

Möglichkeiten und Grenzen der automatischen Erfassung und Bewertung visueller Merkmale von Nutzpflanzen

THOMAS RATH, Hannover

Abstract

Scanned pictures of leaves of 51 different species of deciduous trees were manipulated and compressed with image processing algorithms (mainly based on morphological or geometrical operators) to 22 botanical leaf features. The resulting data were analysed with different statistical, knowledge based and neural network models to build a classification tool. The best identification model leads to 88 % classification accuracy for new, unknown leaves.

1 Einleitung

Moderne Produktionsverfahren im Gartenbau sind gekennzeichnet durch eine zunehmende Automatisierung unter Nutzung fachspezifischer Information. Grundlegende Voraussetzung ist die Verwendung visueller Eindrücke, die maschinell ausgewertet und mit fachspezifischem Wissen zu einem Entscheidungssystem kombiniert werden. Besondere Bedeutung kommt hierbei der großen Variabilität pflanzenbaulicher Produkte zu.

Am Beispiel der computergestützten Klassifikation von Laubgehölzen wurden methodische Untersuchungen zur Verknüpfung von Bilddaten mit fachspezifischem Wissen durchgeführt. Das Themengebiet der dendrologischen Pflanzenbestimmung wurde gewählt, da es für viele im Gartenbau vorliegende Problembereiche (Unkrautererkennung, Sortenunterscheidung, Pflanzenschädenerkennung etc.) exemplarischen Charakter hat und auf diese übertragbar ist.

2 Material und Methoden

Laubblätter von 51 verschiedenen Laubgehölzen wurden mit einem Din A4-Schwarz-Weiß-Flachbettscanner (weißem Hintergrund, Auflösung 150 dpi, 256 Graustufen) in zufälligen Auflagerichtungen eingescannt (jeweils 10 Aufnahmen pro Art). Bei der Auswahl der Blätter wurde darauf geachtet, daß sowohl große als auch kleine Blätter in unterschiedlichen Entwicklungsstadien und von unterschiedlichen Individuen entnommen wurden. Von einigen Blättern jeder Art wurde eine zweite Aufnahme mit veränderter Auflageausrichtung gemacht (Drehung um 90° bis 180° gegenüber der ersten Aufnahme).

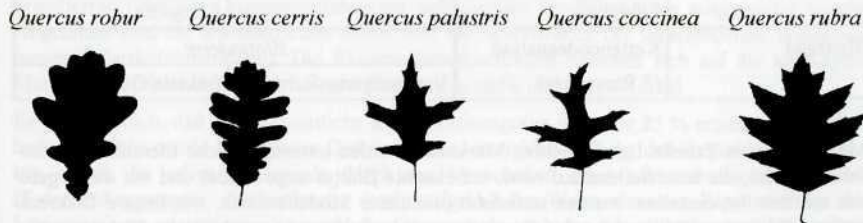


Abbildung 1: Beispielaufnahmen der verwendeten *Quercus*-Arten

Die eingescannten Bilder wurden mit Grauwert- oder Schwellenwertfiltern bzw. kantenverstärkenden Filtern (z.B. zur Extraktion der Blattnervatur) oder Skalierungsoperatoren bearbeitet und binarisiert.

Anschließend wurden die Bilder mit verschiedenen Algorithmen, die im wesentlichen auf morphologischen und geometrischen Bildverarbeitungsoperatoren aufbauten, auf 22 Blattmerkmale verdichtet. Dabei wurde besonders darauf geachtet, daß wichtige numerische Parameter, die direkt oder in Verbindung mit anderen Parametern zur Klassentrennung beitragen, Verwendung fanden, während andere Merkmale, die evtl. nur Scheinkorrelationen erzeugten, nicht genutzt wurden. Da die Pflanzentaxonomie im wesentlichen auf botanisch morphologischen Kriterien aufbaut, orientierte sich die Merkmalextraktion und -parametrisierung streng an den in drei verschiedenen Bestimmungsschlüsseln vorgeschlagenen Merkmalen (vgl. FITSCHEN 1994, GODET 1987, MITCHELL und WILKINSON 1982). Sie setzte daher eine bildanalytische Identifikation und Auswertung folgender Blattabschnitte voraus: Blattspitze, Blattstiel, Blattspaltenbasis, Blattspaltenmitte.

Tabelle 1 gibt die erzeugten und verwendeten Blattmerkmale wieder. Die numerischen Werte gehen entweder unmittelbar aus dem jeweiligen Zahlenwert des botanischen Merkmals hervor (z.B. Blattanzahl), werden mit in der Bildverarbeitung üblichen dimensionsbehafteten oder dimensionslosen Merkmalsgrößen dargestellt (z.B. Konvexität, Rundheit oder Pixelfläche) oder resultieren aus numerischen Größen spezieller Analysen (z.B. Kettencodanalyse). Auf eine genauere Beschreibung der entwickelten Algorithmen und Parameter wird an dieser Stelle verzichtet. Es wird auf RATH (1997) und ECKSTEIN (1993) verwiesen.

Tabelle 1: Botanische Merkmale und deren Parametrisierung

botanisches Merkmal	Parametrisierung	botanisches Merkmal	Parametrisierung
<i>Blattspalte:</i>		<i>Blattstiel:</i>	
Aufbau (einfach, zus.gesetzt)	morpholog. Filterung	Länge	Rechteckradien
Anzahl Blättchen	morpholog. Filterung	<i>Blattspaltenmitte:</i>	
Anzahl Blattlappen	morpholog. Filterung	Länge zu Breite	Rechteckradien
Blattfläche	Pixelfläche	Form	Konvexität
Länge zu Breite	Rechteckradien		Eckigkeit
Form	Konvexität		Spitzenfläche/Blattfl.
	Kompaktheit	<i>Blattspaltenbasis:</i>	
	Rundheit	Länge zu Breite	Rechteckradien
	Elliptizität	Form	Konvexität
Blattrand	Kettencodanalyse (3 Parameter)	<i>Blattadern:</i>	
		Verzweigungsform	fraktale Geometrie

Mit Hilfe der in Tabelle 1 dargestellten Merkmale wurden unterschiedliche Identifikationsmodelle gebildet, die anschließend auf neue, unbekannte Blätter angewendet und mit ihnen getestet wurden. Im einzelnen wurden statistisch orientierte Modellansätze, wie lineare Diskrimination [ID] (unter Verwendung der Gesamtkovarianzmatrix) und quadratische Diskrimination [qD] (unter Verwendung gruppenspezifischer Kovarianzmatrix), fuzzy-logic orientierte Modellansätze [fL], künstliche neuronale Netzwerke (Backpropagation-Netze), einfache Unterscheidungsmodelle unter Verwendung von Gruppenmitteln [Gm], k-nearest-neighbour-Klassifikationsmodelle mit einem oder drei Vergleichsobjekten pro Gruppe [k1, k3] und wissensbasierte Auswertmodelle gebildet. Weiter wurden kombinierte Ansätze (wissensbasierte

Vorauswertung oder kanonische Vorverdichtung) in Verbindung mit oben aufgeführten Modellansätzen untersucht (näheres siehe RATH 1997).

3 Ergebnisse der Merkmalextraktion und -generierung

Aufgrund der ermittelten empirischen f-Werte und Variationskoeffizienten der Blattparameter ergab sich, daß alle Parameter (zum Teil mit Einschränkungen) sinnvolle und im Klassifikationsprozeß einsetzbare Größen darstellen. Sämtliche Parameter waren statistisch gesichert lageinvariant und alle Formparameter waren größeninvariant, so daß Blattgröße und Auflage- richtung im Klassifikationsprozeß keine Rolle spielten. In 75% der Fälle wurde jedoch eine statistisch gesicherte lineare Korrelation zwischen den einzelnen Parametern festgestellt.

Eine direkte Bewertung der Güte der Blattparameter ist nur bei den Parametern möglich, die auch direkt innerhalb der botanischen Klassifikationsschlüssel numerisch verwendet werden (Blattstielänge, Blättchenanzahl, Blattlappenanzahl). Da die Blattstiel- und Blattachsen-erkennung für den gesamten Erkennungsprozess von sehr großer Bedeutung ist, wird im folgenden die Güte der in diesem Bereich entwickelten Algorithmen dargestellt (Tabelle 2). Bei 88 % der Blätter wurde die Blattstielänge korrekt erfaßt. In 7 % der Fälle waren leichte Abweichungen zwischen manuell nachgemessener und computerbildanalytisch erfaßter Blattstielänge zu verzeichnen, die aber keine Auswirkung auf die Blattachsenbestimmung hatten. Bei 2 % der Blätter war die Stielerkennung falsch und dadurch die Blattachsenbestimmung unbrauchbar. Da weitere Parameter zum Teil wesentlich von der Ausrichtung der Blattachse abhängen, ist bei diesen Blättern auch mit erheblichen Fehlern bei den anderen Parameterberechnungen zu rechnen. Die Ursachen der Fehlberechnungen werden bei RATH (1997) beschrieben.

Tab. 2: Bewertung der Algorithmen zur Blattstiel- und -achsenfassung (in % der Blätter)

S+, A+ [%]	S+-, A+ [%]	S-, A+ [%]	S-, A- [%]	
88	7	3	2	S: Blattstielänge, A: Blattachse +: Erfassung korrekt + -: Erfassung mit Mängeln, einsetzbar -: Erfassung falsch, unbrauchbar

4 Ergebnisse der computerbildanalytischen Pflanzenbestimmung

Abbildung 2 stellt die Klassifikationsergebnisse dar, wenn die Artbestimmung zuerst mit einem wissensbasierten System eingengt und anschließend mit statistischen, fuzzy-logik-orientierten oder auf Gruppenmittelwerten aufbauenden Modellansätzen ausgewertet wurde. Abgebildet sind die arithmetischen Mittel und die Spannweiten bei verschiedenen Wiederholungen (Blattkombinationen). Die Basismodellabkürzungen beziehen sich auf die im Kapitel Material und Methoden beschriebenen Auswertmodelle und deren Kürzel.

Es wird deutlich, daß durchschnittliche Klassifikationsgüten von über 85 % erzielt wurden. Das beste Ergebnis wurde mit linearer Diskrimination unter Verwendung der Gesamtkovarianzmatrix erzielt. In jedem Fall wurde durch das Vorschalten eines wissensbasierten Modelles (Entscheidungsregeln, die bestimmte Arten aufgrund der Werte einzelner Parameter aus der Lösungsmenge ausschlossen) sowohl die Streuung als auch das Klassifikationsresultat verbessert. Der Einsatz von neuronalen Netzwerken führte, trotz umfassender Optimierung der Netzwerkarchitekturen, zu durchschnittlich 10 % schlechteren Ergebnissen (nicht dargestellt).

Bei der Bewertung der Klassifikationsergebnisse ist zu beachten, daß die Unterscheidung einzelner Arten zum Teil nicht alleine aufgrund der Laubblätter möglich war (es wurden zusätzliche Angaben zur Blüte, Frucht etc. benötigt). Eine detaillierte und umfassende Darstellung der Klassifikationsergebnisse findet sich bei RATH (1997).

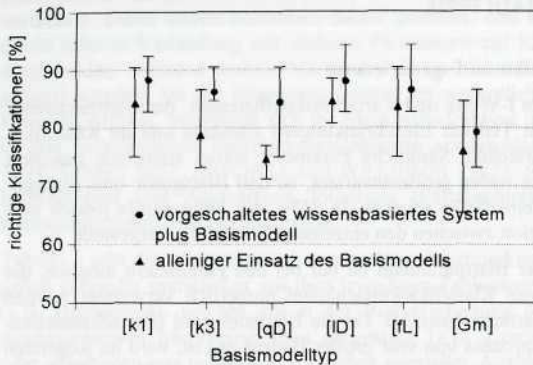


Abb. 2: Pflanzenbestimmungsergebnisse unter Verwendung von verschiedenen Modellansätzen

5 Schlußfolgerungen

Hinsichtlich der methodischen Ansätze ergeben sich folgende Schlußfolgerungen: Es ist möglich, durch den Einsatz morphologischer bzw. geometrischer Bildverarbeitungsalgorithmen botanisch orientierte Merkmale aus Pflanzenbildern zu extrahieren. Zur Datenauswertung können verschiedene Modellansätze in Kombination mit einer wissensbasierten Vorauswertung eingesetzt werden. Die Auswertemodelle sollten entsprechend dem Einsatzzweck und vor allem entsprechend der statistischen Zusammensetzung der zur Verfügung stehenden Datensätze ausgewählt werden. Mit Hilfe spezieller Algorithmen zur Merkmalbestimmung können im Bereich der Pflanzenbestimmung hohe Klassifikationsgenauigkeiten erzielt werden, die den menschlichen Fähigkeiten entsprechen bzw. sie übertreffen.

6 Literatur

- ECKSTEIN, W. (1993): HORUS-Referenzmanual, Version 3.14. Technische Universität München, Fakultät für Informatik, München.
- FITSCHEN, J. (1994): Gehölzflora: ein Buch zum Bestimmen der in Mitteleuropa wildwachsenden und angepflanzten Bäume und Sträucher. Quelle und Meyer, Heidelberg.
- GODET, J.-D. (1987): Bäume und Sträucher: Einheimische und eingeführte Baum- und Straucharten. Arboris-Verlag, Hinterkappelen-Bern.
- MITCHELL, A. und J. WILKINSON (1982): Pareys Buch der Bäume: Nadel- und Laubbäume in Europa nördlich des Mittelmeeres. Parey, Hamburg.
- RATH, T. (1997): Methoden zur computerbildanalytischen Pflanzenidentifikation am Beispiel dendrologischer Bestimmungen. Gartenbautechnische Informationen, Heft 42. Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover.