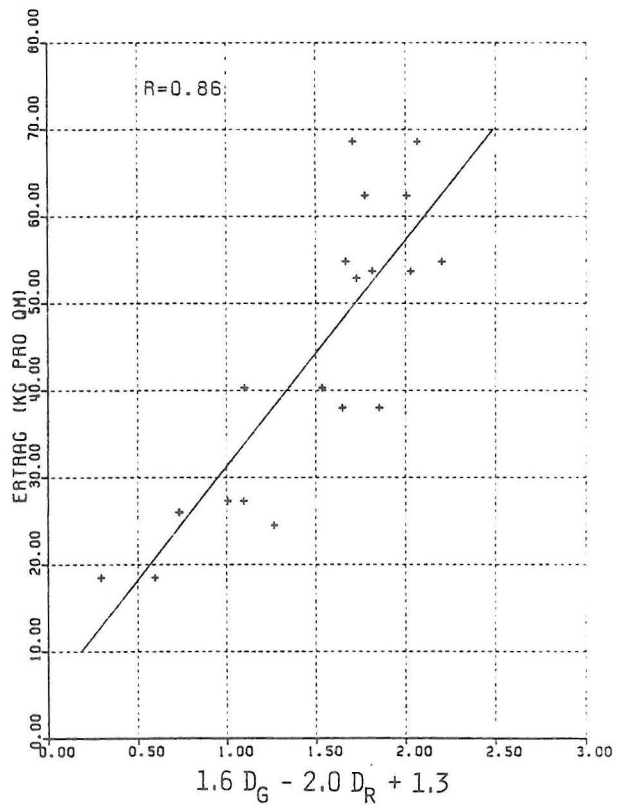


Bild 5 Korrelation zwischen Ernteertrag und Filmdichtedifferenzen. Winterweizen

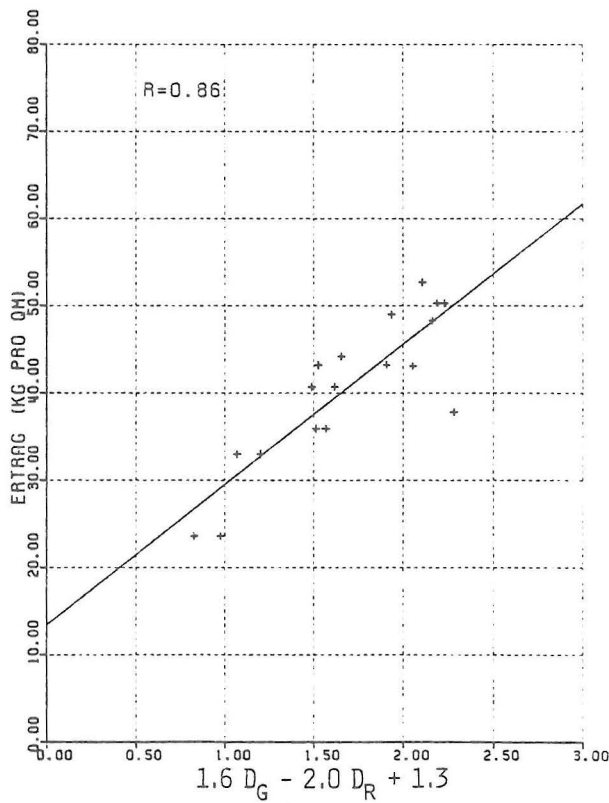


Bild 6 Korrelation zwischen Ernteertrag und Filmdichtedifferenzen. Sommergerste

## Schlußfolgerungen

Aufgrund der Erfahrungen und Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigt sich die Möglichkeit, aus Luftbildern, die auf Farbinfrarotfilm aufgenommen worden sind, durch Bestimmung der Filmdichte der drei Farbauszüge Blau, Grün und Rot und der Bildung von Differenzen zweier Dichtewerte, eine Korrelation zum Ernteertrag herzustellen. Dabei scheint der bedeckte Himmel gegenüber dem unbedeckten Vorteile zu bieten, da keine Schattenanteile im Bild den pflanzentypischen Farbwert verfälschen. Dieser Farbwert kann als Maß für die "Vitalität" der Pflanzen aufgefaßt werden. Schwierigkeiten wegen der Schattenbildung treten bei Pflanzenarten auf, die in Reihenstruktur angepflanzt werden, wie z.B. Mais und Rüben. Bei Feldern ohne Struktur, wie beispielsweise Getreidefeldern, sind jedoch brauchbare Korrelationsfaktoren zu erwarten.

Herrn Dipl.-Phys. Horst Helbig möchte ich für manchen guten Rat bei diesen Untersuchungen und für die Hilfe beim Erstellen der Programme herzlich danken.

### Literatur

- |   |                            |  |
|---|----------------------------|--|
| 1 | Thon J. und<br>Fellmann P. | Beweissicherungsverfahren im künftigen Wassergewinnungsgebiet des Zweckverbandes Fernwasserversorgung Rheintal, Aus unserer Arbeit Nr. 3, 1979, Zweckverband Fernwasserversorgung Rheintal, Sinsheim/Elsenz                                      |
| 2 | Kreyszig E.,               | Statistische Methoden und ihre Anwendungen, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 1974  |
| 3 | Helbig, H.,                | Untersuchungen von Pflanzenschutzmaßnahmen und Düngeeffekten an landwirtschaftlichen Kulturen durch Auswertung von Luftbildern, DFVLR, Interner Bericht, Nr. NE-NI-D-18-1979   |
| 4 | Boehnel H.J.,              | Bestimmung spektraler Signaturen von bewachsenen Oberflächen durch radiometrische Bodenmessungen (Realisierung und Probleme), Forschungsbericht W 78-04, Berichte zum Symposium Flugzeugmeßprogramm, Bundesminist. für Forschung und Technologie |
| 5 | Fischer W.,                | Zur Signifikanz von spektralen Signaturen bewachsener Oberflächen, im Bereich 400 - 1100 nanometer, Forschungsbericht W 78-04 s.o.   |
| 6 | Kadro A.,                  | Spektrale Reflexion land- und forstwirtschaftlicher Kulturen während der Vegetationsperiode, Forschungsbericht W 78-04 s.o.  |