



Information aus Bildern – 100 Jahre Entwicklung in Photogrammetrie und Fernerkundung

Jörg Albertz ¹

¹ *Fachgebiet Photogrammetrie und Kartographie, Technische Universität Berlin,
Straße des 17. Juni 135, D-10623 Berlin*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **85** (4), S.
251–259

1997

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Albertz_VGI_199731,  
  Title = {Information aus Bildern -- 100 Jahre Entwicklung in Photogrammetrie  
    und Fernerkundung},  
  Author = {Albertz, J{"o}rg},  
  Journal = {VGI -- {"O}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und  
    Geoinformation},  
  Pages = {251--259},  
  Number = {4},  
  Year = {1997},  
  Volume = {85}  
}
```



Ich habe meine Laudatio mit einer kleinen persönlichen Geschichte begonnen; ich möchte sie mit einer kleinen Begebenheit, die für Karl Neumaier typisch ist, beenden. Anlässlich der Weihnachtsfeier am Institut am 18. Dezember dieses Jahres hat er Prof. Waldhäusl und mir ein Buch (Knaur-Verlag) des Physikers und Wissenschaftsjournalisten Robert Matthews mit dem Titel „Und Gott hat doch gewürfelt“ geschenkt. Der Titel spielt auf den berühmten Satz Albert Einsteins „Gott würfelt nicht“ an. Einstein hat mit diesem Satz seine Kritik an den Ungewißheiten in der Quantentheorie, insbesondere an der Heisenbergschen Unschärferelation, zusammengefaßt. Die heute diskutierten naturwissenschaftlichen Weltbilder, die Herr Matthews in seinem Buch gekonnt beschreibt, enthalten noch viele Rätsel, m.a.W., sie kommen ohne die ‚Würfel Gottes‘ nicht aus. In dem breit angelegten Buch gibt es auch Themen wie ‚Die Suche

nach dem Schlüssel des Lebens‘, ‚Alfred Wegener und seine wandernden Kontinente‘, ‚Chaos im grandiosen Uhrwerk‘, ‚Sind wir allein im Universum?‘, ‚Die Ausmaße des Universums‘ etc. In diesem Buch, das beim Lesen eine beachtliche Konzentration erfordert, liest unser 100-jähriger Jubilar, so hat er uns beim Überreichen des Buches gesagt, gegenwärtig jeden Tag etwa 1 1/2 Stunden.

Prof. Dr. Karl Neumaier kann auf ein interessantes und reiches Leben zurückblicken. Es ist der Hinweis angebracht, daß er viele Studierende im In- und Ausland in Photogrammetrie ausgebildet hat und sie für dieses interessante Fachgebiet begeistern konnte. Viele seiner ehemaligen Schüler sind und waren an leitenden Positionen im öffentlichen Dienst und in der Privatwirtschaft tätig. Sechs seiner ehemaligen Schüler wurden Universitätsprofessoren.



Information aus Bildern – 100 Jahre Entwicklung in Photogrammetrie und Fernerkundung¹

Jörg Albertz, Berlin

Für die ehrenvolle Einladung, im Rahmen der Festveranstaltung zum 100. Geburtstag von Altpräsident Prof. Dr. Karl Neumaier zu sprechen, darf ich mich herzlich bedanken. Es ist mir eine besondere Freude, dem Jubilar die Grüße der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung überbringen zu dürfen. Er ist nicht nur das an Lebensjahren älteste Mitglied unserer Gesellschaft, auch der Zeitraum seiner Mitgliedschaft ist enorm: vor Jahrzehnten ist er der Gesellschaft beigetreten und hat ihre Arbeit durch seine Mitgliedschaft bis zum heutigen Tage unterstützt.

Als Thema für diesen Vortrag habe ich gewählt »Information aus Bildern – 100 Jahre Entwicklung in Photogrammetrie und Fernerkundung«. Werfen wir dazu erst einen kurzen Blick auf die Vorgeschichte.

1. Aus der Vorgeschichte der Photogrammetrie

Am 3. Juli 1839 erstattete der Physiker Dominique François Arago (Abb. 1) der französischen



Abb. 1: Dominique François Arago (1786–1853)

Deputiertenkammer einen Bericht, der zum Ankauf der Erfindung von Joseph Nicéphore

¹ Für den Druck überarbeitete Fassung des am 8. Januar 1998 während der Festveranstaltung zum 100. Geburtstag von Professor Karl Neumaier gehaltenen Vortrags.

Niépce (1765–1833) und Louis Jacques Mandé Daguerre (1787–1851) durch die französische Regierung führte. Kurz danach, am 19. August 1839, konnte er der französischen Akademie der Wissenschaften in einer denkwürdigen Sitzung die Erfindung der Photographie in allen Einzelheiten bekanntgeben.

Bei beiden Gelegenheiten hat der offenbar sehr weitblickende Arago auf die Möglichkeiten zur Ausmessung photographischer Bilder hingewiesen: »Die photographischen Bilder, wenn man sie in ihrer Formation den Regeln der Geometrie unterwürfe, würden es zulassen, unter der Beihülfe nur weniger gegebener Punkte, genauere Messungen der höchsthabenen, unzugänglichsten Stellen von Gebäuden zu veranstalten.« (zitiert nach [9] S. 151). Und an anderer Stelle sagt er, »daß man sich der Hoffnung hingeben darf, daß wir photographische Karten von unserem Trabanten (Mond) werden machen können.« (nach [5] S. 306). Der in die Begutachtung einbezogene Chemiker Louis Joseph Gay-Lussac (1778–1850) erklärte in diesem Zusammenhang in seinem Bericht an die französische Pairskammer vom 30. Juli 1839: »Die Perspektive einer Landschaft und jedes Gegenstandes ist mit einer mathematischen Genauigkeit dargestellt ...« (nach [5] S. 312). Beide haben also die Tragweite der Erfindung schon sehr früh erkannt und den Grundgedanken der Photogrammetrie vorweggenommen, nämlich die Nutzung der in Photographien gespeicherten geometrischen Informationen.

Diese Erkenntnisse blieben freilich zunächst ohne unmittelbare Auswirkung. Die ersten Versuche zur Verwendung von Photographien als Meßbilder wurden offenbar unabhängig von diesen Aussagen rund 20 Jahre später unternommen. Sie sind untrennbar verbunden mit den Namen Aimé Laussedat (1819–1907), der in Frankreich an der topographischen Aufnahme arbeitete, und Albrecht Meydenbauer (1834–1921), der in Deutschland zum Pionier der Architekturphotogrammetrie wurde.

Ein anderer Pionier der Photogrammetrie und Fernerkundung ist zu nennen: Gaspar Félix Tournachon, genannt Nadar (Abb. 2). Er begann 1858 mit Versuchen zur Aufnahme von Luftbildern aus Ballons mit dem Ziel, topographische Aufnahmen durchzuführen: »Ein sicherer gefeselter Ballon und ein guter photographischer Apparat, das ist alles, was ich brauche, um jede kleinere oder größere Erdfläche genauer aufzunehmen und zu vermessen, als es mittels Triangulation, Graphometer und Meßkette geschehen kann.« (nach [9] S. 151). Mit dem damaligen

technischen Stand war dies aber noch nicht realisierbar und Nadar mußte viel Spott einstecken, der u.a. in der bekannten Karikatur von Honoré Daumier zum Ausdruck kommt (z.B. in [9] Abb. 62).



Abb. 2: Gaspar Felix Tournachon, genannt Nadar (1820–1910)

Rückblickend muß man die genannten wie auch zahlreiche andere Aktivitäten als Vorläufer einer Entwicklung sehen, deren eigentliche Blütezeit erst viel später folgen sollte. Aber wichtig ist, daß schon damals zwei Aspekte klar erkannt waren:

1. Photographische Bilder enthalten aufgrund der bei der Aufnahme gültigen Abbildungsgesetze detaillierte Informationen über die wiedergegebenen Objekte.
2. Durch die Kenntnis der Abbildungsgesetze wird es grundsätzlich möglich, diese Informationen für viele Zwecke nutzbar zu machen.

Folgerichtig stand die ganze weitere Entwicklung unter den beiden Zielsetzungen,

1. die Verfahren zur Gewinnung von Bildern zu verbessern und vor allem auch zu erweitern, und
2. Methoden zur Auswertung von Bildern zu erarbeiten und die dazu erforderlichen technischen Hilfsmittel zu entwickeln.

In diesem Sinne begann der Aufbruch in die Blütezeit von Photogrammetrie und Fernerkundung vor rund 100 Jahren, gegen Ende des vorigen und zu Beginn dieses Jahrhunderts.

2. Aufbruch vor etwa 100 Jahren

Innerhalb weniger Jahre sind mehrere Marksteine der Entwicklung zu verzeichnen, die sich skizzenhaft wie folgt beschreiben lassen:

- 1885 wird in Berlin die *Königlich Preußische Meßbildanstalt* gegründet und Albrecht Meydenbauer mit der Leitung beauftragt. Damit findet die von ihm entwickelte Architekturphotogrammetrie öffentliche Anerkennung. In den Folgejahren entsteht ein einmaliges Meßbildarchiv zur Dokumentation von bau- und kunstgeschichtlich wichtigen Denkmälern.
- In den neunziger Jahren wird vor allem in Österreich systematisch die terrestrische Photogrammetrie zur topographischen Aufnahme im Gebirge eingesetzt, u.a. in den Julischen Alpen, den Karawanken und der Hohen Tatra.
- Ab 1900 beginnt mit dem Bau des Stereokomparators unter Carl Pulfrichs Leitung die Einführung des stereoskopischen Meßprinzips, das die photogrammetrische Auswertung revolutionieren sollte.
- Und 1908 erfindet Eduard von Orel in Wien den Stereoautographen, der die stereoskopische Messung unmittelbar mit der Kartierung verbindet. Daraus entstehen mehrere Generationen von stereophotogrammetrischen Auswertegeräten, die nach unserem heutigen Sprachgebrauch Analogrechner darstellen und der Photogrammetrie zum Durchbruch verholfen haben.
- Schließlich wird die Aufnahme von Luftbildern entwickelt, zunächst noch von Ballons aus. Aber mit dem Aufkommen der Luftschiffe und dann vor allem der Flugzeuge erhält die Photogrammetrie erst die zur systematischen Geländeaufnahme so wichtigen erhöhten »Standpunkte«.

Diese Entwicklungen können in dem gegebenen Rahmen nur kurz angedeutet werden. Einzelheiten sind in der Literatur zur Geschichte der Photogrammetrie reichhaltig dokumentiert (z.B. [4]). Außerdem ist auf den Festvortrag zu verweisen, den Gottfried Konecny im Juli 1996 bei der Eröffnung des 18. Internationalen Kongresses für Photogrammetrie und Fernerkundung in der Wiener Hofburg gehalten hat [7].

Es sollte jedoch nicht übersehen werden, daß bei all diesen Entwicklungen zunächst die in photographischen Bildern gespeicherten *geometrischen* Informationen im Vordergrund stehen. Für die Photogrammetrie sind die Grauwerte und die Farben eines Bildes – etwas überspitzt formuliert – kaum mehr als Mittel zum

Zweck; sie dienen zum Erkennen von Objekten und zum Identifizieren von Objektpunkten. Tatsächlich sind sie aber viel mehr als das, denn sie stellen *radiometrische* Informationen dar, die über physikalische Eigenschaften der aufgenommenen Objekte Auskunft geben. Und die Bilder erfassen auch strukturelle Zusammenhänge, geben »Bildgestalten« wieder, die sich nicht durch einfache Messungen, sondern erst durch eine Interpretation erschließen. Davon macht speziell die Fernerkundung Gebrauch. Auch dazu wurde der Grundstock in der Aufbruchzeit vor rund 100 Jahren gelegt.

Die ursprünglichen photographischen Schichten waren bekanntlich für violette und blaue Strahlung empfindlich, während Grün, Gelb, Orange und Rot fast wirkungslos blieben. Die Folge davon war, daß die von uns Menschen in unserer Umwelt wahrgenommenen Helligkeiten in den photographischen Bildern nur sehr unvollkommen in Grauwerte umgesetzt wurden; die vielzitierten roten Rosen wurden praktisch schwarz wiedergegeben.

Es war der Photochemiker Hermann Wilhelm Vogel (Abb. 3), dem es erstmals gelang, die photographischen Schichten durch Anfärben des Bromsilbers mit geeigneten Farbstoffen auch für grüne und gelbe Strahlung empfindlich zu machen [9]. Schrittweise kam man danach der »tonrichtigen Wiedergabe« – wie man dies nannte – näher. Dies war auch eine der Voraussetzungen für die Entwicklung der Farbenphotographie. Die Erzeugung farbiger Bilder wurde mit

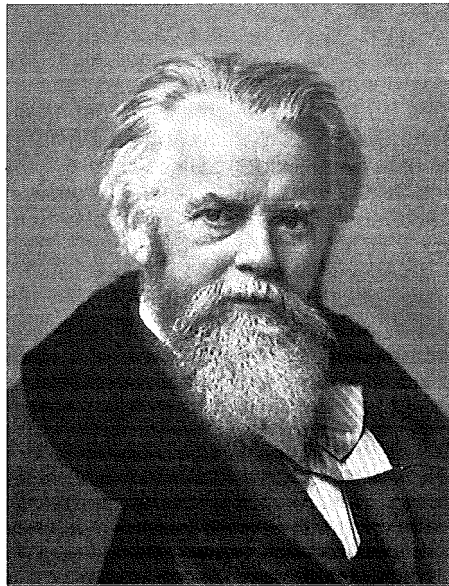


Abb. 3: Hermann Wilhelm Vogel (1834–1898)

verschiedenen Verfahren schon im vorigen Jahrhundert verfolgt. Es hat aber noch bis Mitte der dreißiger Jahre unseres Jahrhunderts gedauert bis die Firmen Kodak und Agfa kurz hintereinander mehrschichtige Farbfilme zum allgemeinen Gebrauch auf den Markt brachten. Zur Aufnahme von farbigen Luftbildern werden besondere Anforderungen an das Filmmaterial gestellt. Deshalb sind zwar schon ab 1937 Farbluftbilder gewonnen worden [5], üblich wurden sie aber erst einige Jahre nach dem Zweiten Weltkrieg.

3. Unsichtbares wird sichtbar gemacht!

Die weitere Entwicklung der Verfahren zur Gewinnung von Bildern läßt sich durch das Schlagwort kennzeichnen: Unsichtbares wird sichtbar gemacht! Das Spektrum der elektromagnetischen Strahlung umfaßt ja auch Wellenlängen, die für unser menschliches Auge nicht sichtbar sind. Zu nennen ist vor allem das an das Sichtbare Licht direkt anschließende Nahe Infrarot, dann die Wärmestrahlung (Thermal-Infrarot) sowie die Mikrowellenstrahlung mit Wellenlängen von mehreren Zentimetern. Wenn es gelingt, Objekte in diesen unsichtbaren Strahlungsbereichen abzubilden, dann werden zwar ungewöhnliche Bilder entstehen, aber diese Bilder vermitteln für uns Menschen nicht direkt wahrnehmbare Informationen über die physikalischen Eigenschaften der Objektmaterialien und -strukturen.

Der Weg in die Sichtbarmachung des Unsichtbaren begann um das Jahr 1920, als es erstmals gelang, photographische Schichten in das infrarote Gebiet hinein zu sensibilisieren. Ab 1926 wurde zielbewußt darauf hingearbeitet, immer tiefer in den für den Menschen unsichtbaren infraroten Strahlungsbereich einzudringen [9]. Die Anfänge der Infrarotphotographie befaßten sich mit Schwarzweiß-Bildern. Diese zeigten – physikalisch leicht erklärbar – einerseits eine gute Fernsicht und andererseits die im Nahen Infrarot typische helle Wiedergabe von grüner Blattvegetation, die an Kronen von Laubbäumen besonders auffallend ist (Abb. 4). Luftbilder kamen vorerst nicht in Frage, denn die Empfindlichkeit infrarotempfindlicher Schichten war damals noch zu gering.

Während des Zweiten Weltkrieges wurde dann in den USA das Ziel verfolgt, die besonderen Reflexionseigenschaften im Nahen Infrarot für die militärische Aufklärung zu nutzen. Nach und nach führte dies zu den sogenannten *Falschfarben-Filmen*, die heute allgemein als *Farbinfrarot-Filme* bezeichnet werden. Robert N. Colwell berichtete 1956 erstmals über die

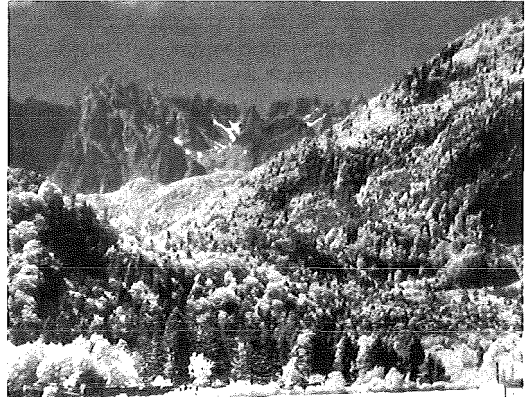
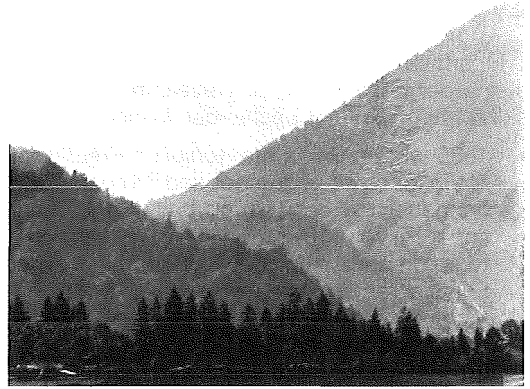


Abb. 4: Aus den Anfängen der Infrarotphotographie (um 1937, aus [2]), Aufnahme mit einer Isochromplatte (oben) und einer Agfa-Infrarotplatte (unten)

Nutzung solcher Filme zum Erkennen von Pflanzenschäden [6]. Heute sind Farbinfrarot-Filme, in denen Sichtbares und Unsichtbares gemischt wiedergegeben wird, aus der Fernerkundung nicht mehr wegzudenken. Ihre Anwendung hat einen deutlichen Schwerpunkt in der Beobachtung von Vegetationserscheinungen.

Um nun aber die unsichtbare Strahlung weiterer Wellenlängenbereiche zur Erzeugung von Bildern zu benutzen, bedurfte es anderer technischer Lösungen, denn da versagt die photographische Technik. Am wichtigsten sind die *Scanner-Systeme* und die abbildende *Radar-Technik*. Die Grundlagen dazu sind in den Lehrbüchern zur Fernerkundung vielfach dargestellt worden.

Mit den optomechanischen Scanner-Systemen kann u.a. auch die von der Erdoberfläche abgegebene Wärmestrahlung aufgezeichnet und in Bilder umgesetzt werden. Bei den ersten Flugzeugaufnahmen dieser Art in den sechziger Jahren wurde die von einem Detektor aufgenommene Strahlung verstärkt und zeilenweise sofort auf einen Film aufgezeichnet. Es entstand

ein Thermalbild, das die Temperaturverteilung an der Geländeoberfläche in bildhafter Form wiedergab. Die weitere Entwicklung führte nicht nur zu enormen technischen Verbesserungen, sondern auch zur routinemäßigen Anwendung dieser Aufnahmetechnik von Flugzeugen oder Satelliten aus. Für die Interpretation von Thermalbildern ist es besonders hilfreich, die Grauwerte in Farbstufen umzusetzen. Auf diese Weise entstehen Bilder, die beispielsweise die Temperaturverteilung der Meeresoberfläche in verschiedenen Farben wiedergeben. Wer hätte dies früher für möglich gehalten?

In einen ganz anderen Wellenlängenbereich führt uns die Radar-Technik, die mit Mikrowellen arbeitet, welche vom Flugzeug oder Satelliten ausgesandt werden. Die mit Radarsystemen gewonnenen Bilder machen die Echos sichtbar, die von der Erdoberfläche zurückkommen. Entwickelt wurde die abbildende Radartechnik um 1960. Sie führte schon in den frühen siebziger Jahren zu umfassenden Anwendungen; vor allem in tropischen Regenwaldregionen wurden ganze Bildkartenwerke erstellt. Die wirksamen physikalischen Zusammenhänge sind aber völlig anders als im sichtbaren Licht. Die Bilder wirken darum ungewohnt und sind oft schwer interpretierbar (Abb. 5). Ein wichtiger Vorteil der Radarsysteme ist, daß sie von Sonnenlicht und Wetterlage unabhängig sind und deshalb jederzeit Tag und Nacht eingesetzt werden können. Dem stehen aber manche Schwierigkeiten in der Interpretation und Nutzung der gewonnenen Bilddaten entgegen.

4. Das Multi-Konzept

Mit all diesen Systemen kann man die Gewinnung von Bildern aber noch um eine ganz wichtige Komponente erweitern, die als das »Multi-

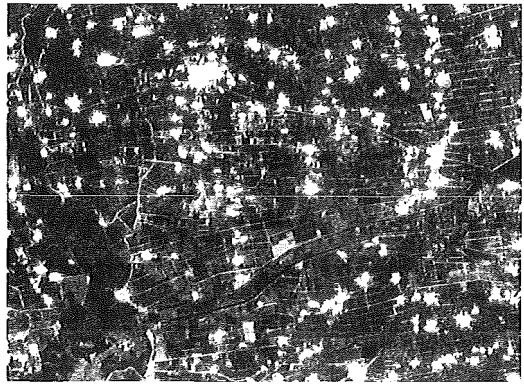


Abb. 5: Agrarlandschaft in China (Provinz Hebei) im Satelliten-Radarbild (Aufnahme SIR-A, 1981)

konzept« verstanden werden kann. Dazu gehören vor allem Multispektral-Bilder und Multitemporal-Bilder.

1. Als Multispektral-Bilder bezeichnen wir mehrere Bilder, die gleichzeitig in verschiedenen Spektralbereichen aufgenommen werden. Sie erfassen unterschiedliche Reflexionseigenschaften der abgebildeten Objekte, setzen sie in verschiedene Grauwerte um und enthalten deshalb Informationen über die Objektmaterialien (Abb. 6). Dieses Prinzip kann bis zu den abbildenden Spektrometern ausgebaut werden, mit denen sehr viele Bilder in engen Spektralbereichen gewonnen werden, so daß physikalische Objekteigenschaften detailliert erfaßt werden. Ein Beispiel ist das Digital Airborne Imaging Spectrometer (DAIS) mit 79 Spektralkanälen. Durch verschiedene Kombinationen von geeignet ausgewählten Kanälen kann man dann bestimmte Objekteigenschaften in Farbbildern visualisieren.
2. Multitemporal-Bilder sind dagegen Bilder eines Objektes oder einer Landschaft, die zu



Abb. 6: Multispektrale Bilddaten: Thematic-Mapper-Daten von Berlin in den Kanälen 2 (0,52–0,60 μm), 4 (0,76–0,90 μm) und 5 (1,55–1,73 μm)

verschiedenen Zeiten aufgenommen wurden. Sie ermöglichen es, Veränderungen der wiedergegebenen Objekte festzustellen und zu dokumentieren.

Wir erkennen aus dieser summarischen Darstellung, daß die Möglichkeiten zur Gewinnung von Bildern in den letzten hundert Jahren immer mehr verfeinert und ganz wesentlich erweitert wurden. Dadurch können wir heute enorm viele und auch ganz verschiedenartige Objektinformationen in Form von Bildern aufzeichnen. Aber wie sieht es mit der Nutzung der in Bildern enthaltenen Informationen, mit der Auswertung aus?

5. Die Auswertung von Bildern

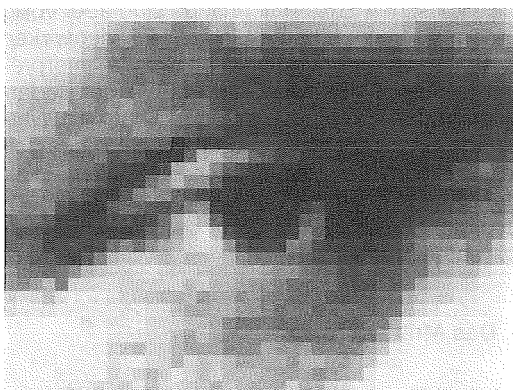
Dazu ist vorauszusetzen, daß wir heute jedes Bild in digitale Bilddaten überführen bzw. digitale Bilddaten in Bildform wiedergeben können. Der Unterschied wird deutlich, wenn man z.B. Albrecht Meydenbauer betrachtet und sich auf sein rechtes Auge konzentriert (Abb. 7). In einem stark

vergrößerten Ausschnitt der als Grauwerte wiedergegebenen digitalen Daten können wir das Auge immer noch erkennen. Aber die digitale Form, eine Tabelle von zeilen- und spaltenweise angeordneten Zahlenwerten, ist für uns als Menschen völlig unanschaulich. Dabei werden die Grauwerte des Bildes in diesen Zahlen sehr genau beschreiben und in beiden Darstellungen sind dieselben Informationen enthalten.

Offenbar kann dann die Auswertung von Bildern, die Informationsgewinnung auf zwei ganz verschiedene Weisen erfolgen, entweder durch visuelle Wahrnehmung und Interpretation der Bilder oder durch rechnerische Auswertung der Zahlenwerte durch Computer-Operationen.

5.1 Visuelle Wahrnehmung

Die visuelle Wahrnehmung ist uns allen aus dem täglichen Leben bestens vertraut, und jeder Mensch hat damit im Laufe seines Lebens einen ganz enormen Erfahrungsschatz gewonnen. Von diesem im alltäglichen Wahrnehmen unserer Um-



```

192 185 191 192 191 188 192 191 187 192 192 185 186 183 178 183 176 181 185 184 170 173 169 177 172 173 172 176 170 176 173 166 166 166 156 152 156 157 149 170
192 188 192 192 192 185 186 178 156 146 130 129 130 110 115 122 142 130 157 146 130 123 128 130 138 143 152 151 151 156 152 138 120 112 122 123 120 121 125 138
188 188 188 186 186 178 176 166 123 130 112 99 103 102 93 90 76 93 110 110 73 79 82 76 88 93 109 115 102 86 96 110 91 68 79 109 86 99 92 120
188 192 188 188 186 177 157 130 109 93 103 96 86 88 102 82 58 52 58 65 42 40 46 39 42 54 46 58 52 45 40 59 58 46 42 65 65 68 88 83
192 192 188 187 184 164 145 136 103 103 97 82 79 76 93 91 61 42 40 45 28 32 24 33 23 34 25 25 28 32 23 32 32 39 54 48 42 67 65
191 187 179 174 169 150 133 128 112 97 88 100 81 93 76 65 59 46 39 28 33 32 21 23 24 25 24 23 21 32 32 39 28 23 32 39 31 45 46 52
172 165 156 149 143 131 116 112 116 93 112 109 103 86 65 59 54 40 40 42 28 28 21 24 25 21 23 20 32 28 24 21 21 24 23 25 28 33 34 39
167 149 140 137 148 122 125 105 120 128 114 106 96 83 86 88 54 42 48 42 32 28 28 28 21 25 23 23 24 21 21 19 24 28 24 21 23 31 28 31
151 146 149 133 120 110 106 109 115 124 113 112 122 106 100 90 72 61 42 32 39 33 23 28 28 21 23 24 25 23 21 23 21 24 20 23 32 32 25
149 148 143 130 109 110 121 124 109 103 122 110 106 86 72 54 52 32 28 25 23 20 19 21 19 24 24 23 23 23 28 28 23 24 21 28 24 25 31 32 31
131 146 122 121 115 129 112 100 103 90 82 82 73 17 40 28 23 33 42 42 42 39 24 21 20 20 19 21 23 25 28 23 24 21 28 24 25 31 32 31
129 120 103 115 112 97 86 102 61 67 58 33 24 33 82 141 142 125 124 82 65 46 48 32 28 24 20 20 21 23 21 20 23 23 21 24 32 48 46 54
130 112 110 113 113 93 88 67 45 39 28 28 54 136 151 150 115 73 54 33 24 28 21 21 23 25 24 21 20 21 19 23 21 24 25 55 61 86 67 79
122 113 128 110 103 61 82 61 23 31 34 90 122 149 125 122 72 28 20 20 19 20 15 20 24 19 25 21 20 21 21 23 23 28 45 55 54 61 65 91
110 112 113 106 93 75 55 34 19 58 109 124 116 88 68 48 25 28 19 19 23 15 19 19 19 20 20 20 19 23 24 28 32 40 40 55 76 99
112 105 102 107 59 34 23 20 61 79 73 59 48 72 110 113 28 17 19 17 15 21 20 33 52 23 17 19 21 21 19 24 31 40 42 54 67 82 73 105
81 88 81 61 33 31 23 34 46 45 33 46 82 137 163 146 79 25 17 17 20 20 20 73 76 21 19 15 20 23 32 42 55 59 73 76 93 97 124
72 58 59 40 32 31 39 32 28 28 42 73 96 133 168 181 152 59 34 23 28 24 42 106 75 23 20 24 20 24 28 52 81 99 97 83 96 106 115 148
67 72 61 31 40 42 32 39 79 109 81 115 130 145 169 173 166 123 58 40 39 34 103 83 45 32 28 32 20 40 61 96 112 113 125 107 106 142 164
99 83 61 61 46 33 61 105 143 156 159 159 145 159 149 152 159 146 118 99 91 92 83 68 52 58 42 34 45 46 52 75 86 118 130 136 113 131 149 173
109 92 82 68 83 113 143 157 167 166 173 179 168 164 168 158 148 146 140 141 130 124 121 100 82 75 55 55 59 61 61 86 90 125 136 145 142 166 181 184
114 105 123 145 91 166 169 176 172 163 163 167 165 166 149 163 142 142 130 125 118 105 82 81 82 82 59 54 54 73 61 96 130 150 159 165 164 181 184 193
159 174 168 146 172 183 184 179 173 163 159 151 142 138 145 125 130 128 114 122 102 97 81 76 79 61 59 65 68 81 81 134 149 159 159 174 178 186 185 193
172 183 185 179 187 187 185 185 184 177 181 176 176 152 134 133 136 140 124 118 106 82 100 93 76 81 82 82 75 92 97 150 168 179 188 185 186 187 194 200
192 194 197 201 200 191 179 187 179 183 185 173 170 168 151 148 134 109 92 91 92 83 82 86 99 91 76 79 105 109 142 186 191 193 195 193 198 198 193 198
197 198 201 203 195 194 194 193 185 184 181 173 173 151 133 152 133 110 110 110 109 110 96 92 99 99 113 96 103 133 163 197 197 197 197 193 201 198 194 200
193 195 195 197 200 193 192 187 168 159 149 169 165 145 131 133 130 110 112 109 130 125 125 131 110 110 107 112 136 159 185 192 193 195 194 194 192 193 195 192
200 203 194 194 200 192 194 191 178 184 189 174 167 143 168 152 159 146 129 129 131 134 124 141 143 133 129 148 161 185 186 195 194 198 200 197 198 201 200 197
195 202 201 201 192 192 191 193 173 181 170 152 163 183 170 155 164 149 148 148 133 129 130 133 125 130 140 150 183 197 193 197 200 198 193 195 198 198 197 202
201 200 200 197 192 187 186 178 172 166 185 156 173 172 161 159 140 159 143 133 133 130 166 138 143 165 177 186 188 193 194 201 194 197 194 193 193 197 197 194

```

Abb. 7: Ein Porträt von Albrecht Meydenbauer (1834–1921) und die Vergrößerung seines rechten Auges als Grauwertbild und in digitalen Daten

welt gewonnenen Erfahrungen profitieren wir bei der Betrachtung und Interpretation von Bildern.

Beim Betrachten und Interpretieren eines Bildes spielen sich nämlich grundsätzlich dieselben Vorgänge ab wie beim direkten Sehen in unserer Umwelt [1]. Wir nehmen Konturen wahr und erkennen flächige Bereiche. Das Bild gliedert sich in Figur und Grund, wir sehen Objekte vor einem Hintergrund. Die Gegenstände sind offenbar aus verschiedenen Materialien. Ihre Oberflächen weisen bestimmte Formen, Farben und Strukturen auf. Wir – das heißt unsere unbewußten Wahrnehmungsvorgänge – ergänzen unvollständige Figuren zu Ganzheiten.

Und das alles spielt sich nicht etwa in der Ebene des betrachteten Bildes ab, sondern in einem Raum, den wir erkennen, einem Raum, der Höhe, Breite, Tiefe aufweist. Jedes Objekt hat in diesem Raum seinen bestimmten Ort. Eine Vielzahl von einzelnen Faktoren vermitteln uns diese Eindrücke. Unbewußt kombinieren wir diese Faktoren aufgrund unserer Erfahrung zu der jeweils wahrscheinlichsten Lösung. Nur in seltenen Ausnahmefällen können wir uns für keine Lösung entscheiden, beispielsweise bei den sogenannten »unmöglichen Figuren«, da bleibt ein uns irritierender Widerspruch unauflösbar. Die ebenen Zeichnungen der Abb. 8 werden zwar räumlich interpretiert, aber dreidimensionale Objekte können nicht wirklich so aussehen.

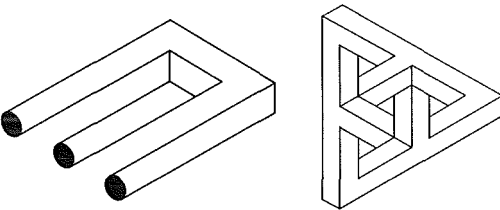


Abb. 8: »Unmögliche Figuren«

Dabei ist unsere visuelle Wahrnehmung nicht nur enorm leistungsfähig, sondern auch äußerst flexibel. Wir sehen in einem betrachteten Bild gewisse Objektformen und -strukturen unabhängig davon, ob ein Bild flau oder kontrastreich, vergilbt oder etwas unscharf ist, weitgehend auch unabhängig von der momentanen Beleuchtung. Unsere Wahrnehmung ist stabil, auch wenn wir den Kopf oder unseren ganzen Körper bewegen, sie kompensiert also die damit verbundenen Veränderungen des Netzhautbildes. Und dazu sind wir noch auf für unser menschliches Leben besonders wichtige Bildinformationen hochgradig trainiert, beispielsweise auf die Wahrnehmung von Gesichtern.

Dies geht so weit, daß wir sogar auf Gesichter in einer bestimmten Lage spezialisiert sind, nämlich auf unsere normale aufrechte Körperhaltung. In dieser Lage erkennen wir ein bestimmtes Gesicht wieder, lesen aus ihm etwas über den Menschen, sein Alter, sein Befinden usw. Aber wenn uns ein Gesicht in einer für uns ungewöhnlichen Lage dargeboten wird – wenn es etwa kopfstehend betrachtet wird – dann versagen unsere Fähigkeiten weitgehend. Unsere Wahrnehmungserfahrung kommt erst wieder zum Tragen, wenn die normale Lage eingenommen, das Bild also »richtig« betrachtet wird. Daß dies dann zu Überraschungen führen kann, zeigt die Abb. 9.

Unsere visuelle Wahrnehmung, das ist fürwahr eine faszinierende Leistung, und zwar nicht eine Einzelleistung, sondern ein ungeheuer komplexes und sehr effektives Zusammenspiel, das mehr ist als die Summe von einzelnen Vorgängen. Das Sehen – und dazu gehört eben auch die Interpretation von Bildern – ist kein einfach ablaufender Prozeß, an dessen Anfang ein bestimmtes physikalisches Reizmuster steht und an dessen Ende sich eine entsprechende Wahrnehmung ergibt. Es ist vielmehr eine aktive Leistung des menschlichen Gehirns. Unsere Erfahrungen und Erwartungen wirken sich darauf aus, sie werden aber ihrerseits auch daraus gespeist. In der Abb. 10 ist versucht, dies schematisch darzustellen.

5.2 Rechnerische Auswertung

Demgegenüber ist die rechnerische Auswertung von Bildern eine recht junge Angelegenheit. Wir sollten nicht verkennen, daß auf dem Gebiet des Computersehens schon viel erreicht worden ist: das Lesen von Schriften, das Steuern von vielen Robotern, die Erfassung von Geländeformen in der Photogrammetrie – nur einige Beispiele von automatischen Vorgängen, die vor Jahrzehnten noch für unmöglich gegolten hätten. Auf diesem Gebiet wurde und wird viel gearbeitet, und daß es dabei auch hohe Erwartungshorizonte gibt, das verraten so anspruchsvolle Begriffe wie Künstliche Intelligenz, Expertensysteme, Bildverstehen, Semantische Modellierung, Neuronale Netze und andere.

Tatsächlich gibt es bei der Gewinnung von Informationen aus Bildern auch Aufgaben, die ein Computer besser, schneller und zuverlässiger erledigen kann als es ein Mensch trotz aller seiner Fähigkeiten könnte. Wir sind beispielsweise kaum in der Lage, die Grauwertunterschiede in multispektralen Bilddaten visuell auszuwerten



Abb. 9: Zweimal die britische Premierministerin Margaret Thatcher. Unsere Wahrnehmung ist auf die »normale« Lage spezialisiert. Deshalb erkennt man erst nach dem Drehen des Bildes, daß das Gesicht rechts völlig entstellt ist.

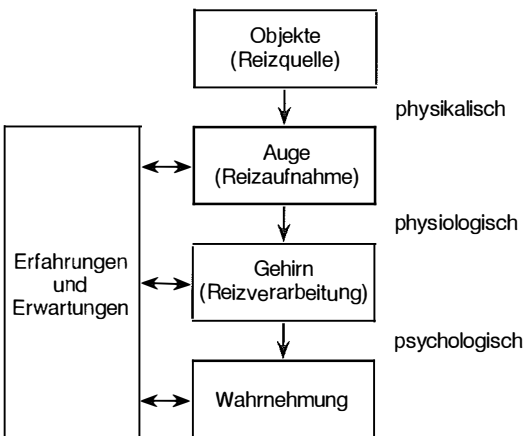


Abb. 10: Stark schematisierte Darstellung des Wahrnehmungsprozesses (aus [1])

(Abb. 6); ein Rechenprozeß leitet uns aber daraus eine Klassifizierung der Oberflächen, z.B. der Landnutzung, ab. Wir vermögen auch nicht gewisse Relationen zwischen einzelnen Bildern zu nutzen; rechnerisch können wir aus den Verhältnissen zwischen verschiedenen Spektralkanälen neue Bilddaten ableiten, die gewisse Phänomene erst sichtbar werden lassen, die beispielsweise Gesteine mit verschiedenen mineralischen Anteilen zeigen oder einen Index für die Vegetationsbedeckung darstellen. Es gibt also einzelne in Rechenfunktionen gut zu handhabende Methoden der Informationsgewinnung aus Bildern, bei denen der Rechner der visuellen Wahrnehmung eindeutig überlegen ist.

Aber – es gibt in diesem Zusammenhang noch einen anderen Aspekt: Auch ein überzeugter Anhänger der rechnerischen Bildauswertung weiß um die Überlegenheit der visuellen Wahrnehmung bei der Interpretation bildhafter Informationen. Deshalb werden die Ergebnisse rechnerischer Prozesse immer wieder in Bilder umgesetzt und dem staunenden Publikum in Bildform präsentiert. Die Skala solcher Visualisierungen reicht von den elektronenmikroskopischen Bildern über die medizinische Tomographie, die digitale Videotechnik, über die Satellitenbilder und daraus abgeleitete Perspektiven, bis zu den eindrucksvollen Bildern der Marsoberfläche oder der Jupitermonde, welche uns die Kameras von Raumflugmissionen im Sommer 1997 geliefert haben – alles in Bildform wiedergegebene digitale Daten.

Was uns beeindruckt, was uns Menschen unmittelbar reichhaltige und vielseitig nutzbare Information vermittelt, das sind also die Bilder, die erstellt werden, nicht aber die in Bits und Bytes gespeicherten digitalen Daten, zu denen wir mit unseren Sinnen keinen Zugang haben. Deshalb spielt im Computer-Bereich auch die Visualisierung von Daten eine so wichtige Rolle.

6. Ausblick

Es besteht kein Zweifel, daß die Methoden zur Gewinnung von Bilddaten weiter verfeinert und ausgebaut werden. Es kann auch kein Zweifel bestehen, daß die rechnerischen Verfahren zur

Gewinnung von Informationen aus Bildern noch viel weiter entwickelt werden, daß vieles möglich wird, das uns heute noch unerreichbar erscheint. Der Ausblick am Schluß dieser kurzen Betrachtung soll aber ein sehr menschliches Resümee sein.

Betrachten wir dazu die Skizze der Treppe in der Abb. 11. Es ist eine jener in sich widersprüchlichen Figuren; in diesem Fall können wir uns nicht entscheiden, ob die Treppe abwärts oder aufwärts führt. Als menschliche Betrachter der Szene sind wir zunächst irritiert, und wenn uns dies bewußt wird, dann akzeptieren wir die Unmöglichkeit und – beginnen zu lächeln.

Mit großer Wahrscheinlichkeit wird es eines Tages Computer-Methoden geben, die auch eine solche Zeichnung auszuwerten vermögen und feststellen können, daß da »etwas nicht stimmt«, vielleicht können sie auch die Art der Inkonsistenz dieser Information aus Bildern identifizieren. Aber es ist kaum vorstellbar, daß es eines Tages einen Computer geben wird, der sich dann ob dieser Erkenntnis in seinen Sessel zurücklehnt und beginnt, darüber zu lächeln.

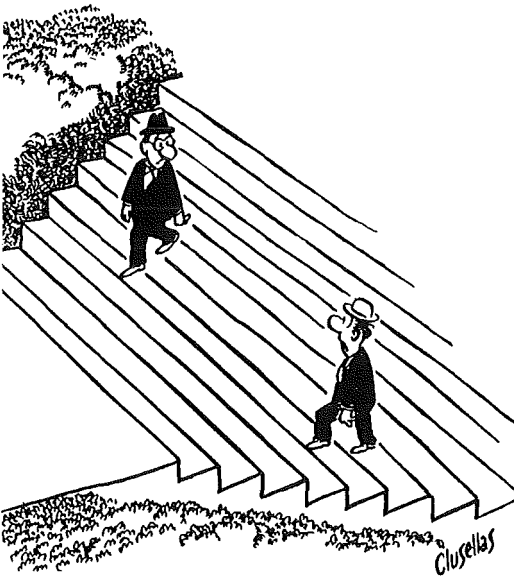


Abb. 11: Abwärts oder aufwärts?

Das Erleben von Freude und Schönheit, von Freundschaft und Vertrauen, von Verantwortung und Zuversicht usw., das alles sind menschliche Dimensionen, die unser Leben so reich und interessant machen, es sind Dimensionen, die technischen Systemen fremd sind und ihnen – nach unserem heutigen Verständnis – auch fremd bleiben werden.

So ist auch die Freude, die wir an diesem Festtag empfinden, etwas, das uns als Menschen erfüllt – ein Computer empfindet nichts dabei. Aber als Menschen sind wir erfüllt von Respekt und Dankbarkeit gegenüber unserem Jubilar. Ihm entbiete ich meine besten Grüße und Wünsche.

Literatur

- [1] *Albertz, Jörg* (Hrsg.), *Wahrnehmung und Wirklichkeit – Wie wir unsere Umwelt sehen, erkennen und gestalten*. Schriftenreihe Freie Akademie, Band 17, Berlin 1997.
- [2] *Angerer, E. von*, *Wissenschaftliche Photographie*, 4. Auflage, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig, Leipzig 1950.
- [3] *Blachut, Teodor J.*: Die Frühzeit der Photogrammetrie bis zur Erfindung des Flugzeuges. In: *Geschichte der Photogrammetrie*, Band 1, Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Sonderheft, Frankfurt am Main 1988, S. 17–62.
- [4] *Burkhardt, Rudolf*: *Analoge Verfahren und Instrumente*. In: *Geschichte der Photogrammetrie*, Band 1, Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Sonderheft, Frankfurt am Main 1988, S. 65–172.
- [5] *Eder, Josef Maria*: *Geschichte der Photographie*. Handbuch der Photographie, 4. Auflage, 1. Band, 1. Teil, Verlag Wilhelm Knapp, Halle 1932.
- [6] *Fischer, William A.*: *History of Remote Sensing*. In: *Manual of Remote Sensing*, Vol. 1, American Society of Photogrammetry, Falls Church, Virginia (USA) 1975, S. 27–50.
- [7] *Konecny, Gottfried*: *Paradigmasprünge in der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung vom ersten zum achtzehnten Kongreß in Wien*. *Vermessung & Geoinformation* 84 (1996) S. 313–320.
- [8] *Manek, Franz*: *Zeittafel der Bildmessung*. 14 Beiträge in: *Vermessungstechnik*, von Jahrgang 4 (1956) bis 7 (1959).
- [9] *Stenger, Erich*: *Die Photographie in Kultur und Technik*. Verlag E.A. Seemann, Leipzig 1938.
- [10] *Weiss, Max*: *Die geschichtliche Entwicklung der Photogrammetrie und die Begründung ihrer Verwendbarkeit für Meß- und Konstruktionszwecke*. Verlag Strecker & Schröder, Stuttgart 1913.

Anschrift des Autors:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Jörg Albertz, Fachgebiet Photogrammetrie und Kartographie, Technische Universität Berlin, Straße des 17. Juni 135, D-10623 Berlin