

durch Fotoelemente quantisiert  $f(x,y)$ ; das Ergebnis kann man sich als ein Schwarz-Weiß-Muster vorstellen (Abb. 3). Den Feldern dieses Musters werden Meßwerte  $x_i$  mit zwei Ausprägungen, z. B. 1 für Schwarz und 0 für Weiß, zugeordnet. Das Muster läßt sich nun durch einen Meßvektor  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  bzw. durch einen Punkt im  $n$ -dimensionalen euklidischen Musterraum darstellen. Als verfeinerte Beschreibung sind auch Meßwerte mit mehreren Ausprägungen für verschiedene Grauwerte möglich. Schließlich können die Musterrealisierungen auch durch kompliziertere Messungen beschrieben werden, in denen die  $x_i$ ; z. B. das Vorhandensein oder Fehlen bestimmter Musterelemente wie Geraden, Winkel, Kurven oder deren Eigenschaften wie Länge, Größe des Winkels und Krümmung oder ähnliches angeben. Für die weitere Verarbeitung solcher Meßvektoren und die darauf aufbauende Klassenzuordnung lassen sich drei Gruppen von Theorien angeben: 3.1. Beim *Standardvergleich* werden die Klassen jeweils durch repräsentative Muster, durch Standards oder Prototypen beschrieben. Die Klassenzuordnung kann einmal nach maximaler Ähnlichkeit erfolgen, d. h. die Zugehörigkeit eines Musters  $Y$  zu den Klassen  $i$  wird durch ein Maß  $S$  der Ähnlichkeit ausgedrückt, und  $Y$  wird in die Klasse  $i$  mit dem maximalen Wert für  $S$  eingeordnet. Ein lernfähiges System könnte den Standard durch Mitteilung aller in der Lernphase gebotenen Muster der Klasse bilden. Zum anderen werden diese Muster in verbesserten Theorien zur Bestimmung von Diskriminanzfunktionen benutzt, mit denen Teilgebiete im Musterraum beschrieben werden, die zumeist durch Ebenen oder Hyperebenen voneinander getrennt sind. Das Muster  $Y$  wird der Klasse zugeordnet, in deren Teilgebiet es liegt. 3.2. Beim *Merkmalsvergleich* wird eine Klasse durch einen Meßvektor  $X^{(i)}$  beschrieben, dessen Komponenten durch komplizierte Messungen gewonnen wurden, die invariante Eigenschaften oder Merkmale der jeweiligen Klasse erfassen sollen. Das Muster  $Y$  wird der Klasse zugeordnet, deren invariante Eigenschaften bei ihm vorhanden sind. Diese Merkmale können formal als Funktionen einfacherer Messungen, z. B. als Schwarz-Weiß-Werte von Feldern, aufgefaßt und gebildet werden. Bei organismischen Systemen werden die invarianten Eigenschaften durch Lernprozesse ausgewählt, bei technischen Modellen werden sie entweder vom Menschen nach plausiblen Annahmen vorgegeben oder ebenfalls in einem Lernprozeß konstruiert. Die Merkmalsprüfungen können parallel oder sequentiell vonstatten gehen. Bei sequentieller Verarbeitung ist die Auswahl des nächsten zu prüfenden Merkmals vom Ausgang der vorangehenden Merkmalsprüfung abhängig, bei paralleler Verarbeitung nicht. Bei einer Modellierung auf einem Digitalrechner ist parallele Verarbeitung weniger störanfällig, sequentielle aber ökonomischer. 3.3. Beim *Strukturvergleich*

wird eine Klasse durch eine bestimmte Struktur, d. h. durch eine Gesamtheit bestimmter Relationen, beschrieben, z. B. durch Lage-, Richtungs- und Größenverhältnisse, durch ein Repertoire elementarer Merkmale oder Teile, z. B. von Kurvenstücken. Ein Muster läßt sich nach bestimmten Verknüpfungsregeln aus bestimmten Elementen erzeugen. Die Klassenzuordnung erfolgt durch parallele Feststellung der vorhandenen Elemente und anschließende sequentielle Prüfung der Verknüpfungsregeln. Diese Prüfung bedeutet eine aktive Rekonstruktion des Musters aus seinen Elementen nach gespeicherten Verknüpfungsregeln. Ist das Muster richtig rekonstruiert, ist auch gleichzeitig seine Klasse durch  $f$  Analyse bzw. durch Synthese bestimmt. Hierarchische Muster, in denen Teilmuster aus verschiedenen Elementen zu Elementen höherer Ordnung zusammengefaßt werden können (Abb. 4), können erkannt werden, wenn eine Unterordnungsrelation zugelassen wird. Die Probleme der Theorien bestehen in der Festlegung geeigneter Standards, Merkmale und Relationen und deren

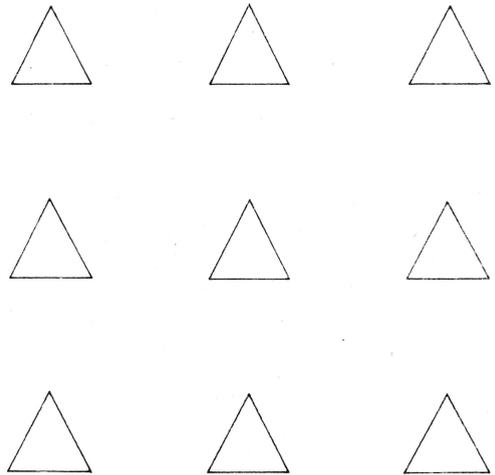


Abb. 4: Hierarchisches Muster; Teilmuster sind die jeweils aus drei Geraden bestehenden Dreiecke

Abb. 5: Einfacher optischer Standardvergleich; a Schablone des zu klassifizierenden Musters, b Vergleich mit drei Klassenschablonen. Die gemeinsame Fläche ist jeweils schraffiert.

