



---

## **Wissenschaftliche Grundlagen für die Arbeit mit Luft- und Satellitenbildern im Geographieunterricht**

**Ulrich Wieczorek**

### **Zitieren dieses Artikels:**

Wieczorek, U. (1997). Wissenschaftliche Grundlagen für die Arbeit mit Luft- und Satellitenbildern im Geographieunterricht. *Geographie und ihre Didaktik*, 25(1), S. 57-70. doi 10.60511/zgd.v25i2.320

### **Quote this article:**

Wieczorek, U. (1997). Wissenschaftliche Grundlagen für die Arbeit mit Luft- und Satellitenbildern im Geographieunterricht. *Geographie und ihre Didaktik*, 25(1), pp. 57-70. doi 10.60511/zgd.v25i2.320

# **Wissenschaftliche Grundlagen für die Arbeit mit Luft- und Satellitenbildern im Geographieunterricht**

von ULRICH WIECZOREK (Augsburg)

## **1. Einführung**

Analysiert man beispielsweise den im Geographieunterricht eingesetzten Medienverbund, das Schulbuch, genauer, so haben dort Luftbilder ihren festen Platz. Dabei handelt es sich in der Regel allerdings um Schrägaufnahmen, die nicht nur die Grundriß-, sondern auch die für den Bildbetrachter wesentlich vertrautere Aufrißperspektive zeigen, wodurch die Erkennbarkeit von Objekten erleichtert wird.

Die Auswertung von Senkrechtluftbildern ist im Gegensatz zu Schrägluftbildern vielfach nicht mehr ohne besondere Schulung möglich. Sowohl die Orientierung als auch die Erkennbarkeit und vor allem die Identifizierbarkeit von Objekten sind mit Schwierigkeiten verbunden. Daher sind Senkrechtluftbilder in Schulbüchern auch wesentlich seltener vertreten als Schrägluftbilder. Zusätzliche Texterläuterungen, oft sogar legendenhaft bestimmte Bildstrukturen oder Bildfarben, sowie die Einführung von zusätzlichen Informationen in das Bild, wie z.B. Ortsnamen, Grenzen u.ä. können allerdings die Auswertung für den ungeübten Betrachter wesentlich erleichtern.

Im Gegensatz zu Luftbildern sind Satellitenbilder in Schulbüchern nur in geringem Umfang vertreten. In der Regel haben sie nicht die Funktion von Arbeitsmitteln sondern illustrierenden Charakter. Am häufigsten werden Aufnahmen von Wettersatelliten wiedergegeben. Jedoch lassen sich auch meteorologische Erscheinungen wie Inversionen, die Auswirkungen von Katastrophen (etwa Vulkanausbrüche), die Auswirkungen der Desertifikation in der Sahelzone und vieles mehr großräumig dokumentieren.

Es stellt sich nun die Frage, ob das Satellitenbild stärker als bislang als Medium in den Geographieunterricht einbezogen werden sollte. Wie das Luftbild ermöglicht es folgende Dimensionen der Wahrnehmung:

- die metrische (Darstellung des Raumes),
- die zeitliche, und zwar nicht nur diejenige der Makroskala (die Veränderungen in zeitlichen Größenordnungen von Jahren erfaßt), sondern im Gegensatz zur

Karte auch diejenige der zeitlichen Mikroskala (die Veränderungen in zeitlichen Größenordnungen von Minuten erfaßt),

- die radiometrische, und zwar erweitert durch die Erfassung unterschiedlicher, unseren Sinnen nicht oder nur unzulänglich zugänglicher Spektralbereiche der elektromagnetischen Strahlung wie z.B. des Infrarotlichtes, der stark differenzierten Wärmestrahlung, der Mikrowellenstrahlung usw. (Mit unseren Sinnen ist nur das sichtbare Licht und sehr grob die Wärmestrahlung erfaßbar).

Im Gegensatz zum Luftbild ermöglicht das Satellitenbild die nahezu gleichzeitige Erfassung großer Ausschnitte der Erdoberfläche. Die Landsat-Satelliten beispielsweise erfassen ein 180 km mal 180 km großes Gebiet in ca. einer dreiviertel Minute.

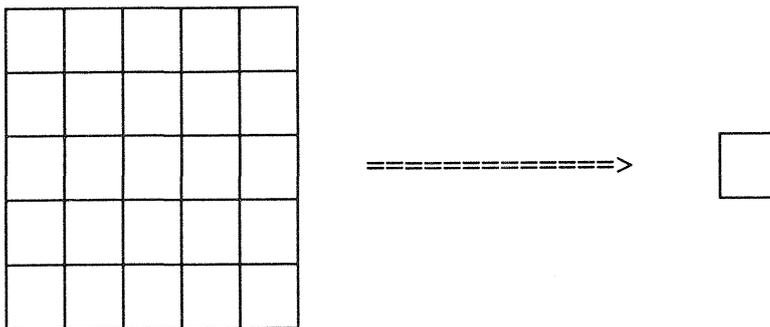
Ein Nachteil der Satellitenbilder gegenüber den Luftbildern ist jedoch ihre verhältnismäßig geringe geometrische (räumliche) Auflösung. Von den zivilen Satelliten liefert derzeit der Satellit SPOT mit der Abbildung einer 10 m mal 10 m großen Fläche auf einem Bildelement die beste geometrische Auflösung, allerdings auf Kosten der radiometrischen Auflösung. Es ist bei einer räumlichen Auflösung von 10 m mal 10 m nur möglich, eine panchromatische Aufnahme zu gewinnen. Die Entwicklung eines Nachfolgemodells mit wesentlich höherer geometrischer Auflösung steht allerdings vor dem Abschluß.

Die geringere geometrische Auflösung hat zur Folge, daß vielfach markante, für die Erkennung von Objektformen wichtige Konturen nicht mehr wiedergegeben werden. Bei Satellitenbildern, die größere Teile von Kontinenten zeigen, werden daher in der Regel wichtige konstitutive Elemente des topographischen Grundrasters, die in einer Karte des gleichen Gebietes dargestellt sind, nicht mehr wiedergegeben. Dabei erhebt sich die Frage, ob der Verlust von Information bezüglich von Linien bzw. Konturen durch den Gewinn an Information, den die erweiterte radiometrische Dimension der Betrachtung liefert, aufgewogen wird. Für die Beantwortung dieser Frage ist es notwendig, die verschiedenen Kategorien der Bildinformation, und zwar die Kategorien Dichte (bzw. Farbe), Muster bzw. Textur und Konturen zu bewerten. Die Entwicklung einer derartigen Bewertung ist eine fachwissenschaftliche Aufgabe, die zwischen geographischer Fernerkundung und Bildanalyse angesiedelt ist. Eine derartige Bewertung läßt sich aber in der Geographiedidaktik anwenden, um den Stellenwert eines Mediums wie des Satellitenbildes genauer zu umreißen. Der Algorithmus für eine derartige Bewertung, zu dessen Entwicklung klassische kombinatorische Problemstellungen er-

weitert und gelöst werden mußten (vgl. HALDER / HEISE, S. 78), ist von WIECZOREK (1992, b) vorgestellt worden (weitergehende Anwendungen wurden 1992, a veröffentlicht). Im folgenden sollen die Grundidee der Bewertung erläutert und die daraus sich ergebenden Konsequenzen kurz dargestellt werden.

## 2. Die Definition der Bewertung der Bildinformationskategorien „Dichte“, „Textur“ und „Kontur“

Die grundsätzliche Frage bei der Definition der Wertigkeit einer bestimmten Informationskategorie ist die Frage nach ihrem Informationsgehalt in Relation zum Maßstab. Das Problem ist, den Informationsgehalt zu ermitteln. Dies kann so geschehen, daß die Frage nach dem Verlust an Information bei Reduzierung der geometrischen Auflösung beantwortet wird. Ein derartiger Verlust an geometrischer bzw. räumlicher Auflösung tritt dann ein, wenn der Maßstab verkleinert wird. Bei Verkleinerung des Maßstabes werden mehrere Bildelemente zu einem einzigen zusammengefaßt. Dies ist in folgender Abbildung 1 schematisch dargestellt.

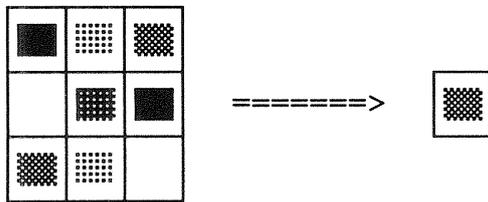


**Abb. 1.:** Reduzierung der geometrischen (räumlichen) Auflösung durch Projektion von 25 Bildelementen (Pixeln) auf 1 Bildelement

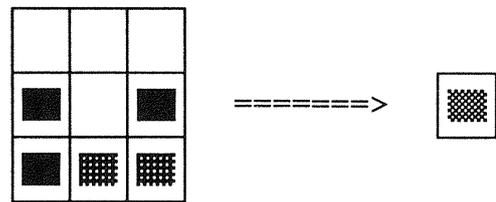
Werden  $n$  Bildelemente zu einem Bildelement vereinigt, so werden auch alle  $n$  auftretenden Schwärzungsdichtewerte zu einem resultierenden mittleren Schwärzungsdichtewert vereinigt. Dies zeigen die folgenden Beispiele von Bildrastern in Abbildung 2, in denen die Schwärzungsdichtewerte durch Zahlen von 0 bis 4 repräsentiert werden sollen (vgl. Abb. 2 auf S. 60):

Mit Hilfe von Abbildung 2 läßt sich ableiten, in welchem Umfang Information durch die Verkleinerung verlorengegangen ist:

Raster 1:



Raster 2:



in Zahlen:



Mittelwert: 1,89

Mittelwert: 2,00

**Abb. 2.:** Vereinigung von 9 Pixeln unterschiedlicher Dichte zu einem Pixel mit daraus resultierender Dichte.



(1) Die Gesamtinformation

In Abbildung 2 sind für das 9-Bildelement-Raster zwei Möglichkeiten von Schwärzungsdichte- anordnungen angegeben, für die sich bei Verkleinerung der Schwärzungsdichtewert 2 ergibt. Die Zahl aller für das Raster von 9 Bildelementen möglichen Schwärzungsdichte- anordnungen, für die sich bei Verkleinerung auf ein Bildelement der gerundete Schwärzungsdichtewert 2 ergibt, ist gleich der bei der Verkleinerung verlorengegangenen Gesamtinformation, die das Raster der 9 Bildelemente enthält. Statt der 9 Bildelemente kann auch eine andere Zahl von Bildelementen, z.B. n, gewählt werden, ebenso ein anderer Schwärzungsdichtewert für das bei Verkleinerung entstehende ein Bildelement. Die Zahl aller für ein Raster von n Bildelementen möglichen Schwärzungsdichte- anordnungen, für die sich bei Verkleinerung auf ein Bildelement der gerundete Schwärzungsdichtewert S ergibt, soll nach WIECZOREK (1992 b) mit NP (= number of permutations) bezeichnet werden.

Handelt es sich um ein Farbbild, so ist zu beachten, daß dieses aus drei Schichten (je eine Schicht für eine Grundfarbe) aufgebaut ist. Der Informationsverlust bei Verkleinerung eines Rasters von  $n$  Bildelementen auf eines ist dann für die erste Schicht gegeben durch die Zahl  $NP_1$ , für die zweite durch die Zahl  $NP_2$  und für die dritte durch die Zahl  $NP_3$ . Insgesamt ist der Informationsverlust dann durch den Wert des Produktes  $NP_1 \times NP_2 \times NP_3$  gegeben.

## (2) Die ausschließlich durch die Schwärzungsdichte bzw. Farbe gegebene Information

Wie bei (1) wird diese Information dadurch ermittelt, daß nach dem Informationsverlust gefragt wird, wenn ein Raster von  $n$  Bildelementen auf ein einziges Bildelement verkleinert wird, das den Schwärzungsdichtewert  $S$  aufweist. Es wird jedoch für das Raster der  $n$  Bildelemente nicht nach der Zahl aller Anordnungen von Schwärzungsdichtewerten gefragt, deren Mittelwert den gerundeten Wert  $S$  ergibt. Von Interesse ist, *welche* Schwärzungsdichtewerte auftreten können und wie oft diese auftreten können, ihre Anordnung spielt keine Rolle. Es wird also nach dem Auftreten von bestimmten Schwärzungsdichtehäufigkeiten gefragt. Die beiden Schwärzungsdichteanordnungen in Abbildung 3 unterscheiden sich in diesem Sinne nicht.

Die Zahl aller für ein Raster von  $n$  Bildelementen möglichen Schwärzungsdichtehäufigkeiten, für die sich bei Verkleinerung auf ein Bildelement der gerundete Schwärzungsdichtewert  $S$  ergibt, soll nach WIECZOREK (1992 b) mit  $NC$  (= number of combinations) bezeichnet werden.

Analog zu (1) ergibt sich für Farbbilder die Zahl  $NC_1 \times NC_2 \times NC_3$ .

Abbildung 4 zeigt ein Raster mit 9 Bildelementen. Es besteht aus 9 kleinen Karos. Um den Informationsverlust zu erfassen, der bei Verkleinerung des Rasters der 9 Bildelemente auf ein Bildelement auftritt, ist nach der Zahl der Möglichkeiten zu fragen, die Grenzlinien zwischen den Karos 'auszuradiieren' oder nicht 'auszuradiieren'. In Abbildung 4.a treten insgesamt 12 derartige Grenzlinien auf. Der Rand des 9-Bildelemente-Rasters wird nicht berücksichtigt. Sind die Grenzlinien 'ausradiert', so besteht zwischen den benachbarten Bildelementen kein Schwärzungsdichteunterschied. In Abbildung 4.b und Abbildung 4.c sind die punktierten Grenzlinien 'ausradiert'. In Abbildung 4.b kann die nicht 'ausradierte' Linie, die zum Rand führt und nach innen offen endet, aber so nicht existieren. Denn alle Bildelemente müssen hier die gleiche Schwärzungsdichte

haben, und damit kann dort, wo sich die nicht ausradierte Linie befindet, keine Konturlinie auftreten. Denkbar wäre allerdings ein wendeltreppenartiger kontinuierlicher Anstieg der Schwärzungsdichte, der jedoch nur für das Auge bei sehr feiner Schwärzungsdichteabstufung so empfunden werden kann.

<u>Raster 1:</u>			<u>Raster 2:</u>		
als Bild:	in Zahlen:		als Bild:	in Zahlen:	
	4	1 2		4	4 3
	0	3 4		2	2 1
	2	1 0		1	0 0

**Abb. 3.:** Vereinigung von 9 schwarzen bzw. weißen Pixeln Dichte zu einem Pixel mit daraus resultierender Dichte "schwarz" oder "weiß".

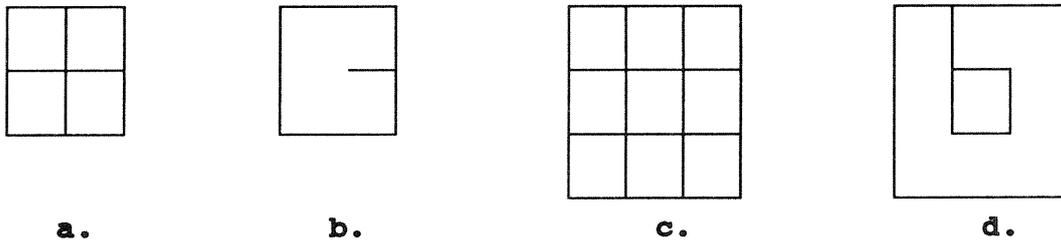
 = weiß       = schwarz

### (3) Die ausschließlich durch die Konturen gegebene Information

Gleiches gilt für diejenige nicht 'ausradierte' Linie in der Figur in Abbildung 4.c, die vom Rand zu dem Bildelement in der Mitte führt. Alle das zentrale Bildelement umgebenden Bildelemente müssen die gleiche Schwärzungsdichte aufweisen.

Die Zahl N der Möglichkeiten des 'Ausradierens' von Grenzlinien zwischen n im normalerweise quadratischen Raster angeordneten Bildelementen ist gleich dem Informationsverlust der Kontur, wenn das Raster der n Bildelemente auf ein einziges Bildelement verkleinert wird. Dabei sind Figuren mit 'offen endenden Linien' und 'Ringe mit Schnitt' (vgl. Abb. 4.) in der Regel auszuschließen. 'Offen endende Linien' und 'Ringe mit Schnitt' sind allerdings nicht auszu-

schließen, wenn in Bildern mit hoher Schwärzungsdichtedifferenzierung die *visuell* erfassbare Konturinformation von Interesse ist.



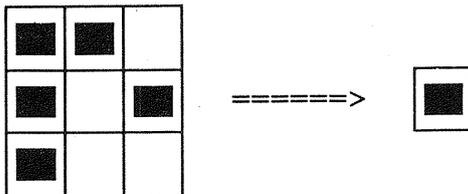
**Abb.4.:** a. Raster von 4 Karos, b. "Offen endende Linie"  
c. Raster mit 9 Karos d. "Ring mit einem Schnitt"

(4) Die ausschließlich durch die Textur (Muster) gegebene Information

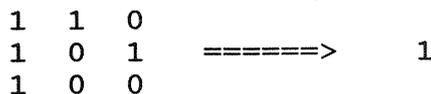
Als ein Muster soll eine Anordnung von schwarzen und weißen Bildelementen aufgefaßt werden. Verkleinert man ein Raster von n Bildelementen auf ein einziges Bildelement, entsteht ein schwarzes oder ein weißes Bildelement, je nachdem, ob in dem Raster der n Bildelemente die schwarzen oder die weißen in der Überzahl waren (vgl. Abb. 5). Waren gleich viele schwarze und weiße Bildelemente vorhanden, so ist die Wahrscheinlichkeit, daß bei dieser Verkleinerung ein weißes oder ein schwarzes Bildelement entsteht, gleich 50 %.

Raster 1:

als Bild:



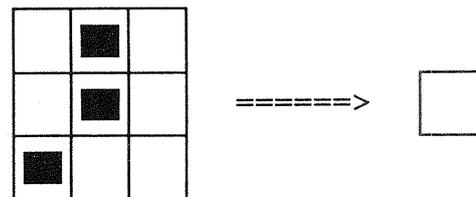
in Zahlen:



Mittelwert: 0,56

Raster 2:

als Bild:



in Zahlen:



Mittelwert: 0,33

**Abb.5.:** Vereinigung von 9 schwarzen bzw. weißen Pixeln zu einem Pixel mit daraus resultierender Dichte "schwarz" oder "weiß".



Die Zahl der Möglichkeiten aller Anordnungen in einem Raster von insgesamt  $n$  schwarzen und weißen Bildelementen, das bei Verkleinerung ein einziges resultierendes schwarzes oder weißes Bildelement ergibt, ist gleich dem Informationsverlust der Textur bei dieser Verkleinerung (die Zahl jener Möglichkeiten, bei denen gleich viele schwarze und weiße Bildelemente auftreten, ist hälftig auf das resultierende schwarze oder weiße Bildelement aufzuteilen) und wird nach WIECZOREK (1992 b) mit  $T$  bezeichnet.

Wie die Zahlen  $NP$ ,  $NC$ ,  $N$  (für beide Arten der Anordnung der Konturlinien) und  $T$  zu berechnen sind, sei auf WIECZOREK (1992 b) verwiesen.

### **3. Vergleich des Wertes der Informationskategorien 'Dichte', 'Textur' und 'Kontur' und ihre Bedeutung für die Bildauswertung**

Der Wert der drei Bildinformationskategorien 'Dichte' bzw. 'Farbe', 'Textur' und 'Kontur' ist durch die in Abschnitt 2 festgelegten Werte  $NC$ ,  $N$  und  $T$ , für die gesamte Bildinformation durch den Wert  $NP$  gegeben. Da diese Werte schnell sehr groß werden, ist es für deren vernünftige graphische Darstellung nötig, sie zu logarithmieren. Dabei soll der aus der Informationstheorie für die Messung des Informationsgehaltes gebräuchliche Logarithmus zur Basis 2 (= „dualer Logarithmus“ mit der Bezeichnung: „ $ld$ “, die  $\log_2$  entspricht) verwendet werden.

Wie die folgenden Abbildungen zeigen, in denen  $ld(NP)$ ,  $ld(NC)$ ,  $ld(N)$  (für beide Arten der Anordnung der Konturlinien) und  $ld(T)$  dargestellt sind, ist der Wert für die gesamte Bildinformation am höchsten. Für geringfügige Reduzierungen der geometrischen (räumlichen) Auflösung ist der Wert der Information für die Kontur und Textur kleiner, jedoch für stärkere Reduzierungen der geometrischen Auflösung größer als für die Schwärzungsdichte bzw. die Farbe.

Dies bedeutet, daß bei den Maßstäben, in denen Luft- bzw. Satellitenbilder Erdoberflächenausschnitte wiedergeben, der höchste Informationsverlust in der Kategorie 'Kontur' gegeben ist, also in der Kategorie mit dem höchsten Informationsgehalt. Der Verlust für die 'Textur' ist geringer. Am geringsten ist der Verlust für die 'Schwärzungsdichte' bzw. die 'Farbe'.

Untersuchungsergebnisse von G. A. FRY und S. H. BARTLEY (1935) (zitiert in B. S. LIPKIN / A. ROSENFELD 1970, S. 45) zeigen, daß der Mensch seine Umwelt vornehmlich durch Formen wahrnimmt. Diese sind aber durch Konturen bestimmt. Dies bedeutet, daß der Mensch seine Umwelt vor allem durch jene

Informationskategorie wahrnimmt, die den höchsten Informationsgehalt für die meisten derjenigen Abbildungsmaßstäbe besitzt, in denen die Umgebung auf die Netzhaut projiziert wird. Zwar ist nach A. L. GILCHRIST (1986) für die Wahrnehmung einer Linie ein Farbkontrast erforderlich, es ist aber gleichgültig, welche Farben zueinander kontrastieren.

Andererseits sind dem Menschen sowohl bezüglich der Fähigkeit, nicht benachbarte Grauwerte oder Farben wahrzunehmen, als auch Muster zu vergleichen, Grenzen gesetzt (H. SCHÖBER 1957; B. JULESZ 1986).

Luft- und Satellitenbilder werden heute sowohl visuell als auch mit Computerunterstützung ausgewertet. Die Computerunterstützung kann bis zur vollautomatischen Kartierung reichen, z. B. wenn automatisch bestimmte Waldschadensklassen auskartiert werden können. Je komplexer jedoch die im Bild erkennbaren Formen, um so mehr muß man sich auf die visuelle Analyse, d. h. auf die altbewährte Auswertung durch den Menschen (der aufgrund von fachlichen Kenntnissen die richtigen Schlüsse aus der Bildinformation ziehen kann) stützen. Computergestützte Bildverarbeitungsverfahren (wie z. B. Kontrastverstärkung) können hierbei lediglich eine den menschlichen Auswerter unterstützende Rolle übernehmen.

Von Bedeutung ist es, daß der menschliche Auswerter für die Analyse der Information mit dem höchsten Informationsgehalt unverzichtbar ist. Betrachtet man die gängigen computergestützten Bildverarbeitungs- und Kartierverfahren, dann wird ein um so höherer Automatisierungsgrad möglich, je geringer der Wert der verarbeiteten Informationskategorie ist. Die Automatisierung hat eben auch für die Verarbeitung der Schwärzungsdichteinformation die größte Bedeutung, vor allem bei der multispektralen Klassifikation von Dichtewerten, bei der mehrdimensionale Klassifikationsalgorithmen angewendet werden.

Bezüglich des Erkennens und Zuordnens von Formen besitzt der Mensch bereits in jungen Jahren erstaunliche Fähigkeiten. Dies zeigen die ersten beiden Aufgaben eines in zwei Grundschulklassen (Jahrgangsstufe 4) mit 23 und 24 Schülern im Raum Augsburg durchgeführten Tests:

*1. Aufgabe:*

*Die Schüler mußten auf dem Senkrechtluftbild einer ihnen unbekanntes Stadt vorgegebene kleine, zum Teil sich stark ähnelnde Bildausschnitte wiederfinden.*

## 2. Aufgabe:

*Drei verschiedene Musterausschnitte mußten den richtigen Mustern im Bild zugeordnet werden. Der Schwierigkeitsgrad für die Zuordnung der 3 Muster war unterschiedlich.*

Für jede Aufgabe standen fünf Minuten zur Verfügung.

Die fünf Minuten wurden für die Lösung der 1. Aufgabe nicht ausgeschöpft. Die Aufgabe wurde ausgezeichnet gelöst. In jeder Klasse verwechselte nur je ein Schüler zwei Grundrisse. Sonst wurden keine Fehler gemacht.

Für die zweite Aufgabe gab es für die drei Muster insgesamt 16, 7 und 4 falsche Lösungen.

Die Zuordnung der Muster fällt also schwerer. Und es ist vielfach nachgewiesen (z. B. schon bei H. SCHOBER), daß dem Menschen die Zuordnung von Grauton- oder Farbausschnitten ohne Hilfsmittel noch sehr viel schwerer fällt.

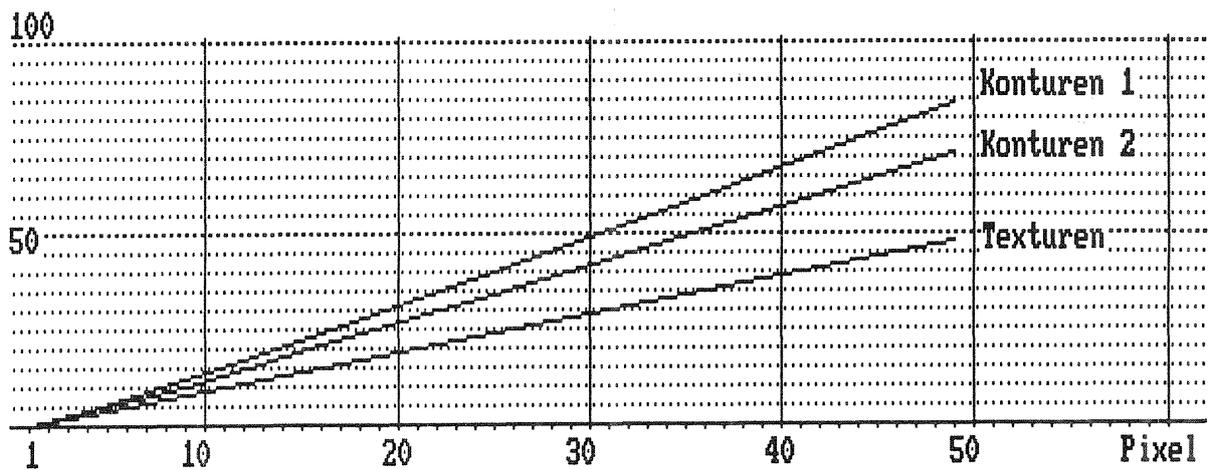
## 4. Folgerungen für den Einsatz der Medien 'Luftbild' und 'Satellitenbild'

Zunächst ist die Rolle der drei unterschiedlichen Informationskategorien für die Wiedergabe von Erdoberflächenausschnitten und ihre Aussagekraft im Luft- bzw. Satellitenbild zu beachten.

### (1) Schwärzungsdichte, bzw. Schwärzungsdichtekombinationen (spektrale Signaturen) - radiometrische Information

Sie wird beeinflußt durch die Remissionseigenschaft der Oberflächentypen. Bei den im Satellitenbild gegebenen geometrischen Auflösungen vermischen sich bei stark differenzierten Oberflächen die von verschiedenen Oberflächentypen ausgehenden Signale. Dadurch geht ein Großteil der Information über die Oberfläche verloren. Werden allerdings große, bezüglich bestimmter Bereiche der elektromagnetischen Rückstrahlung homogene Flächen erfaßt, so kommt eine starke radiometrische Auflösung voll zum Tragen. So lassen sich zum Beispiel Wolken, an der Oberfläche auftretende Meeresverschmutzungen, große Rodungsflächen im Bereich des tropischen Regenwaldes usw. sehr gut durch das Satellitenbild veranschaulichen. Zur großräumigen Demonstration derartiger Erscheinungen, insbesondere in ihrer zeitlichen Entwicklung, eignen sich Satellitenbilder sehr gut als Medium.

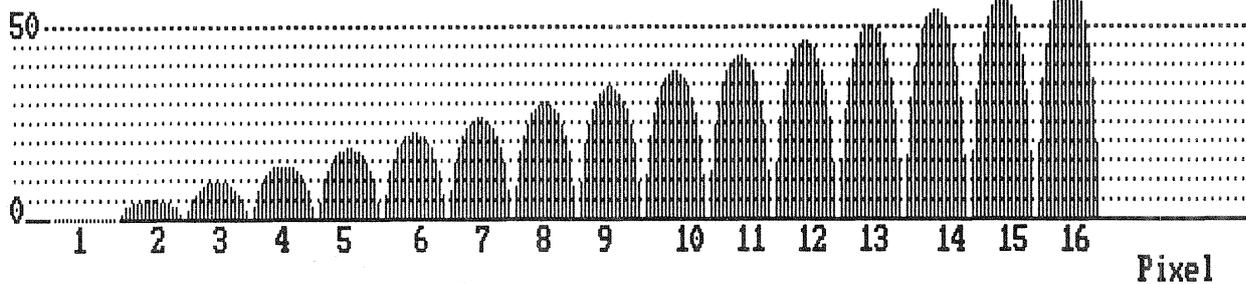
ld(K), ld(T)



DICHTEPERMUTATIONEN

Anzahl der Dichtestufen: 16

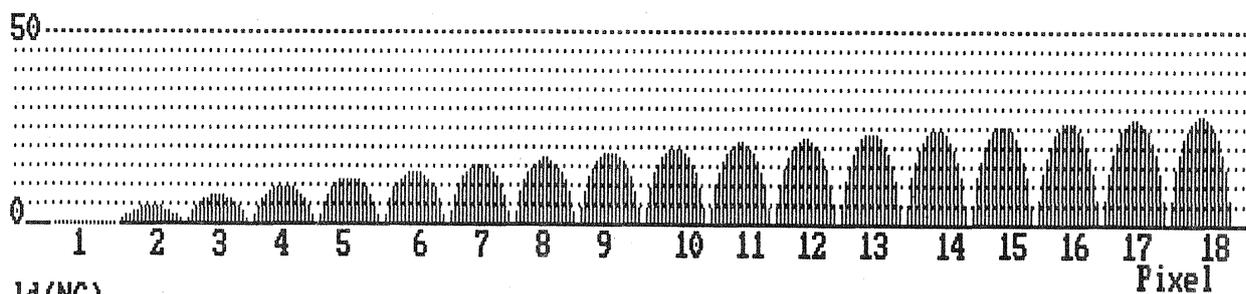
ld(NP)



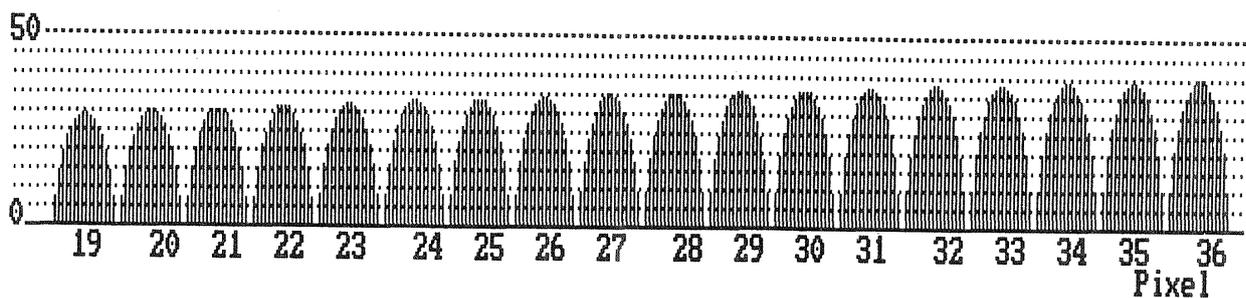
DICHTEKOMBINATIONEN

Anzahl der Dichtestufen: 16

ld(NC)



ld(NC)



**Abb.6.:** Dualer Logarithmus der Anzahl der Möglichkeiten der Wiederherstellung eines n-Pixel-Rasters nachdem n Pixel  $P_1, \dots, P_n$  zu einem resultierenden Pixel P zusammengefaßt worden sind.

Oben:

Dualer Logarithmus von möglichen Besetzungen

- der Grenzlinien zwischen zwei Pixeln durch ein Linienelement in einem quadratischen Karoraster in dem "offen endende Linien" und Ringe mit "Schnitt" erlaubt sind (Konturen 1) und wenn "offen endende Linien" und "Ringe mit einem Schnitt" nicht erlaubt sind (Konturen 2).
- der Pixel in einem Karoraster mit Schwarz oder Weiß

Unten:

Dualer Logarithmus der Zahl der Permutationen und der Kombinationen der Dichtewerte von n Pixeln  $P_1, \dots, P_n$ , die zu einem resultierenden Pixel P mit der Dichte d zusammengefaßt werden. Der Dichteumfang beträgt hier 16 Stufen von 0 bis 15. In jedem, den Pixelzahlen 1 bis 16 zugeordneten Säulengruppen repräsentiert jede Säule den dualen Logarithmus der Zahl der Möglichkeiten für eine bestimmte Dichte von 0 bis 15, von links für  $d=0$  beginnend und rechts mit  $d=15$  endend.

## (2) Konturen als Grundlage von Formen

Formen sind durch Konturen bestimmt. Konturen sind das Ergebnis unterschiedlicher Reflexions- und Rückstrahlungseigenschaften von Arealen auf der Erdoberfläche. Somit liefern Konturen wichtige Informationen über die Differenzierung des Raumes. Durch die Vermischung der von verschiedenen Oberflächentypen ausgehenden Signale bei sehr kleinräumigen Erdoberflächenausschnitten gehen damit sehr viel an Konturinformation und somit auch viele Informationen über die räumliche Differenzierung verloren. Diese Information fließt dann in die durch Mischung entstandenen Grau- bzw. Farbwerte der Bildelemente ein. Diese geben jedoch dann nur noch eine sehr stark reduzierte Information über die auf dem Bildelement abgebildeten Erdoberflächenausschnitte wieder. Die Informationsverluste sind, wie die informationstheoretischen Überlegungen zeigen, außerordentlich hoch. Zur Veranschaulichung charakteristischer Raummerkmale ist daher das Satellitenbild im Gegensatz zum Luftbild als Medium nur sehr bedingt geeignet. Erst höhere geometrische (räumliche) Auflösungen werden zu einer Änderung dieser Bewertung führen können. Satellitenbilder von Stadtregio-

nen im Wandkartenformat wären dann sinnvolle Medien, da sich dabei auch kleine Details noch reproduzieren lassen.

### (3) Textur

Bezüglich des Wertes ihrer Information steht in Luft- und Satellitenbildern die Textur zwischen Kontur und Dichte. Hochfrequente, d. h. feine Texturen, die z. B. die Identifizierung von Feldfrüchten erlauben, spielen im Geographieunterricht praktisch keine Rolle, da ihre Analyse einen über die Erziehungsziele des Schulfaches Geographie hinausgehenden Aufwand erfordert. Durch niederfrequente, d. h. grobe Texturen wiedergegebene großräumige regelhafte Phänomene (z. B. Wolkenstrukturen, Treibeisfelder, Dünenfelder, Talsysteme in Gebirgen) sind in Satellitenbildern gut darstellbar. Die Unterdrückung feinerer Texturen ist hier sogar vorteilhaft, da diese hierbei oft nur einen dem 'Rauschen' vergleichbaren Störfaktor bilden.

Aufgrund des höheren Wertes der Konturinformation, die bei den heute erreichbaren geometrischen (räumlichen) Auflösungen der Satellitenbilder stark reduziert wird, sollten Satellitenbilder nur dann als Medium verwendet werden, wenn die geringerwertigen Informationskategorien 'Textur' und Dichte bzw. 'Farbe' von Interesse sind und größere, bezüglich ihrer Dichte bzw. Farbe oder ihrer Textur hinreichend homogene Raumeinheiten untersucht und verglichen werden sollen.

### **Literatur**

GILCHRIST, A. L. (1986): Die Wahrnehmung schwarzer und weißer Flächen. - In: M. RITTER (Hrsg.): Wahrnehmung und visuelles System. Spektrum der Wissenschaft: Verständliche Forschung. - Heidelberg.

HALDER, H.-R./ HEISE, W. (1976): Einführung in die Kombinatorik. - München/ Wien.

HALL, M. (1986): Combinatorial Theory. - 2nd Edition, New York u. a.

JULESZ, B. (1987): Texturwahrnehmung. - In: M. RITTER (Hrsg.): Wahrnehmung und visuelles System. S. 48 - 57. Spektrum der Wissenschaft: Verständliche Forschung, Heidelberg.

LIPKIN, B. S./ ROSENFELD, A. (1970): Picture Processing and Psychopictorics. - New York/London.

WIECZOREK, U. (1992 a): Value of Different Information Categories and its Importance for the Effectiveness of Image Analysis by the Visual System and Automatic Systems. - In: Proceedings of the „International Space Conference“, Munich, p. 407- 411.

WIECZOREK, U. (1992 b): Scale Reduction and Maximum Information Loss of Different Information Categories. - In: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. LVIII, No. 12, December 1992, p. 1679 - 1684.