

oder durch Druckungenauigkeiten (Abb. 2). 1.3. Die Klassenzugehörigkeit bleibt bei beliebigen lokalen Änderungen nicht notwendig invariant; man kann aber nach der Kompaktheithypothese von BRAWERMAN annehmen, daß bei nicht zu starken lokalen Änderungen ein Muster derselben Klasse entsteht. Daher können aus der Kenntnis einiger Muster einer Klasse auch andere, erstmalig gesehene Muster richtig klassifiziert werden. 1.4. Je stärker ein Muster verändert wird, desto weniger ist das entstehende Muster dem ursprünglichen ähnlich. Wenn man unbekannte Muster auf Grund ihrer Ähnlichkeit zu bekannten Mustern klassifizieren soll, kann man die Zugehörigkeit, z. B. zur Klasse »A« durch eine Funktion $f_A(x)$ beschreiben, die für ein Muster x einen beliebigen Wert zwischen 0 »sicher nicht zugehörig« und 1 »sicher zugehörig« annimmt. Es handelt sich um *unscharfe Mengen*. Die klassischen Mengen sind ein Spezialfall, bei dem für $f_A(x)$ nur die zwei Werte 0 oder 1 zugelassen sind.

2. *Probleme der M.*: Erkennen oder Identifizieren von Mustern bedeutet deren Klassifikation. Ein Muster liegt zunächst als physikalische Realisierung vor, deren physikalische Eigenschaften kontinuierlich variieren können. Das erkennende System muß diese physikalischen Eigenschaften und deren Beziehungen intern repräsentieren und soll dann i. allg. das Muster einer von mehreren möglichen Musterklassen zuordnen. Klassifikation bedeutet dabei, eine eindeutige Zuordnung zwischen mehrdimensional und kontinuierlich veränderlichen Mustern und diskret-alternativen Klassenvariablen herzustellen. Aufgabe einer allgemeinen Theorie der M. ist es, die Prinzipien und Lösungen zu finden und möglichst mathematisch zu formulieren, nach denen eine solche Zuordnung in höherentwickelten Organismen stattfindet bzw. in technischen Systemen realisiert werden kann. Folgenden Teilproblemen kann man verschiedene Stadien zuordnen: 2.1. Die *Aufnahme* untersucht die Umwandlung von Zustandsänderungen physikalischer Träger Substanzen in systemeigene. 2.2. Die *Isolierung* und *Segmentierung* löst das Muster aus dem Hintergrund heraus und zerlegt es grob in seine Bestandteile. 2.3. Die *Vorverarbeitung* sichert gegen äußere Störungen, verbessert die Qualität und vermindert den Aufwand der systemeigenen Beschreibung, z. B. durch Lückenfüllen, Glätten und Kontur verschärfen und eventuell durch Lage-, Richtungs- und Größenormierung. 2.4. Die *zentrale Verarbeitung* bestimmt den Zugehörigkeitsgrad zu den Musterklassen oder stellt *Invarianten* der Musterklassen fest, d. h. gemeinsame Eigenschaften aller durch invariante Transformationen entstehenden Muster. Invarianten werden in Lernprozessen gebildet. Die Beschreibung von Mustern durch Invarianten stellt zugleich eine Informationsreduktion und eine Abstraktion dar. 2.5. Die *Entscheidung* ordnet das dargebotene Muster nach

dem größten Zugehörigkeitsgrad oder auf Grund vorhandener Invarianten einer Klasse zu. 2.6. Die *Verhaltensorganisation* schließt die Dekodierung des aufgenommenen Musters durch Bedeutungszuordnung und Verhaltensauswahl ab.

Als wichtige Voraussetzungen für die M. ergeben sich daraus Informationsaustausch, Lern- und Speicherfähigkeit für die Erfassung, Bildung und Speicherung der Invarianten und Zuordnungsregeln. Die Lösung des Problems der M. hängt von den jeweiligen Anforderungen ab, d. h. von den gestellten Aufgaben und von der Art der Muster. Aufgabentypen sind Entdeckung, Unterscheidung, Wiedererkennung und Klassifikation der Muster und, besonders bei stärker strukturierten Mustern, die Beschreibung und Interpretation, auch Szenenanalyse genannt. Als Beispiele werden wichtige Mustertypen angegeben, a) *Formmuster* können Schriftzeichen sein, Kurvendarstellungen, z. B. EEG-Kurven oder physikalische Spektren, zweidimensionale geometrische Darstellungen u. U. mit Symbolen, z. B. Schaltpläne oder technische Zeichnungen oder schließlich Bilder, z. B. Fingerabdrücke, Gesichter, Röntgenaufnahmen oder Luftbildaufnahmen. Die Vielfalt der Probleme zum Erkennen des Musters zeigt sich bei den Schriftzeichen, die normiert oder in beliebig gedruckten Buchstaben vorliegen können, in normierter oder beliebiger Handschrift, die aber nicht nur in der Ebene der Einzelzeichen, sondern auch in Wörtern, Sätzen und Texten untersucht werden müssen, b) Bei *beliebigen optischen Mustern* müssen zusätzlich Farbe, Tiefe und Bewegung berücksichtigt werden, c) Zu den *akustischen Mustern* gehören vor allem Laute, Silben, Wörter und Sätze, d) *Natürliche dreidimensionale Gegenstände* sind aufzufassen als Kombinationen mehrerer Eigenschaften, z. B. optischer, akustischer und taktiler Eigenschaften, e) *Räumliche und zeitliche Beziehungen* von Gegenständen können unter bestimmten Voraussetzungen ebenfalls Muster sein, f) Muster als *abstrakte Daten* können z. B. medizinische Krankheitsbilder oder industrielle Prozesse darstellen. Deren Klassifikation wird zur M. gerechnet, gehört aber vom Standpunkt der Psychologie in die Begriffsbildung.

3. Für *Theorien der M.* ist der Ausgangspunkt eine physikalische Realisierung der Muster, die bei Formmustern z. B. durch eine Schwärzungsfunktion $f(x,y)$ beschrieben werden kann. Die Aufnahme durch eine Retina von Sinneszellen oder

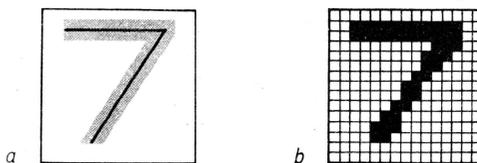


Abb. 3: Quantisierung eines Grauwertbildes; a Grauwertbild, b Schwarzweißmuster